

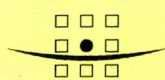
E 1912 b (1)

Di: 187596

REPORTS OF THE PROJECT "ECOLOGICAL REHABILITATION OF THE RIVER MEUSE"

Nr. 33-2000

De zuurstofhuishouding in de Grensmaas,
analyse van veldmetingen in de zomerperiode
en relaties met macro-evertebraten en vissen



ROYAL HASKONING

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

RIZA

Directie Limburg



**De zuurstofhuishouding in de Grensmaas,
analyse van veldmetingen in de zomerperiode
en relaties met macro-evertebraten en vissen**

The oxygen regime of the Common Meuse,
analysis of field measurements in summer
and relationships with macroinvertebrates and fish

Le cycle de l'oxygène dans la Meuse Mitoyenne,
analyse des mesures de terrain en été
et impacts sur les macro-invertébrés et les poissons

Eindredactie: A.C.D. Ertsen (Royal Haskoning)
R.A.E. Knoben (Royal Haskoning)
W. M. Liefveld (RIZA)
J. Olthof (Directorate Limburg)

Auteurs: F.H. Schulze (Witteveen+Bos)
M. Greijdanus-Klaas (RIZA)

Reports of the project: 'Ecological Rehabilitation of the River Meuse'
EHM no. 33, December 2000

Consultance: Royal Haskoning, P.O. Box 525, 5201 AM 's-Hertogenbosch, the Netherlands.

In commission of:

Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, P.O. Box 9072,
6800 ED Arnhem, the Netherlands.

Te citeren als (to be referred as):

Ertsen, A.C.D., R.A.E. Knoben, W. M. Liefveld, J. Olthof (2000)
Zuurstofhuishouding van de Grensmaas. Relaties met macro-evertebraten en vissen.
Reports of the project 'Ecological Rehabilitation of the River Meuse' (with a summary in
English en French). Report no. 33-2000. Institute for Inland Water Management and
Waste Water Treatment (RIZA) and Directorate Limburg.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

SAMENVATTING

SUMMARY

RÉSUMÉ

Blz.

1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding project	1
	1.2 Doel onderzoek	1
2	WATERSYSTEEM VAN DE GRENSMAAS	3
	2.1 Hydrologie	3
	2.2 Ecologie	5
	2.3 Streefbeeld	7
3	METHODEN EN TECHNIEKEN	9
	3.1 Veldmetingen	9
	3.2 Analyse veldgegevens	11
	3.3 Analyse zuurstofhuishouding in relatie tot ecologie	12
4	ZUURSTOFHUISHOUDING VAN DE GRENSMAAS	15
	4.1 Algemene karakteristieken	15
	4.2 Temporele variatie zuurstofgehalte	15
	4.3 Ruimtelijke variatie zuurstofgehalte	18
	4.4 Relatie zuurstofgehalten in de Grensmaas en bij Eijsden	20
	4.5 Conclusies	21
5	ZUURSTOFHUISHOUDING IN RELATIE TOT HET VOORKOMEN VAN MACRO-EVERTEBRATEN EN VISSSEN IN DE GRENSMAAS	23
	5.1 Directe effecten	23
	5.2 Indirecte effecten	28
	5.3 Specifieke situatie voor de Grensmaas	29
	5.4 Conclusies	36
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	37
	6.1 Conclusies	37
	6.2 Aanbevelingen	38
7	LITERATUUR	41

BIJLAGE I: Algemene karakteristieken van het zuurstofgehalte voor de locaties en sublocaties in de Grensmaas (veldgegevens zomer 1999).

BIJLAGE II. Correlaties tussen zuurstofgehalte en overige factoren op de sublocaties in de Grensmaas (veldmetingen 1999).

BIJLAGE III. **Auto-ecologie volgens Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (BLW,1996) van macro-evertebraten die ontbreken in de Grensmaas en stroomopwaarts wel voorkomen.**

VOORWOORD

De waterkwaliteit van Maas is sinds de jaren 70 weliswaar verbeterd, maar voor veel parameters scoort deze rivier nog slecht. Een van de waterkwaliteitsparameters die zorgen baart is het zuurstofgehalte. In warme droge zomers worden bij Eijsden (bovenstrooms van de Grensmaas) soms waarden onder 2 mg/l gemeten, wat al in de richting gaat van volledige zuurstfloosheid. Omdat juist voor de Grensmaas hoge ecologische doelen zijn gesteld, waar het voorkomen van stromingsminnende (=zuurstofgevoelige) soorten onderdeel van uitmaakt, is het van belang te weten of ook in de Grensmaas zelf zulke lage zuurstofgehalten voorkomen.

Om deze reden is in de zomer van 1999 in EHM-kader een meetcampagne gestart waarbij het zuurstofgehalte in de Grensmaas zelf is gemeten. Omdat de ervaring heeft geleerd dat het op de meeste locaties niet mogelijk is permanente meetstations in te richten (vandalisme), zijn onder leiding van Theo Duyzings verschillende medewerkers van het Zuiveringschap Limburg op drie locaties tegelijk, 10 dagen lang van 's ochtends vroeg tot 's avonds, in touw geweest om handmatig metingen te verrichten. Deze waardevolle gevens hebben veel informatie opgeleverd. Deze gegevens zijn, in combinatie met in het verleden verzamelde gegevens, geanalyseerd en geïnterpreteerd door Floris Schulze, Maarten Quist en Carolin Lorenz (Witteveen & Bos). Vervolgens heeft Marianne Greijdanus bekeken of in de huidige macro-evertebraten samenstelling in de Grensmaas aanwijzingen zijn terug te vinden dat lage zuurstofgehalten een beperking vormen voor het voorkomen van bepaalde soorten. Al deze (en aanvullende) informatie is ten slotte bij elkaar gebracht en tot een overzichtelijk geheel gesmeed door een redactieteam bestaande uit Doesjka Ertsen, Roel Knoben (Royal Haskoning), Janet Olthof (RWS Directie Limburg) en Wendy Liefveld (RIZA).

SAMENVATTING

De Grensmaas is een ondiep en ongestuwd riviertraject van de Maas met een voor Nederland uniek karakter (een groot verval met daardoor relatief hoge stroomsnelheden en een grindbodem. Hoewel de Grensmaas in potentie een geschikte habitat vormt voor een divers scala aan macro-evertebraten- en visgemeenschappen (waaronder reofiele soorten), heeft de huidige soortensamenstelling ten opzichte van het verleden sterk ingeboet aan diversiteit. Een van de belangrijkste waterkwaliteitsproblemen die vaak genoemd wordt in dit verband, is de lage zuurstofconcentratie die in de zomer gemeten wordt bij Eijsden.

Gezien de waterhuishoudkundige functie van de Grensmaas (water voor zalmachtigen) en de bijbehorende scherpe waterkwaliteitsnormen (onder andere voor zuurstof) is het voor het toekomstig waterbeheer van belang inzicht te verkrijgen in de actuele zuurstofhuishouding van de Grensmaas en de consequenties daarvan voor de soortensamenstelling en ecologische potenties. Hiertoe zijn twee onderzoeksdoelen onderscheiden:

- wat is de variatie van het actuele zuurstofgehalte in de Grensmaas in tijd en ruimte en door welke factoren wordt dit beïnvloed;
- wat is de relatie tussen het zuurstofgehalte en het voorkomen van aquatische organismen (specifiek vissen en macrofauna) in de Grensmaas en welke ecologische problemen zijn er te verwachten.

Het onderzoek heeft zich toegespitst op de zomerperiode, omdat juist in deze periode kritische zuurstofgehalten verwacht worden.

Om inzicht te krijgen in de variatie in actuele zuurstofgehalten in ruimte en tijd is in het kader van het EHM-programma in 1999 een meetcampagne uitgevoerd langs de Grensmaas. Bij Geulle, Meers en Maaseik zijn metingen verricht op verschillende sublocaties met variatie in stroomsnelheid en waterdiepte. Aanvullende informatie is verkregen van eerder uitgevoerde veldmetingen (1993-1996) in de Grensmaas en gegevens van het permanente meetstation bij Eijsden.

Zoals verwacht, fluctueert het zuurstofgehalte gedurende de dag, waarbij de laagste waarden optreden gedurende de nacht en rond de ochtend (rond de 5.9 mg O₂/l, met uitschieters naar 2 mg/l in stagnante delen). Deze periode kan enkele uren duren. De dagelijkse verschillen tussen minimum en maximum zuurstofgehalte zijn groter in de stagnante en langzaam stromende delen van de Grensmaas dan in de snelstromende delen. Dit wordt met name veroorzaakt door het verschil in verblijftijd van het water (meer algengroei en daardoor grotere verschillen in zuurstofproductie en consumptie) en de watertemperatuur (hogere processnelheid).

Omdat de meetreeksen in de Grensmaas alleen de zomerperiode beslaan, is er geen sprake van een seizoensfluctuatie in zuurstofgehalte binnen de meetreeksen. De meetreeksen bij Eijsden die het hele jaar omvatten, laten echter een duidelijk patroon zien, met een gemiddelde zuurstofgehalte van 10-13 mg/l in de winter en 5-6 mg/l in de zomer.

Indien wordt gekeken naar de ruimtelijke variatie in zuurstofgehalte blijken de locaties in de stagnante delen van het zomerbed een aparte positie in te nemen. Over het algemeen zijn de minimum- en maximumgehalten aan zuurstof in stagnante delen lager dan in de langzaam- en snelstromende wateren. Tussen de sublocaties konden echter geen significante verschillen worden gevonden of geen significant verbanden worden gelegd met factoren als waterdiepte, stroomsnelheid en temperatuur. Ook een meer procesmatige verklaring van de variatie in het zuurstofgehalte gaf geen bevredigend en eenduidig resultaat. Wel is duidelijk dat de zuurstofinslag bij de stuw van Borgharen een belangrijke factor is in de verklaring van het zuurstofgehalte in de Grensmaas.

Gedurende de meetperiode van 1999 is in de lengterichting van de Grensmaas geen duidelijke toe- of afname geconstateerd in zuurstofgehalte. Op de drie meetlocaties bij Geulle, Meers en Maaseik lijken de zuurstofgehalten sterk op elkaar. Wel is er een duidelijk verschil tussen het zuurstofgehalte in de Grensmaas en dat bij Eijsden. Door de stuw bij Borgharen neemt het zuurstofpercentage in de Grensmaas ten opzichte van dat bij Eijsden met 15 tot 29% toe.

Omdat er geen permanent meetstation in de Grensmaas aanwezig is, is onderzocht of het zuurstofgehalte kan worden afgeleid van de gegevens van het permanente meetstation bij Eijsden. Met behulp van een geavanceerde statistische analyse (Kunstmatig Neuraal Netwerk) bleek er een redelijk tot goed verband te berekenen tussen het zuurstofgehalte in de Grensmaas en het zuurstofgehalte en de temperatuur bij Eijsden, de afvoer bij Borgharen, het tijdstip van de dag en de maand. Toch wordt aanbevolen om ook in de toekomst periodiek veldmetingen te verrichten om de inzichten in de zuurstofhuishouding van de Grensmaas te vergroten, met name de verschillen tussen stagnante en stromende delen van het zomerbed.

De zuurstofbehoefte van macro-evertebraten en vissen, die gewenst zijn in de Grensmaas, is bepaald aan de hand van literatuuronderzoek, interviews en expert judgement. Op basis hiervan zijn drie klassen van zuurstofgevoeligheid onderscheiden. Met behulp hiervan zijn de consequenties van de huidige zuurstofconcentraties in de Grensmaas voor macro-evertebraten en vissen ingeschat.

Uit veldmetingen blijkt dat zowel de huidige macro-evertebraten- als de vispopulatie van de Grensmaas relatief mager ontwikkeld is. Voor de macro-evertebraten ontbreken hele groepen/families in de Grensmaas (kevers, libellen, steenvliegen, wantsen). Wordt gekeken naar soorten die ontbreken, dan valt op dat dit de zuurstofgevoelige soorten zijn. Deze komen overigens wel voor in de bovenstroomse delen van de Maas, dus de bereikbaarheid is waarschijnlijk geen probleem. Ook voor de vissen kan geconcludeerd worden dat niet-zuurstofgevoelige soorten dominant zijn en dat zeer zuurstofgevoelige vissen zoals Sneep en Kopvoorn alleen in lage aantallen in de Grensmaas voorkomen.

Een vergelijking met de huidige zuurstofconcentraties in de Grensmaas wijst uit dat de concentraties over het algemeen lager zijn dan de minimale concentraties waarbij zeer zuurstofgevoelige soorten nog goed kunnen functioneren. Voor matig zuurstofgevoelige soorten worden de gewenste minima over het algemeen wel gehaald in de stromende delen, maar regelmatig onderschreden in de stagnante delen. Voor zuurstoftolerante soorten worden weinig effecten verwacht. Niet alleen wordt de vereiste minimum zuurstofconcentratie nauwelijks onderschreden, ook kunnen sommige macro-evertebraten in perioden van zuurstoftekort overschakelen op anaërobe stofwisseling.

Lage zuurstofgehalten kunnen ook de gevoeligheid van macro-evertebraten en vissen voor andere waterkwaliteitsfactoren beïnvloeden (zoals temperatuur, organisch stof, zwevend stof en toxische stoffen). Hoewel niet in detail onderzocht, zijn deze effecten niet uit te sluiten, gezien de verhoogde gehalten van veel van deze variabelen voor de Grensmaas.

Concluderend kan gesteld worden dat de zuurstofgehalten in de Grensmaas in de zomer minder laag zijn dan op basis van de metingen bij Eijsden verwacht werd. De stuw bij Borgharen speelt hier een cruciale rol in. Toch zijn de minimum zuurstofgehalten in de Grensmaas aan de lage kant voor de optimale ontwikkeling van populaties van gevoelige soorten. Hierdoor zijn tolerante soorten van macro-evertebraten en vissen dominant en komen gevoelige soorten alleen in lage aantallen of incidenteel voor. In de toekomst zouden maatregelen dus in ieder geval gericht moeten zijn op het verbeteren van de zuurstofhuishouding van de Grensmaas. Daarnaast blijven het ontbreken van geschikte habitats, de beperkte hydro- en morfodynamiek en de matige waterkwaliteit aandachtspunten.

Lijst met tabellen en figuren

Tabellen

- 2.1. Gemiddelde afvoeren op de Maas bij Borgharen.
- 3.1. Overzicht meetlocaties en jaren van meetcampagnes met betrekking tot het zuurstofgehalte.
- 4.1. Zuurstofinslag bij de stuw van Borgharen bij verschillende zuurstofverzadigingspercentages (Breukel, 1992).
- 4.2. Toename in zuurstofgehalte (als percentage) in de Grensmaas ten opzichte van Eijsden voor de 10 dagen van de veldmetingen van 1999.
- 5.1. Klasse-indeling voor macro-evertebraten voor Grensmaas op basis van zuurstofgevoeligheid. Amoebesooten (volgens Postma et al., 1996) zijn onderstreept.
- 5.2. Klasse-indeling voor vissen in de Grensmaas op basis van zuurstofgevoeligheid. Amoebesooten (volgens Postma et al., 1996) zijn onderstreept.
- 5.3. Maximale gevoeligheid voor zuurstofgebrek bij korte en langdurige blootstelling. (Van der Linden, 1996).
- 5.4. Variatie in zuurstofgehalte voor zuurstofgevoelige soorten in stromende wateren in Nederland (op basis van metingen uit de Limnoda Neerlandica).

Figuren

- 1.1. De ligging van de Grensmaas.
- 2.1. Verloop van het zuurstofgehalte (jaargemiddelde per locatie) langs de Maas (Frankrijk, België en Nederland) in 1996. Alleen het zuurstofgehalte bij Tailfer voldoet aan de norm RIWA-doelstelling voor waterkwaliteit (RIWA, 1997).
- 2.2. Ecotoopverdeling van de Grensmaas.
- 3.1. Ligging van de meetlocaties langs de Grensmaas.
- 3.2. Analysemethoden effecten van de zuurstofhuishouding op macro-evertebraten en vissen.
- 4.1. Dagverloop van de zuurstofconcentratie op verschillende locaties aan de Grensmaas gedurende twee dagen in september 1999. Ook zijn weergegeven de handmatige metingen op de locaties Geulle, Meers en Maaseik.
- 4.2. Gemiddelde dagpatroon en zuurstofgehalte met bijbehorende spreiding voor respectievelijk Eijsden (automatische metingen) en de Grensmaas (veldmetingen) op de meetdagen in juli, augustus en september 1999.
- 4.3. Seizoensfluctuatie in zuurstofgehalte bij Eijsden in 1996 en 1999.
- 4.4. Zuurstofgradiënten over de Grensmaas (voor de sublocaties met stromend water).
- 5.1. Aantal organismen en taxa voor macro-evertebraten in de Maas in 1998 (Greijdanus-Klaas, 2001).
- 5.2. Zuurstofverloop in de Grensmaas in relatie tot zuurstofgevoeligheid van macro-evertebraten (metingen 1999).
- 5.3. Zuurstofverloop van de Grensmaas in relatie tot zuurstofgevoeligheid van vissen (metingen 1999).
- 5.4. Zuurstofverloop van de Grensmaas in de paaiperiode in relatie tot zuurstofgevoeligheid van vissen (metingen 1995).

SUMMARY

The Common Meuse is a shallow section of the river Meuse without weirs, having a character that is unique for The Netherlands (a large fall with relatively high flow rates and a gravel bed). Although the Common Meuse potentially offers a suitable habitat for a various range of macroinvertebrates and fish communities (amongst others rheophylic species) compared to the past, the present composition of species has lost a great deal of its diversity. One of the most important problems regarding water quality that often is mentioned in this respect, concerns the low oxygen concentrations measured at Eijsden during summer.

Considering the water function of the Common Meuse (water for salmonoids) and related sharp water quality standards (amongst others for oxygen content) it is important for future water management to gain insight into the actual oxygen balance of the Common Meuse and its consequences for the composition of species and its ecological potential. Therefor two objectives were set for this study:

- determination of the variation in time and space of the actual oxygen content in the Common Meuse and the circumstances and parameters that effect this content;
- determination of the relationships between oxygen content and the presence of aquatic organisms (specific species of fish and macroinvertebrates) in the Common Meuse and of the ecological problems to be expected.

The study focussed on summer time because critical oxygen contents prevail in this period.

To gain insight into the variation in actual oxygen contents in time and space, a monitoring campaign was carried out along the Common Meuse in 1999 within the framework of the EHM-program. At Geulle, Meers and Maaseijk measurements were performed on different sub-locations with variations in flow rate and water depth. Additional information was obtained from field measurements in the Common Meuse carried out in the past (1993-1996) and from data from the permanent measuring station at Eijsden.

As expected the oxygen content varies during the day, in the course of which the lowest values occur during the night and in the morning (circa 5.9 mg O₂/l with drops up to 2 mg/l in stagnant parts). This period may last for several hours. Daily differences between minimum and maximum oxygen levels are larger in stagnant and slowly flowing parts of the Common Meuse than in fast flowing parts. This is mainly caused by differences in hydraulic retention time (more algae bloom and therefor greater differences in oxygen production and consumption) and water temperature (higher process reaction rate).

Since the data ranges in the Common Meuse only refer to the summer period, seasonal fluctuation in oxygen content is not present within the data range. The data ranges at Eijsden however comprise a whole year period and show a clear pattern with an average oxygen content of 10-13 mg/l in winter and 5-6 mg/l in summer.

Considering the spatial variation in oxygen content locations, the stagnant parts of the summer bed appear having different properties. In general minimum and maximum values of oxygen content are lower in stagnant parts than in slow and fast flowing waters. However, no significant differences could be found between sub-locations and no significant relation could be established with parameters like water depth, flow rate or temperature.

Moreover, a more process-based explanation for this variation in oxygen content did not offer a satisfying and unambiguous result. However, it is obvious that the oxygen supply induced by the barrage at Borgharen is an important factor in explaining the level of the oxygen content in the Common Meuse.

No clear increase or decrease in oxygen content was observed lengthwise the Common Meuse during the monitoring period in 1999. The oxygen content at the three monitoring locations Geulle, Meers and Maaseik was quite similar. However, a plain difference was observed between the oxygen content at the Common Meuse and at Eijsden. Due to the barrage at Borgharen the percentage of oxygen in the Common Meuse increases by 15-29% in relation to the oxygen content at Eijsden.

Since there is no permanent measuring station in the Common Meuse it was examined if the oxygen content could be derived from the data from the permanent measuring station at Eijsden. With advanced statistical analysis (Artificial Neural Network) a fair to good relation could be determined between the oxygen content in the Common Meuse and the oxygen content and temperature at Eijsden, the discharge at Borgharen, the time of the day and the month. Nevertheless, it is recommended to perform periodic field measurements in the future to enlarge the understanding of the oxygen balance of the Common Meuse, and -in particular- of the differences between stagnant and flowing parts of the summer bed.

The oxygen demand of macro-invertebrates and fish, desired to live in the Common Meuse, was determined on the basis of a literature study, interviews and expert judgements. Based on this study three classes of oxygen-sensitivity were distinguished. With these classes an assessment was made of the consequences of the present oxygen concentrations in the Common Meuse for macroinvertebrates and fish.

Field measurements show that the existing population of macroinvertebrates and fish of the Common Meuse is developed rather weakly. For macroinvertebrates complete groups/families are lacking in the Common Meuse (beetles, dragonflies, stone-flies, bugs). Considering lacking species, it is noticed these are the oxygen-sensitive species. Several of these sensitive species are present in the upstream parts of the Meuse, therefore accessibility should be no restraint. For fish it could also be concluded that species that are tolerant to low oxygen levels are dominant and that very oxygen-sensitive fish such as Nase and Chub, only exist in small numbers in the Common Meuse.

A comparison with the present oxygen content in the Common Meuse shows that in general oxygen concentrations are lower than minimum concentrations for oxygen-sensitive species. For moderately oxygen-sensitive species the desirable minimum concentrations are usually well obtained in the flowing parts of the river, but are regularly lower in stagnant parts. For oxygen-tolerant species no effects are expected. For these species not only the required minimum oxygen concentration was sufficient, some macro-invertebrates are also able to switch to anaerobic metabolism in periods of oxygen deficiency.

Low oxygen contents also influence the sensitivity of macro-invertebrates and fish for other water quality factors (like temperature, organic matter, suspended matter and toxic compounds). Although not examined in detail these factors should not be excluded because of the increased values of many of these variables in the Common Meuse.

It can be concluded that oxygen content in the Common Meuse during summer was higher than expected, based on values at Eijsden, which is largely due to the effect of the weir at Borgharen. Nevertheless, minimum oxygen concentrations in the Common Meuse are rather low for optimal development of populations of sensitive species. For this reason tolerant species of macroinvertebrates and fish are dominant and more sensitive species are found only in low numbers. Measures in the future should therefore be focussed on the improvement of the oxygen regime of the Common Meuse. Furthermore attention should be fixed on the lack of suitable habitats, the limited hydro- and morpho-dynamics and the moderate water quality of the Common Meuse.

Tables and figures

Tables

- 2.1. Mean discharge of the river Meuse at Borgharen.
- 3.1. Sampling sites and sampling years.
- 4.1. Increase in oxygen content due to the weir at Borgharen at several oxygen saturation levels. (Breukel, 1992)
- 4.2. Increase in oxygen content in the Common Meuse compared with Eijsden during field measurements in 1999.
- 5.1. Classes of macroinvertebrate species for the Common Meuse based on oxygen sensitivity. Amoebe-species (according to Postma et al., 1996) are underlined.
- 5.2. Classes of fish species for the Common Meuse based on oxygen sensitivity. Amoebe-species (according to Postma et al., 1996) are underlined.
- 5.3. Maximum sensitivity for oxygen deficiency at short and long term exposure. (Van der Linden, 1996).
- 5.4. Variation in oxygen content for oxygen sensitive species in brooks and rivers in the Netherlands (based on data from "Limnodata Neerlandica")

Figures

- 1.1. Location of the Common Meuse.
- 2.1. Oxygen levels along the river Meuse (annual means for 1996 at several sampling sites in France, Belgium and the Netherlands). At Tailfer only oxygen contents meet the standard for water quality according to RIWA objectives (RIWA, 1997).
- 2.2. Ecotopes of the Common Meuse.
- 3.1. Sampling sites along the Common Meuse.
- 3.2. Analysis procedure to determine the effects of the oxygen regime on macroinvertebrates and fish.
- 4.1. Daily oxygen fluctuation at some sampling sites along the Common Meuse during two days in September 1999. Also indicated are manual measurements at the sites Geulle, Meers en Maaseik.
- 4.2. Average daily oxygen fluctuation (including daily range) at Eijsden and the Common Meuse in July, August and September 1999.
- 4.3. Seasonal oxygen fluctuation at Eijsden (1996 and 1999).
- 4.4. Oxygen gradient along the Common Meuse (for subsites with moderate and high flow rates).
- 5.1. Number of macroinvertebrate organisms and species in the river Meuse (1998) (Greijdanus-Klaas, 2001).
- 5.2. Oxygen levels of the Common Meuse related to oxygen sensitivity of macroinvertebrates (samples of 1999).
- 5.3. Oxygen levels of the Common Meuse related to oxygen sensitivity of fish (samples 1999).
- 5.4. Oxygen levels of the Common Meuse during the spawning period related to the oxygen sensitivity of fish species (samples of 1995).

RÉSUMÉ

La « Meuse Mitoyenne » (en Néerlandais « Grensmaas »), à la frontière entre la Belgique et les Pays-Bas, est une section non canalisée de la Meuse, sans barrages et peu profonde, au caractère unique pour les Pays-Bas. Le cours d'eau présente en effet une pente relativement importante, des vitesses de courant élevées, et un lit de graviers. Bien que la Meuse Mitoyenne constitue potentiellement un habitat propice à tout un éventail de macroinvertébrés et de communautés piscicoles (parmi lesquelles des espèces rhéophiles), la diversité d'espèces actuellement présentes est fortement réduite par rapport au passé. On considère souvent les faibles teneurs en oxygène mesurées à la station d'Eijsden comme le principal problème de qualité de l'eau à l'origine de cette absence de diversité.

La Meuse Mitoyenne étant un cours d'eau à salmonidés, avec des normes de qualité de l'eau très strictes, notamment pour la teneur en oxygène, la gestion de cette portion de cours d'eau exige une meilleure connaissance du cycle de l'oxygène et de ses conséquences écologiques locales. Dans cet objectif, la présente étude aborde une double question :

- quelle est la variabilité spatiale et temporelle des teneurs en oxygène de la Meuse Mitoyenne et quels sont les facteurs influençant cette variabilité?;
- quelle est la relation entre les teneurs en oxygène et la présence d'organismes aquatiques (en particulier les poissons et la macrofaune) dans la Meuse Mitoyenne, et quelles conséquences écologiques peuvent être induites par un déficit en oxygène?

Les études ont été réalisées en été, cette saison étant la plus critique au regard de la teneur en oxygène.

L'étude de la variabilité des teneurs actuelles en oxygène a débuté par une campagne d'analyses réalisée dans le cadre du programme de mesures du projet Restauration Ecologique de la Meuse (en Néerlandais EHM). Des analyses ont été réalisées à Geulle, Meers en Maaseik, en différents points du cours d'eau choisis de façon à faire varier la profondeur de l'eau et la vitesse du courant. Les données recueillies ont été complétées par des analyses réalisées en 1993-1996 sur la Meuse Mitoyenne, ainsi que par des données de la station de mesure permanente de Borgharen.

Les teneurs en oxygène observées fluctuent bien entendu au cours de la journée, les valeurs les plus faibles étant observées la nuit et à la levée du jour, avec des teneurs aux alentours de 5.9 mg O₂/l. Cette période de faibles concentrations peut durer quelques heures. L'amplitude des variations est plus grande dans les zones d'eau stagnante ou de faible courant que dans les zones à courant élevé. Ce phénomène est dû notamment à une croissance d'algues plus forte et donc une plus grande variabilité journalière de production et de consommation d'oxygène, ainsi qu'à une température plus élevée qui accélère les processus biologiques et chimiques.

La campagne de mesures ne permet pas l'étude des variations saisonnières; cependant, les données interannuelles disponibles à Eijsden montrent un patron saisonnier régulier avec une concentration moyenne en oxygène de 10 à 13 mg/l en hiver et de 5 à 6 mg/l en été.

L'observation des variations spatiales met en évidence les zones d'eau stagnante où les minima et les maxima d'oxygène sont plus faibles que dans les secteurs d'eau courante. Pour les autres types de zones spatiales distinguées dans l'étude, il n'a pas été possible d'expliquer la teneur en oxygène à partir de facteurs tels que la profondeur de l'eau, la vitesse du courant ou la température. L'analyse des processus biologiques et chimiques mis en jeu n'a pas non plus abouti à un résultat concluant. Il apparaît cependant clairement que l'oxygénation de l'eau au barrage de Borgharen joue un rôle déterminant pour l'oxygène de la Meuse Mitoyenne.

La campagne de mesures de 1999 n'a pas permis d'observer de tendance significative dans les teneurs en oxygène mesurées dans le sens longitudinal du cours d'eau. Les concentrations mesurées aux trois stations temporaires de Geulle, Meers et Maaseik sont comparables. Il apparaît cependant clairement une différence entre les teneurs en oxygène de la Meuse Mitoyenne et celles mesurées à Eijsden. Le barrage de Borgharen a pour effet d'augmenter la saturation en oxygène de 15 à 29% dans la Meuse Mitoyenne par rapport à Eijsden.

En l'absence de station de mesure permanente sur la Meuse Mitoyenne, on a cherché à établir s'il était possible de déterminer les teneurs en oxygène à partir des teneurs mesurées à Eijsden. Une analyse statistique avancée par la méthode des Réseaux de Neurones Artificiels a révélé des relations allant de relativement bonnes à bonnes entre la teneur en oxygène dans la Meuse Mitoyenne et la teneur en oxygène et la température à Eijsden, le débit à Borgharen, l'heure du jour et le mois. Il reste cependant recommandé de réaliser à l'avenir des mesures périodiques de la qualité de l'eau afin d'améliorer la connaissance du cycle de l'oxygène dans la Meuse Mitoyenne, notamment concernant les différences observées entre les zones d'eau stagnantes et les zones d'eau courante.

Les besoins en oxygène des macroinvertébrés et des poissons que l'on souhaite voir (re)peupler la Meuse Mitoyenne ont été déterminés à l'aide d'une étude bibliographique, d'entretiens, et d'opinions d'expert. On a ensuite distingué trois classes de sensibilité à l'oxygène, pour lesquelles on a évalué quel serait l'impact des concentrations actuellement observées dans la Meuse Mitoyenne.

Les inventaires faunistiques existants montrent que la population actuelle de macroinvertébrés ainsi que la population piscicole sont relativement mal développées. Pour les macroinvertébrés, des groupes ou familles entières sont absentes du cours d'eau : les coléoptères, les libellules, les plécoptères et les hétéroptères. Il apparaît que les espèces manquantes sont justement des espèces sensibles à l'oxygène. Ces espèces sont cependant présentes plus en amont, et pourraient donc fort bien atteindre la Meuse Mitoyenne. Pour les poissons on observe de même que les espèces peu sensibles à l'oxygène sont dominantes et que les espèces très sensibles comme le Hotu et le Chevaîne ne sont présentes qu'en petit nombre.

Les teneurs actuelles en oxygène de la Meuse Mitoyenne sont généralement inférieures aux concentrations minimales pour lesquelles les espèces très sensibles à l'oxygène peuvent encore vivre normalement. Ces teneurs permettraient globalement une vie normale aux espèces moyennement sensibles dans les zones d'eau courante, mais elles sont régulièrement inférieures aux exigences de ces espèces dans les zones d'eaux stagnantes.

Les impacts des teneurs en oxygène de la Meuse Mitoyenne sur les espèces peu sensibles sont bien évidemment limités, d'autant plus que certains de ces macroinvertébrés peuvent, en cas de manque d'oxygène, passer à un métabolisme anaérobie.

De faibles teneurs en oxygène peuvent également influencer la sensibilité de macroinvertébrés et de poissons à d'autres facteurs de qualité de l'eau (tels que la température, la teneur en matière organique, en matières en suspension ou en substances toxiques). De tels effets n'ont pas été étudiés en détail, mais ne sont pas à exclure, étant donné la valeur pénalisante que prennent nombre de ces paramètres dans la Meuse Mitoyenne.

En conclusion, on peut dire que les teneurs en oxygène dans la Meuse Mitoyenne sont plus élevées en été que ce qui était attendu sur la base des teneurs connues à Eijsden. Le barrage de Borgharen joue un rôle crucial dans ce phénomène. L'oxygénation du cours d'eau reste cependant trop faible pour un développement optimal des populations d'espèces sensibles. Les espèces de macro-invertébrés et de poissons peu sensibles au manque d'oxygène sont par conséquent dominantes, et les espèces sensibles n'apparaissent qu'en petit nombre ou de façon occasionnelle. La gestion de l'eau adoptée devrait donc dans tous les cas viser à améliorer le cycle de l'oxygène de la Meuse Mitoyenne. On observera en parallèle que l'absence d'habitats appropriés, la dynamique hydrologique et morphologique limitée, et la qualité médiocre de l'eau, sont des facteurs limitant pour l'écologie de ce cours d'eau.

Tableaux et figures

Tableaux

- 2.1. Débits moyens de la Meuse à Borgharen.
- 3.1. Stations et années de mesure.
- 4.1. Oxygénation au barrage de Borgharen pour différentes valeurs de la saturation en oxygène. (Breukel, 1992)
- 4.2. Augmentation de la teneur en oxygène dans la Meuse Mitoyenne par rapport à Eijsden pour les 10 jours de la campagne de mesures de 1999.
- 5.1. Classification des macro-invertébrés de la Meuse Mitoyenne selon leur sensibilité à l'oxygène. Les espèces "Amoebe" (selon Postma et al., 1996) sont soulignées.
- 5.2. Classification des poissons de la Meuse Mitoyenne selon leur sensibilité à l'oxygène. Les espèces "Amoebe" (selon Postma et al., 1996) sont soulignées.
- 5.3. Sensibilité à la durée de disponibilité de l'oxygène. (Van der Linden, 1996).
- 5.4. Variations des teneurs en oxygène pour les espèces sensibles dans les eaux courantes aux Pays-Bas (basé sur des données de "Limnodata Neerlandica")

Figures

- 1.1 La Meuse Mitoyenne.
- 2.1. Evolution de la teneur en oxygène le long de la Meuse (France, Belgique et Pays-Bas), moyenne annuelle en 1996. A Tailfer seulement la teneur en oxygène atteint la valeur standard pour la qualité de l'eau selon (RIWA, 1997).
- 2.2. Les écotopes de la Meuse Mitoyenne.
- 3.1. Les stations de mesure.
- 3.2. Méthode d'analyse des impacts des teneurs en oxygène sur les macro-invertébrés et les poissons.

- 4.1 Variations des teneurs en oxygène pour différentes stations de mesure sur la Meuse Mitoyenne sur deux journées de septembre 1999. Les mesures manuelles à Geulle, Meers en Maaseik sont indiquées également.
- 4.2. Variations journalières des teneurs en oxygène à Eijsden et dans la Meuse Mitoyenne.
- 4.3. Variations saisonnières des teneurs en oxygène à Eijsden en 1996 et 1999.
- 4.4. Gradient d'oxygène sur la Meuse Mitoyenne pour les sites à eau courante.
- 5.1. Nombre d'organismes et de taxons pour les macro-invertébrés sur la Meuse en 1998. (Greijdanus-Klaas, 2001).
- 5.2. Evolution des teneurs en oxygène de la Meuse Mitoyenne en lien avec la sensibilité à l'oxygène des macro-invertébrés (mesures de 1999).
- 5.3. Evolution des teneurs en oxygène de la Meuse Mitoyenne en lien avec la sensibilité à l'oxygène des poissons (mesures de 1999).
- 5.4 Evolution des teneurs en oxygène de la Meuse Mitoyenne pendant la période de frai en lien avec la sensibilité à l'oxygène des poissons (mesures de 1995).

1

INLEIDING

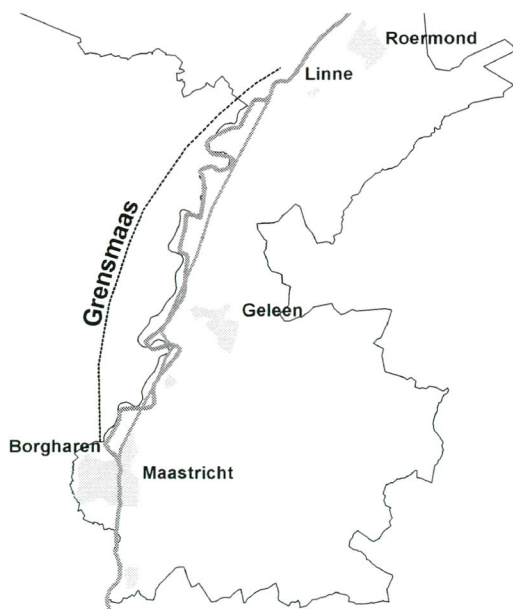
1.1

Aanleiding project

De Grensmaas vormt het deel van de Maas dat de grens vormt met België (figuur 1.1) en neemt binnen de Nederlandse rivieren een unieke positie in. Omdat dit gedeelte het enige ondiepe en ongestuwde riviervlak is in Nederland, kan het tot het meest natuurlijke riviervlak in Nederland bestempeld worden. Bovendien heeft de Grensmaas een voor Nederlandse begrippen groot verval en daardoor relatief hoge stroomsnelheden. Dit, in combinatie met de grindbodem, biedt in potentie een geschikte habitat voor een divers scala aan macro-evertebraten- en visgemeenschappen, waaronder reofiele (stroomminnende) organismen. In de AMOEBE¹ voor de Grensmaas is dan ook een aantal reofiele doelsoorten opgenomen. De huidige soortensamenstelling heeft ten opzichte van het verleden echter sterk ingeboet aan diversiteit en reofiele soorten zijn nog maar beperkt aanwezig. Oorzaken die hiervoor genoemd worden zijn onder meer het gebrek aan geschikte habitats, de beperkte hydro- en morfodynamiek en de matige waterkwaliteit. Eén van de belangrijkste waterkwaliteitsproblemen die vaak genoemd wordt in dit verband, is de lage zuurstofconcentratie die in de zomer vaak gemeten wordt bij Eijsden. Reofiele soorten zijn in het algemeen zeer gevoelig voor lage zuurstofconcentraties.

De Grensmaas heeft in de Vierde Nota waterhuishouding (als enige riviervlak in Nederland) de waterhuishoudkundige functie 'water voor zalmachtigen' toegekend

gekregen. Hiermee wordt een aantal waterkwaliteitsnormen, waaronder zuurstofgehalte, scherper gesteld. Ten behoeve van het toekomstig waterbeheer is het dus van belang inzicht te hebben in de actuele zuurstofhuishouding van de Grensmaas en de consequenties daarvan voor de soortensamenstelling en ecologische potenties. Ook de relatie van het zuurstofgehalte met andere factoren als de inrichting van het zomerbed en de afvoer is hierbij van belang.



Figuur 1.1. De ligging van de Grensmaas

1.2

Doel onderzoek

Het hoofddoel van het hier beschreven onderzoek is in beeld te brengen in hoeverre de zuurstofhuishouding van de Grensmaas gevolgen heeft voor de ecologische ontwikkeling

¹ Algemene Methode voor Oecosysteembeschrijving en Beoordeling

en potentie. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn twee subdoelstellingen onderscheiden:

- wat is de variatie van het actuele zuurstofgehalte in tijd en ruimte en welke factoren beïnvloeden deze variatie;
- wat is de relatie tussen het zuurstofgehalte en het voorkomen van aquatische organismen (specifiek macro-evertebraten en vissen) in de Grensmaas en welke ecologische problemen zijn er te verwachten.

In dit onderzoek staan de zuurstofgehalten en de fluctuaties daarin in de Grensmaas in de zomerperiode centraal. De redenen om de zomerperiode te beschouwen houden verband met de verwachting dat de laagste zuurstofgehalten in de zomer zullen optreden en met het feit dat in dit seizoen de ecologische activiteit het hoogst is. Verondersteld wordt dat als in de zomerperiode aan de zuurstofeisen van soorten wordt voldaan, dit de rest van het jaar ook in orde zal zijn.

In het voorliggende rapport zijn de onderzoeksresultaten van diverse voorgaande studies samengevat en geïnterpreteerd. Hierbij is hoofdzakelijk gebruikt gemaakt van een studie van Witteveen+Bos (2001) en de een werkdocument van Greijdanus-Klaas (2001).

WATERSYSTEEM VAN DE GRENSMAAS

De Grensmaas is het ondiepe, onbedijkte en ongestuwde gedeelte van de Maas dat de grens vormt tussen de provincie Limburg en Vlaanderen. Het traject loopt van de stuw bij Borgharen tot de stuw bij Linne (figuur 1.1). Tussen Borgharen (km 15) en Roosteren (ongeveer km 54) staat de rivier niet onder invloed van de stuw en is er sprake van vrije afstroming.

Het stroomgebied van de Grensmaas omvat een oppervlak van 379 km², inclusief zijbeken (totale Maas stroomgebied is ruim 33.000 km²). Er zijn enkele kleine beken die hun water afvoeren op de Grensmaas: de Geul, de beekjes vanaf de westflank van het Maasdal (Kempisch Plateau) en de beekjes uit het Bunderbos.

De Grensmaas heeft zich in de loop van de eeuwen meters diep ingesneden. Als gevolg van grindwinning is het zomerbed nog eens extra uitgediept. De uiterwaarden zijn opgekleid en plaatselijk rijk aan reliëf.

2.1 Hydrologie

Waterkwantiteit

De Maas is bij uitstek een regenrivier en kenmerkt zich daardoor door een sterk fluctuerende afvoer, die sterk samenhangt met neerslagperioden. Zo varieert de natuurlijke afvoer bij Borgharen van soms minder dan 5 m³/s na aanhoudende droogte in de zomerperiode (maximaal enkele dagen per jaar) tot meer dan 2500 m³/s bij overvloedige regenval in het stroomgebied (eens per 25 jaar) al of niet in combinatie met smeltwater uit de hoger gelegen Ardennen (tabel 2.1). Het sterke verhang en de slecht doorlatende ondergrond in dit gebied zorgen er mede voor dat tijdens neerslagpieken het water snel (vaak al binnen 48 uur) wordt afgevoerd naar de Nederlandse benedenloop.

Tabel 2.1. Gemiddelde afvoeren op de Maas bij Borgharen.

Langjarig gemiddelde afvoer	230 m ³ /s
Gem. afvoer zomer	105 m ³ /s
Gem. afvoer winter	355 m ³ /s
Laagste afvoer	<5 m ³ /s
Maximale afvoer (1993)	3120 m ³ /s
Gem. afvoer nat jaar (1966)	406 m ³ /s
Gem. afvoer droog jaar (1976)	74 m ³ /s

naar: Berger & Mugie 1994

Het huidige waterkwantiteitsverloop van de Maas wordt beïnvloed door de vele menselijke ingrepen in het riviersysteem (normalisatie, verstedelijking). Met name in perioden met lage tot gemiddelde afvoer stijgt het water bij flinke regenval in korte tijd sneller en tot een hoger niveau dan vroeger het geval was. Bovendien zorgt de waterkrachtcentrale bij Lixhe met haar dagelijkse afvoerfluctuaties voor forse afvoerverschillen (met name in de zomer). Daarnaast wordt de afvoer van de Grensmaas kunstmatig gestuurd door diverse kunstwerken die enkele Belgische en Nederlandse kanalen voeden.

In de zomer is de afvoer laag. In de gestuwde gedeeltes wordt het water dan lang vastgehouden, terwijl in de ongestuwde Grensmaas zeer lage waterstanden voorkomen. Hierdoor is geen scheepvaart mogelijk, deze gaat via het Julianakanaal. Uit ecologisch oogpunt wordt voor de Grensmaas een minimum afvoer voor de Grensmaas van 10 m³/s nagestreefd. Dit betekent dat bij zeer lage afvoer minder Maaswater aan de Nederlandse en Belgische kanalen wordt toebedeeld (tot een bepaald minimum).

Waterkwaliteit

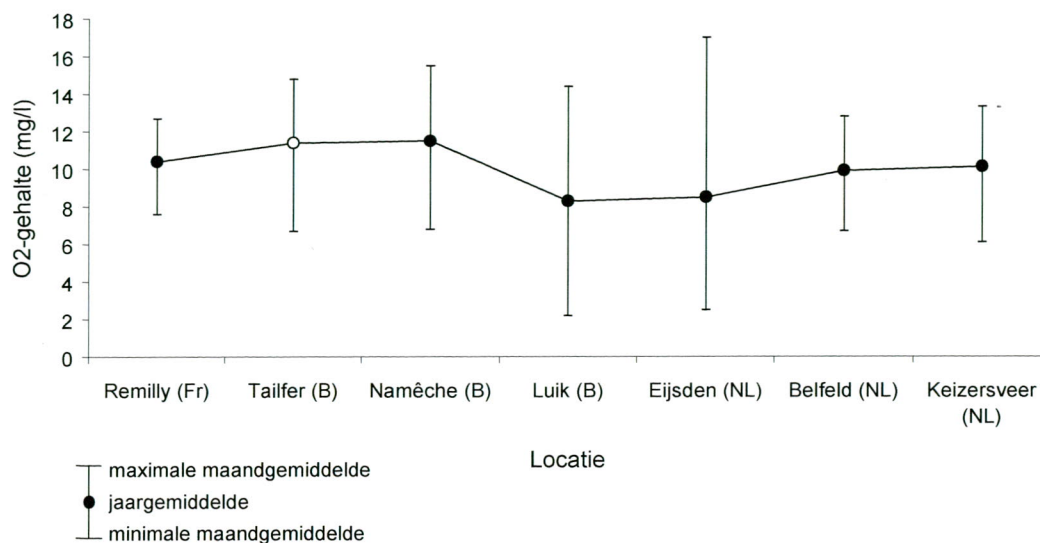
De waterkwaliteit van de Maas is, sinds de industriële ontwikkeling op gang kwam, sterk achteruitgegaan door verontreiniging met onder meer zware metalen, eutrofiërende stoffen, organisch materiaal, bestrijdingsmiddelen en radioactieve stoffen. Hoewel de waterkwaliteit de laatste decennia is verbeterd door bepaalde maatregelen (bv afname ongezuiverde lozingen in Nederland door aansluiten huishoudens op rioolwaterzuiveringsinstallaties), is de slechte waterkwaliteit nog steeds een van de grootste beperkingen voor de ecologische ontwikkeling van de Maas (Liefveld et al., 2000). Het effect van een slechte waterkwaliteit beperkt zich niet tot het zomerbed, maar komt via afzetting van vervuild slib en doorvergiftiging in organismen ook in het terrestrische deel van het riviersysteem terecht.

Zuurstof

Het zuurstofgehalte in de Maas bij Eijsden vertoont sinds de jaren 70 een dalende trend. De zuurstofgehalten bij Eijsden zijn bijna het laagst van de gehele Maas: het jaargemiddelde schommelt de laatste jaren rond de 8 mg/l (figuur 2.1). Uit de figuur blijkt dat het zuurstofgehalte in de Maas bij Luik een flinke klap krijgt (met name door lozingen van ongezuiverd huishoudelijk afvalwater), waarvan het bij Eijsden nog niet is hersteld. Bij Belfeld zijn de gehalten weer toegenomen, maar de gehalten die bovenstrooms van Luik voorkomen worden niet meer gehaald. Overigens kunnen in werkelijkheid lagere gehalten voorkomen dan uit de grafiek blijkt, omdat de gepresenteerde gehalten gebaseerd zijn op maandgemiddelden. Het zijn juist deze minimale zuurstofwaarden die beperkend zijn voor gevoelige aquatische organismen in de Maas. Uit de figuur blijkt ook dat op slechts één locatie (Tailfer) de RIWA-kwaliteitsdoelstelling (> 80% verzadiging op basis van de 90-percentielswaarde) gehaald wordt (RIWA, 1997). In het algemeen in het zuurstofgehalte dus in vrijwel de gehele Maas onvoldoende.

Voor wateren met een functie 'water voor zalmachtigen' is de norm voor zuurstof gesteld op 7 mg/l. Deze norm wordt echter frequent overschreden in de jaren 1993-1998 (Breukel & Mol, 1999).

Zuurstofgehalten worden bepaald door een combinatie van factoren waarin watertemperatuur, zuurstofverbruik en/of -productie door organismen in het water en reaëratie een belangrijke rol spelen. De zuurstofconcentratie van water wordt positief beïnvloed door de mate van uitwisseling met de omringende lucht. Dit wordt bevorderd door bijvoorbeeld stroomversnellingen, watervalletjes (bijvoorbeeld over een stuw) etc. Omdat bij Borgharen het Maaswater over een stuw gevoerd wordt en in de Grensmaas lokale ondieptes voor extra waterbeweging zorgen, is het zuurstofgehalte bij Eijsden niet representatief voor het zuurstofgehalte in de Grensmaas. Door de val over de stuw wordt ongeveer 2 mg/l extra zuurstof ingebracht (Breukel, 1992). Afbreekbare organische verbindingen (o.a. organisch gebonden stikstof) hebben een negatief effect op de zuurstofconcentratie, omdat er zuurstof gebruikt wordt bij de microbiële afbraak ervan. Ook eutrofiërende stoffen hebben een negatief effect omdat ze algengroei stimuleren.



Figuur 2.1. Verloop van het zuurstofgehalte (jaargemiddelde per locatie) langs de Maas (Frankrijk, België en Nederland) in 1996. Alleen het zuurstofgehalte bij Tailfer voldoet aan de norm RIWA-doelstelling voor waterkwaliteit (RIWA, 1997).

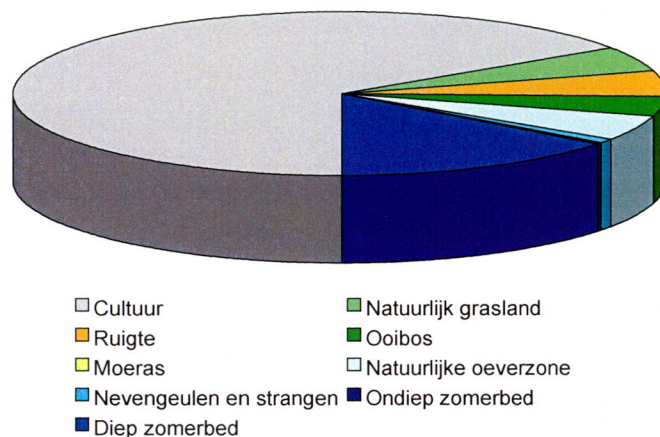
2.2

Ecologie

Ecotopen

De rivierkundige ingrepen van de afgelopen eeuwen hebben grote gevolgen gehad voor het leven in en om de Maas. Door de normalisatiewerken zijn veel ondiepe delen van het zomerbed, zand- en grindbanken, nevengeulen en eilanden verdwenen en daarmee nam het areaal geschikt leefgebied voor veel planten en dieren af. Het zomerbed werd uniformer wat leidde tot een verlies van biodiversiteit. Al veel eerder was het ooibos uit de uiterwaarden verdwenen om plaats te maken voor cultuurland. Tegelijk kwam hiermee een einde aan de aanwezigheid van dood hout in de rivier wat biotoopverlies betekende voor een aantal karakteristieke aquatische organismen. Door allerlei rivier-, landbouw- en stedenbouwkundige ingrepen zijn op deze manier tal van ecotopen verdwenen of in oppervlak afgenomen en daarmee zijn de karakteristieke soorten sterk bedreigd geraakt of zelfs geheel uit het Maas-ecosysteem verdwenen.

In figuur 2.2 is globaal de ecotoopverdeling weergegeven voor het Grensmaas traject. Het winterbed is relatief breed ten opzichte van het zomerbed. Natuurlijke ecotopen komen weinig voor: bijna driekwart van het winterbed is in cultuur gebracht.



Figuur 2.2. Ecotoopverdeling van de Grensmaas.

Door de menselijke ingrepen is veel van de oorspronkelijke morfodynamiek verloren gegaan: de rivier is gestuwd, de oevers zijn vastgelegd, de rivier wordt op diepte gehouden, de meanderbochten zijn rechtgetrokken. Alleen bij extreem hoogwater is er iets van de vroegere rivierdynamiek te herkennen en vinden er weer interessante morfologische processen plaats in de rivier. De beperkte hydrodynamiek, het smalle zomerbed, de relatief steile oevers en het geringe aanbod van sediment bemoeilijken het ontstaan van elementen die in een natuurlijke grindrivier thuishoren, zoals ondiepe delen in het zomerbed, eilanden, nevengeulen, alternerende zand- en grindbanken, natuurlijke oevers met moerassige ruigtes en zachthout ooibos.

Macro-evertebraten

De diversiteit aan macro-evertebraten die wordt aangetroffen in de Grensmaas is lager dan verwacht. Indien naar de verhouding tolerante-gevoelige soorten wordt gekeken, valt op dat in de jaren 1992-1996 het aandeel (relatief) tolerante soorten in de hele periode groot is (> 95%) (Liefveld et al., 2001). Als mogelijke oorzaken voor de matige soortdiversiteit worden de waterkwaliteit, het gebrek aan geschikte habitats en de waterstandsfluctuaties als gevolg van de waterkrachtcentrale bij Lixhe genoemd.

Vissen

De visfauna van de Grensmaas is de laatste decennia sterk achteruitgegaan. Toch heeft het nog steeds de karakteristieken van een middenloop, waarbij stromingsminnende soorten horen als Serpeling (*Leuciscus leuciscus*), Winde (*L. idus*), Kopvoorn (*L. cephalus*), Barbeel (*Barbus barbus*) en Snee (Chondrostoma nasus) (Raat 1996, Maaswerken 1998b), hoewel deze soorten momenteel slechts in zeer lage dichtheden voorkomen. Net als bij de macro-evertebraten speelt de waterkwaliteit, het gebrek aan geschikte paaiplassen en de waterstandsfluctuaties als gevolg van de waterkrachtcentrale bij Lixhe een rol bij de matige soortdiversiteit (Liefveld et al., 2001; Crombaghs et al. 2000). Voor soorten als zalm en zeeforel vormt de Grensmaas een belangrijke verbindingsweg tussen de zee en de stroomopwaarts liggende paai- en opgroeigebieden (bijv. de Ourthe). Nog niet alle stuwen zijn voorzien van vistrappen waardoor de migratiemogelijkheden voor vissen nog steeds worden belemmerd.

2.3

Streefbeeld

Gezien het specifieke karakter van de Grensmaas (grote breedte/diepte verhouding, ondiep, vrij- en snelstromend, bodem en oevers van grind en keien), heeft de Grensmaas de functie 'water voor zalmachtigen' toegekend gekregen. Dit houdt in dat de als kwaliteitsdoelstellingen de strengste normen voor zuurstofhuishouding en temperatuur gelden. De ecologische doelstelling van de Grensmaas is ten minste gericht op het in stand houden en zo mogelijk verbeteren van het voor dit riviertype karakteristieke ecosysteem (RWS Directie Limburg, 2000). Dit houdt in dat de rivier geschikt moet zijn als habitat voor karakteristieke stroomminnende soorten (voldoende paaiplaatsen, geen belemmering migratie in lengte- en dwarsrichting, monding zijbeken vrij optrekbaar). Ook processen van de rivier (rivierdynamiek, vegetatiedynamiek en populatiedynamiek van de fauna) moeten op natuurlijke en ongestoorde wijze kunnen verlopen. Daarnaast is in het huidige laagwaterbeleid opgenomen dat lage afvoeren de ecologische ontwikkeling van de Grensmaas niet mogen frustreren (zie ook paragraaf 2.2, minimumafvoer van $10\text{m}^3/\text{sec}$).

In de toekomst zullen langs de Grensmaas nieuwe natuurwaarden worden ontwikkeld, in combinatie met grindwinning en rivierverruiming (IWACO et al., 1998). Omdat Hoewel de geplande ingrepen zeker van invloed zullen zijn op de morfo- en hydrodynamiek van de Grensmaas (en daarmee op de aquatische levensgemeenschappen), is niet exact aan te geven in welke richting deze veranderingen zullen gaan, omdat de uit te voeren variant nog niet vaststaat. De verwachting is wel dat hierbij meer variatie aan aquatische habitats gaat ontstaan.

Om een goede indruk te krijgen van de zuurstofhuishouding van de Grensmaas, de factoren die de zuurstofhuishouding beïnvloeden en de invloed van de zuurstofhuishouding op macro-evertebraten en vissen is een aantal onderzoeksstappen doorlopen. Dit zijn:

- *Stap 1: het doen van veldmetingen. Omdat in de Grensmaas geen permanente meetpunten aanwezig zijn (bij Eijsden is het dichtsbijzijnde permanente meetpunt van Rijkswaterstaat), zijn aanvullende metingen van het zuurstofgehalte en een aantal andere relevante variabelen in de Grensmaas gedaan.*
- *Stap 2: de analyse van de veldmetingen (temporele en ruimtelijke fluctuaties zuurstofgehalte, relatie met andere factoren, zuurstofbalans, relatie Grensmaas-Eijsden).*
- *Stap 3: de analyse van de zuurstofhuishouding in relatie tot een aantal ecologische aspecten.*

Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methoden en technieken wordt verwezen naar Witteveen+Bos (2001).

3.1 Veldmetingen

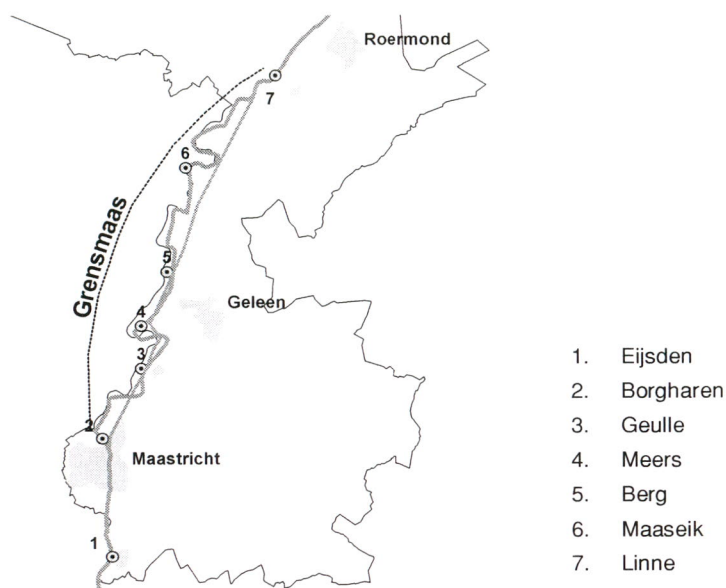
De metingen van het zuurstofgehalte op het permanente meetpunt bij Eijsden zijn niet representatief voor de Grensmaas. Om inzicht te krijgen in de werkelijke variatie in zuurstofgehalten van de Grensmaas (in ruimte en tijd) is daarom gebruik gemaakt van veldgegevens die de afgelopen jaren (1993-1999) verzameld zijn op verschillende locaties langs de Grensmaas. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de meetlocaties met de rivierkilometers over de lengte as van de Grensmaas en de bijbehorende jaren van de meetcampagnes. Figuur 3.1 geeft de meetlocaties weer.

Tabel 3.1. Overzicht meetlocaties en jaren van meetcampagnes met betrekking tot het zuurstofgehalte.

Meetlocatie	Rivierkm	Automatische metingen	Handmatige metingen
Eijsden	5.04	Permanent meetpunt (RWS)	
Borgharen (boven stuw)	15.25	1993 - 1996	
Geulle	25		1999
Meers	32.3	1993 - 1996	1999
Berg	38.8	1993 - 1996, 1999	1999
Maaseik	51		1999
Linne	68	1993 - 1996	

Automatische metingen 1993-1996

In de periode 1993 - 1996 zijn door RIZA metingen gedaan van zuurstofgehalten in de Grensmaas (Borgharen, Meers, Berg en Linne) en bij Eijsden. Met behulp van een tijdelijk geïnstalleerde vaste meetopstelling is ieder jaar vanaf circa half mei tot circa eind oktober continu het zuurstofgehalte en de temperatuur op uurbasis geregistreerd. De meetapparatuur is wekelijks gecalibreerd.



Figuur 3.1. Ligging van de meetlocaties langs de Grensmaas.

Handmatige veldmetingen 1999

In het kader van het EHM-programma zijn in 1999 veldmetingen uitgevoerd op drie locaties langs de Grensmaas (Geulle, Meers en Maaseik). De veldmetingen zijn in vijf series van twee dagen uitgevoerd, gelijkmatig verspreid over de maanden juli, augustus en september. Elk uur is handmatig gemeten van 5.00 uur 's ochtends tot 19.00 uur 's avonds. De volgende variabelen zijn vastgelegd (Zuiveringsschap Limburg, 1999):

- zuurstofgehalte (en verzadigingspercentage);
- temperatuur;
- stroomsnelheid;
- waterdiepte;
- pH;
- substraat.

Bovendien zijn watermonsters genomen en geanalyseerd op variabelen die mogelijk van invloed zijn op de zuurstofhuishouding (o.a. chlorofyl-a gehalte).

In principe is op de hoofdlocaties op één diepte gemeten, net onder het wateroppervlak. In relatief diep water is voor een aantal variabelen (zuurstofgehalte, stroomsnelheid en temperatuur) op twee verschillende diepten gemeten, namelijk net onder het wateroppervlak en op de rivierbodem. Daarnaast is waar mogelijk bij verschillende stroomsnelheden gemeten¹. Uiteindelijk zijn 5 verschillende typen sublocaties onderscheiden:

- stagnant water;
- snelstromend ondiep water, (diepte 10-40 cm, gemiddelde stroomsnelheid ≥ 0.35 m/s);

¹ Wat betreft het onderscheid tussen langzaamstromend en snelstromend water moet worden opgemerkt dat de sublocaties op het oog zijn onderscheiden. Doel was om op één locatie bij verschillende stroomsnelheden te meten. De snelheden kunnen dus per locatie en per dag verschillen.

- snelstromend diep water, (diepte 70-90 cm, gemiddelde stroomsnelheid ≥ 0.35 m/s);
- langzaam stromend ondiep water, (diepte 10-40 cm, gemiddelde stroomsnelheid < 0.35 m/s);
- langzaam stromend diep water, (diepte 70-90 cm, gemiddelde stroomsnelheid < 0.35 m/s).

Continue automatische metingen 1999

Ter ondersteuning van de veldmetingen in 1999 zijn in dezelfde periode (juli tot en met september) continue automatische metingen uitgevoerd bij Eijsden en Berg. Bij Eijsden (meetpunt RWS) is elk half uur zowel de waterstand, het zuurstofgehalte als de temperatuur gemeten. Bij Berg is in 1999 een tijdelijk automatisch meetpunt ingericht en is elk half uur zowel het gemiddelde zuurstofgehalte als de temperatuur geregistreerd. De apparatuur is wekelijks gecalibreerd.

3.2 Analyse veldgegevens

Datascreening

Omdat fouten in de meetreeksen tot verkeerde conclusies kunnen leiden, zijn alle veldgegevens eerst gecontroleerd op hiaten, afwijkende waarden en foutieve waarnemingen, alvorens ze zijn opgenomen in verdere analyses.

Aan de hand van grafische tijdreeksen is een globale indruk verkregen van de verdeling van de gegevens en van het voorkomen van hiaten in de meetreeksen. Het ontbreken van waarnemingen is, afhankelijk van de verdere statistische analyse, opgelost door lineaire interpolatie of middels meer geavanceerdere methoden (zoals Kalman filtering). Daarnaast is met behulp van Box-Whisker plots een globale indruk verkregen van de verdeling van de gegevens (mediaan, minimum, maximum, 25- en 75-percentielswaarde, extremen en potentiële uitbijters). Van een beperkt aantal waarnemingen met extreme waarden is geconstateerd dat het waarschijnlijk fouten in het gegevensbestand betrof. Deze zijn dan ook niet in de verdere analyse meegenomen. Voor verdere uitleg over de gebruikte technieken wordt verwezen naar Witteveen+Bos (2001)

Algemene karakteristieken meetgegevens

Statistische kentallen zijn gebruikt om de meetgegevens van de locaties en de sublocaties langs de Grensmaas samen te vatten in een overzichtelijk aantal waarden, waardoor een indruk wordt verkregen van de hoogte, de verdeling en het verloop van het zuurstofgehalte en eventuele verschillen tussen (sub)locaties. De berekende kentallen zijn gemiddelde, minimum en maximum.

Temporele en ruimtelijke variatie zuurstofgehalten

Aan de hand van de veldmetingen zijn dag/nachtfluctuaties en seizoensfluctuaties in zuurstofgehalten bepaald. Daarnaast is onderzocht of er een significante variatie in het zuurstofgehalte is, zowel in de lengte- als de breedte richting van de Grensmaas.

- Breedterichting: variatie op sublocaties met verschillen in waterdiepte en stroming.
- Lengterichting: verschillen tussen de meetlocaties in Grensmaas onderling.

Om verbanden te onderzoeken tussen de meetgegevens op de verschillende meetlocaties is gebruik gemaakt van correlatieberekeningen. Vanwege de niet-normale verdeling van de meetgegevens is de Spearman rangcorrelatie berekend. Ook is, middels een (partiële) kruiscorrelatiefunctie, onderzocht of bij de metingen sprake is geweest van een vertragingseffect als gevolg van de stroming van het water.

De metingen op de verschillende locaties zijn immers steeds op hetzelfde tijdstip uitgevoerd, wat betekent dat in een verschillend watersegment is gemeten. Naast correlatieve verbanden is een meer procesmatige verklaring voor variaties in het zuurstofgehalte onderzocht met behulp van een zuurstofbalans. Hierin is de relatie onderzocht tussen zuurstof en reaëratie, zuurstofaanvoer door bovenstrooms transport, zuurstofinslag bij de stuw van Borgharen, sediment zuurstof verbruik, BZV, nitrificatie en primaire productie.

Een visuele interpretatie van eventuele verbanden tussen het zuurstofgehalte en de overige factoren is uitgevoerd door de meetreeksen grafisch tegen elkaar uit te zetten. De visuele analyse ondersteunt de (kruis)correlatie-analyse. Hiermee is onderzocht of er inderdaad sprake is van een lineair verband (in plaats van niet-lineair) en de mate van spreiding van de gegevens. Ook eventuele vertragingseffecten worden zichtbaar als een oscillerend patroon rond de regressielijn.

Om relaties in de lengterichting van de Grensmaas te bepalen zijn de handmatige veldmetingen van 1999 uitgebreid met de automatische metingen van meetstation Berg (ook 1999). Daarvoor zijn de gegevens gefilterd en zijn de tijdstappen vergelijkbaar gemaakt met het veldmetingenbestand. Gegevens van temperatuur en zuurstofverloop zijn in één databestand verwerkt, dat is geanalyseerd.

Relatie zuurstofgehalten in de Grensmaas en bij Eijsden

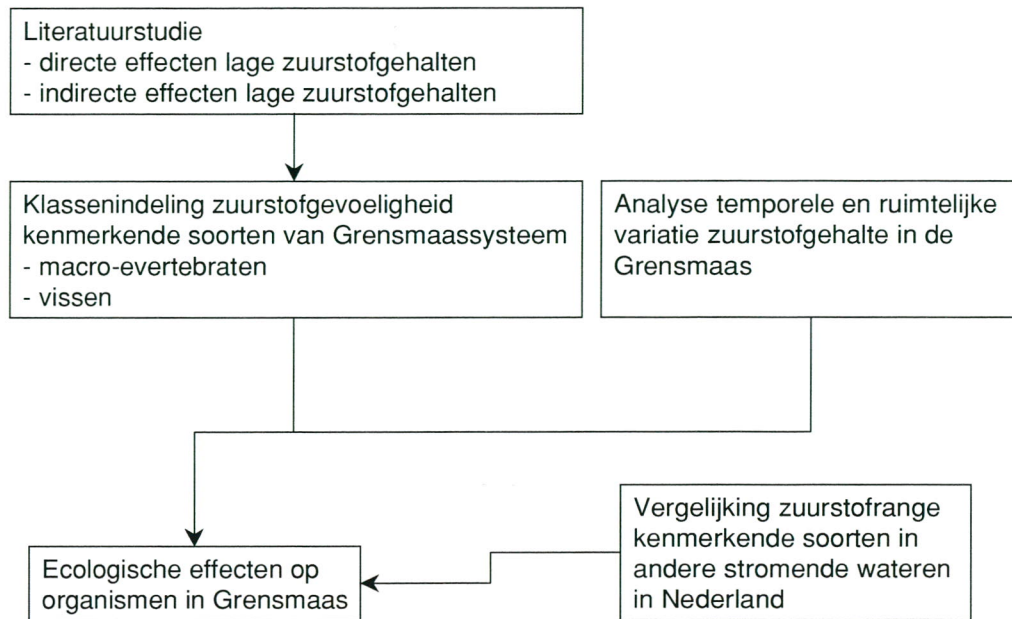
In de Grensmaas bevindt zich geen permanent meetpunt waar zuurstofmetingen worden verricht. Tot nu toe zijn er daarom relatief weinig gegevens beschikbaar en moeten inzichten verkregen worden door middel van aanvullende meetcampagnes. De dichtsbijzijnde meetlocatie bij de Grensmaas is stroomopwaarts bij Eijsden, waar wel permanent het zuurstofgehalte wordt gemeten. Onderzocht is in hoeverre de zuurstofgehalten in de Grensmaas te relateren zijn aan die bij Eijsden, zodat in de toekomst volstaan kan worden met de metingen bij Eijsden.

3.3 Analyse zuurstofhuishouding in relatie tot ecologie

Om de ecologische doelstellingen voor de Grensmaas te kunnen realiseren is de huidige zuurstofhuishouding van belang. Op basis van literatuur, interviews en expert judgement is allereerst een inschatting gemaakt van de zuurstofbehoefte van verschillende organismen die karakteristiek zijn/worden geacht voor het systeem van de Grensmaas. Op basis hiervan zijn drie zuurstofklassen onderscheiden met bijbehorende zuurstofgehalten en karakteristieke organismen. Deze klassen zijn:

- zeer zuurstofgevoelig;
- matig zuurstofgevoelig;
- niet zuurstofgevoelig.

Aan de hand van de drie klassen zijn de consequenties van de huidige zuurstofconcentraties in de Grensmaas voor macro-evertebraten en vissen ingeschat. Hierbij is ook gebruik gemaakt van de hydrobiologische gegevens van de Limnodata Neerlandica. Door Greijdanus-Klaas (2001) is op basis van de internationale Maasmonitoring van 1998 een soortlijst opgesteld van macro-evertebraten die stroomopwaarts wel voorkomen maar in de Grensmaas ontbreken. Voor de zuurstofgevoelige soorten van deze lijst is de range aan zuurstofgehalte waarbij ze voorkomen in stromende wateren in Nederland gebruikt als referentie.



Figuur 3.2. Analysemethode effecten van de zuurstofhuishouding op macro-evertebraten en vissen.

De analyse van de zuurstofhuishouding van de Grensmaas wordt beschreven aan de meetgegevens van 1999. Waar de gegevens van 1999 niet toereikend waren (bv om langjarige trends te beschrijven) is gebruik gemaakt van de gegevens van 1993-1996.

4.1 Algemene karakteristieken

Bijlage 1 geeft een overzicht van de algemene karakteristieken van de meetlocaties bij Geulle, Meers en Maaseik. De gemiddelde zuurstofgehalten (bepaald per twee opeenvolgende meetdagen voor iedere sublocatie) liggen tussen de 7 en 12 mg/l, met enkele uitschieters van 14 en 16 mg /l in stagnante wateren. De laagste zuurstofgehalten zijn gemeten in stagnant water in juli op de locaties Geulle en Meers (respectievelijk 1.8 mg/l en 1.4 mg/l in de ochtend). Het hoogste zuurstofgehalte is eind augustus gemeten bij Geulle in stagnant water (36.8 mg/l aan het eind van de middag).

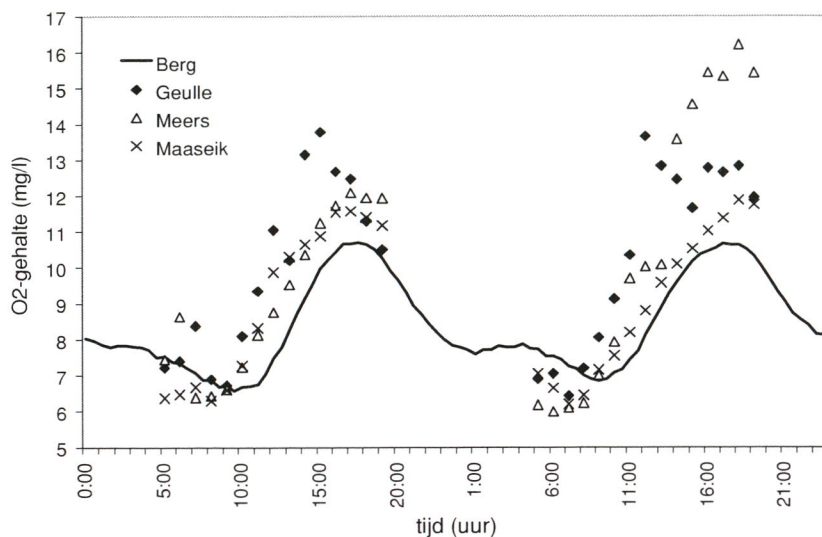
Over het algemeen blijkt dat het minimum zuurstofgehalte van stagnante wateren in juli en augustus aanzienlijk lager is dan in stromende wateren (zowel langzaam als snelstromend). In september nemen de verschillen tussen de minimum zuurstofgehalten tussen stagnante wateren en stromende wateren af. De verschillen tussen het minimum zuurstofgehalte in langzaam stromende en in snelstromende water zijn over het algemeen van vergelijkbare orde van grootte gedurende de meetperiode. In paragraaf 4.3 wordt verder ingegaan op verschillen tussen de sublocaties.

4.2 Temporele variatie zuurstofgehalte

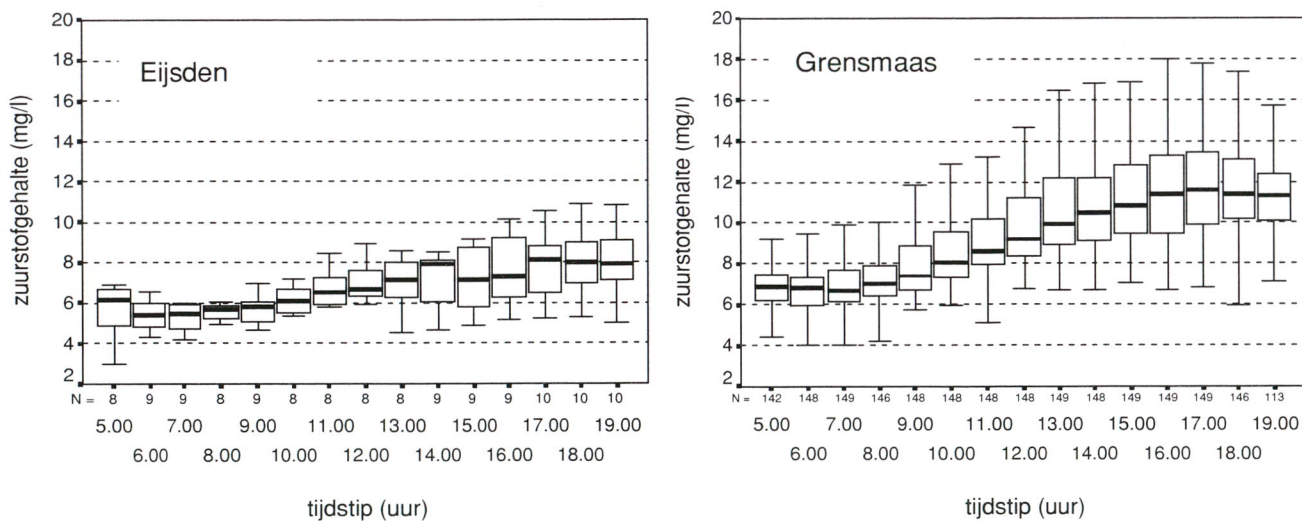
Dag/nachtfluctuaties

Zoals verwacht blijkt zowel uit de handmatige metingen van 1999 als de automatische metingen in de periode 1993-1999 dat de zuurstofconcentratie op de locaties fluctueert gedurende de dag. Ter illustratie is voor Berg het zuurstofverloop weergegeven gedurende twee dagen in september 1999 (figuur 4.1). Dit verloop wordt beschouwd als representatief voor alle locaties. Uit analyse van de gegevens blijkt dat de gedurende de nacht en de vroege ochtend de laagste waarden optreden (rond de 5.9 mg/l, met uitschieters naar 2 mg/l in stagnante delen). Deze periode kan enkele uren duren. Vanaf ongeveer 8.00 in de ochtend neemt de zuurstofconcentratie toe tot ongeveer 18.00, waarna de concentratie weer afneemt. In figuur zijn ook de zuurstofmetingen van de drie locaties langs de Grensmaas gezet. Er is duidelijk sprake van een spreiding rond de gemiddelde dagelijkse fluctuatie.

Dit is ook te zien in figuur 4.2. Deze figuur geeft het gemiddelde dagverloop in zuurstofgehalte weer voor respectievelijk Eijsden en de Grensmaas (gebaseerd op de metingen van juli, augustus en september 1999). Naast de mediane concentratie is de spreiding weergegeven in de vorm van 25% en 75% percentielen (box) en minima en maxima



Figuur 4.1. Dagverloop van de zuurstofconcentratie op verschillende locaties aan de Grensmaas gedurende twee dagen in september 1999. Ook zijn weergegeven de handmatige metingen op de locaties Geulle, Meers en Maaseik.



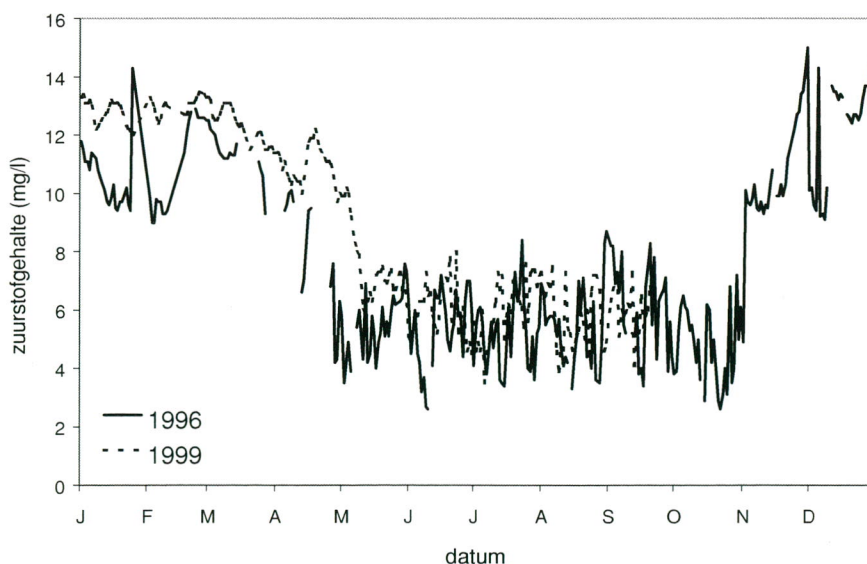
Figuur 4.2. Gemiddelde dagpatroon in zuurstofgehalte met bijbehorende spreiding voor respectievelijk Eijsden (automatische metingen) en de Grensmaas (veldmetingen) op de meetdagen in juli, augustus en september 1999.

Eén van de belangrijkste processen waardoor een dag/nacht variatie in zuurstofgehalte ontstaat betreft de primaire productie van algen en waterplanten. Omdat in de Grensmaas praktisch geen waterplanten aanwezig zijn, vindt de primaire productie plaats door zwevende en bentische algen. Door primaire productie kunnen grote dagfluctuaties in de zuurstofgehalten ontstaan met overdag een oververzadiging van het water met zuurstof als gevolg van de zuurstofproductie door algen en 's nachts een sterke onderverzadiging door zuurstofconsumptie door algen en andere organismen.

De primaire productie zal groter zijn in stagnante water en langzaam stromende ondiepe wateren dan in snelstromende en/of diepe wateren. De redenen hiervoor zijn dat in stagnante en langzaam stromende ondiepe wateren de verblijftijd langer is (algen hebben meer tijd om te groeien) en de watertemperatuur hoger is (hogere processnelheid). Hierdoor zijn er verschillen te verwachten in dag-nacht fluctuatie tussen de diverse sublocaties. Dit komt duidelijk uit de metingen naar voren. De dag-nacht fluctuatie in het zuurstofgehalte is het grootst bij de sublocaties in stagnant en langzaam stromend ondiep water. Zo komen in de stagnante wateren van Geulle en Meers fluctuaties voor van 20-30 mg /l. Op sublocaties in snelstromend en dieper water is de dagelijkse verandering in zuurstofgehalte gemiddeld 6-7 mg/l.

Seizoensfluctuaties

Omdat in 1999 alleen in de zomer is gemeten, zijn in deze meetgegevens geen duidelijke seizoensinvloeden te herkennen in de Grensmaas zelf. Op het meetpunt bij Eijsden, waar het hele jaar rond wordt gemeten, zijn wel een seizoensfluctuaties te zien. Ter illustratie is in figuur 4.3 het zuurstofgehalte bij Eijsden weergegeven voor 2 jaren, 1996 en 1996. In de winter (januari maart) lag het maandgemiddelde tussen de 10 en 13 mg/l, terwijl dat in de zomer afnam tot 5 à 6 mg/l. Seizoenspatronen zijn niet altijd duidelijk terug te zien in korte meetreeksen, omdat er verstoring optreedt door verschillen in afvoer, neerslag, lichtinstraling, buitentemperatuur en organische belasting. Uit de meetreeksen 1993-1996 (periode april-september) blijkt eveneens geen duidelijke seizoensvariatie.



Figuur 4.3. Seizoensfluctuatie in zuurstofgehalte bij Eijsden in 1996 en 1999.

4.3

Ruimtelijke variatie zuurstofgehalte

Breedterichting rivier

Over het algemeen zijn de minimumgehalten zuurstof op locaties in stagnante wateren significant lager dan op locaties in langzaam- en snelstromende wateren. Tussen langzaam- en snelstromende wateren is geen significant verschil aan te geven.

Op alle sublocaties bij Geulle, Meers en Maaseik is geen of slechts een zwak verband aangetroffen tussen zuurstofgehalten en de waterdiepte. Geconcludeerd mag worden dat de waterdiepte dus geen invloed heeft op de zuurstofconcentratie. Mogelijk spelen bentische algen een rol, waardoor de verwachte afname van zuurstof met de diepte niet op alle locaties gebeurt, omdat dit gecompenseerd wordt doordat de algen juist zuurstof produceren.

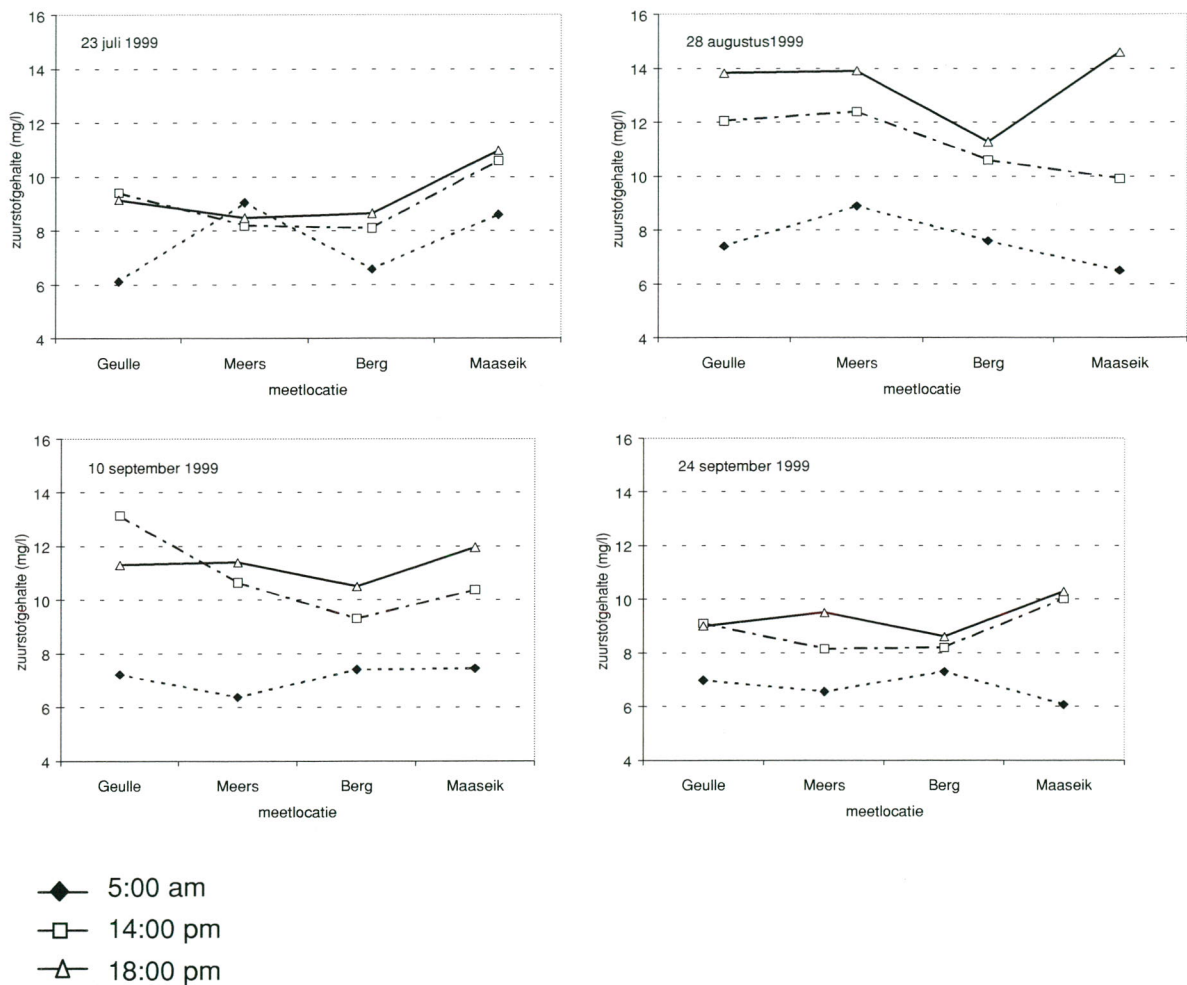
In snelstromend water treedt meer turbulentie op dan in langzaamstromend water, waardoor de verwachting is dat er ook meer zuurstof in het water terechtkomt. Op grond van de metingen kon er echter geen verband worden gelegd tussen zuurstofgehalte en stroomsnelheid. Overigens zijn de metingen niet in de ondiepe stroomversnellingen zelf uitgevoerd, omdat de zuurstofelectrode hier vanwege de grote turbulentie niet goed functioneert. Zo zijn de metingen bij Meers gedaan direct stroomafwaarts van een ondiepe stroomversnelling. De zuurstofgehalten zijn hier niet significant hoger dan op de andere twee locaties in de Grensmaas. Kennelijk valt het effect van ondiepe stroomversnellingen bij zeer lage afvoeren (rond 10 m³/sec) weg tegen andere mechanismen die het zuurstofgehalte beïnvloeden. Mogelijk speelt ook het geringe aantal metingen binnen de locatie een rol.

Uit de correlatieberekeningen volgt tevens dat de zuurstofconcentratie in stagnant water sterker positief is gecorreleerd met temperatuur, dan in stromend water. Dit is ook zichtbaar in zowel de veldmetingen in 1999 als de automatische metingen in de periode 1993-1996. Toenemend zuurstofgehalte bij toenemende temperatuur lijkt tegenstrijdig omdat bij hogere temperaturen de oplosbaarheid van zuurstof in water afneemt. Het betreft hier echter een schijnrelatie, doordat ook hier de fotosynthese de belangrijkste motor is bij de zuurstofproductie. In stagnant water is de zuurstofproductie groter, doordat meer algen aanwezig zijn. Stagnant water warmt sneller op dan stromend water. Bij hogere temperaturen kunnen de algen sneller fotosynthetiseren en dus meer O₂ produceren. Zowel in 1999 als in 1993-1996 zijn de watertemperaturen hoog: ze variëren tussen de 16 en 24°C. De correlaties tussen zuurstof en temperatuur op de locatie Maaseik zijn significant hoger dan op de andere locaties. Kennelijk is hier minder interferentie met andere processen.

Omdat voor de meetreeks van 1999 geen correlatieve verbanden zijn gevonden tussen zuurstofgehalte en waterdiepte en stroomsnelheid, is door middel van een zuurstofbalans gezocht naar een meer procesmatige verklaring. Hoewel de balansstudie op zich geen bevredigend en eenduidig resultaat opleverde, werd wel duidelijk dat de zuurstofinslag bij de stuw van Borgharen een belangrijke factor is in de verklaring van het zuurstofgehalte in de Grensmaas (Witteveen+Bos, 2001). Bovendien lijkt de zuurstofproductie- en consumptie een niet onbelangrijke rol te spelen, hoewel deze component niet goed gekwantificeerd kon worden in de balansstudie. Voor details zie Witteveen & Bos (2001).

Lengterichting rivier

In figuur 4.4 is het verloop in zuurstofgehalte in de lengterichting van de Grensmaas uitgezet voor 4 verschillende meetdagen in 1999. De grafieken 4.4a t/m d geven voor verschillende tijdstippen op de dag de gemiddelde zuurstofgehalten (van de sublocaties met stromend water) bij Geulle, Meers, Berg en Maaseik weer. Indien de gehele meetperiode wordt beschouwd, is geen eenduidige toe- of afname in het zuurstofgehalte in de lengterichting van de Grensmaas vast te stellen. Over het algemeen kan worden gesteld dat er weinig variatie in zuurstofgehalte op het Grensmaas-traject is en dat de zuurstofgehalten op de diverse locaties weinig van elkaar verschillen, met name op locaties die dicht bij elkaar liggen.



Figuur 4.4. Zuurstofgradiënten over de Grensmaas (voor de sublocaties met stromend water).

4.4

Relatie zuurstofgehalten in de Grensmaas en bij Eijsden

Indien de zuurstofgehalten in de Grensmaas worden vergeleken met die bij Eijsden, blijkt dat de gehalten in de Grensmaas hoger zijn. Uit eerder onderzoek van het RIZA (Breukel, 1992) blijkt dat dit met name veroorzaakt wordt door de stuw bij Borgharen. Door zuurstofinslag door de val van het water over de stuw wordt extra zuurstof benedenstrooms van de stuw ingebracht, afhankelijk van het zuurstofverzadigingspercentage bovenstrooms van de stuw en van de afvoer (tabel 4.1).

Tabel 4.1. Zuurstofinslag bij de stuw van Borgharen bij verschillende zuurstofverzadigingspercentages (Breukel, 1992)

O ₂ verzadigingspercentage bovenstrooms van stuw	toename O ₂ verzadigingspercentage	toename O ₂ -gehalte (mg/l)
> 75 %	< 20 %	< 1,7
65 - 75 %	20 – 24 %	1,7 – 2,1
55 - 65 %	24 – 28 %	2,1 – 2,6
< 55 %	28 – 38 %	2,6 – 3,3

Tabel 4.2 Toename van het zuurstofgehalte (als percentage) over de Grensmaas ten opzichte van Eijsden voor de 10 dagen van de veldmetingen in 1999.

Datum	O ₂ Geulle (%)	O ₂ Meers (%)	O ₂ Maaseik (%)
juli 1999	15	30	33
augustus 1999	20	27	24
september 1999	29	29	26

In de huidige studie is nagegaan wat de verschillen zijn tussen de zuurstofgehalten bij Eijsden en in de Grensmaas. De zuurstofgegevens van de Geulle, Meers en Maaseik zijn hiertoe vergeleken met de gegevens van Eijsden (meetgegevens 1999). In tabel 4.2 is de toename van de zuurstofgehalten in percentages weergegeven ten opzichte van Eijsden. Er is een duidelijke toename te zien van het zuurstofpercentage bij Eijsden en de dichtstbijgelegen locatie Geulle (15 tot 29 %). De toename in de meetperiode van 1999 is van dezelfde ordegrrootte als in het onderzoek van Breukel uit 1992, zodat deze waarschijnlijk (grotendeels) kan worden toegeschreven aan de zuurstofinslag bij de stuw Borgharen.

Ook is onderzocht in hoeverre het zuurstofgehalte in de Grensmaas afgeleid kan worden van dat bij Eijsden. Het bleek dat met behulp van een Kunstmatig Neuraal Netwerk¹ er een redelijk tot goed verband te berekenen, waarbij het zuurstofgehalte in de Grensmaas afhangt van het zuurstofgehalte bij Eijsden, de temperatuur bij Eijsden, de afvoer bij Borgharen, het tijdstip op de dag en de maand. Voor stromende wateren waren de verbanden beter dan voor stagnante wateren (Witteveen+Bos, 2001). Met behulp van deze relatie kan in de toekomst een redelijk betrouwbare inschatting gemaakt worden van het zuurstofgehalte in de Grensmaas, op basis van de meetgegevens bij Eijsden.

¹ Een Kunstmatig Neuraal Netwerk (KNN) is een statistische modelleringstechniek die iteratief (stapsgewijs) op zoek gaat naar een optimale relatie tussen invoer en uitvoer zonder het proces zelf in beschouwing te nemen (zie voor verdere details Witteveen+Bos (2001)).

4.5

Conclusies

Zoals verwacht, fluctueert het zuurstofgehalte gedurende de dag, waarbij de laagste waarden optreden gedurende de nacht en rond de ochtend (rond de 5.9 mg/l). De dagelijkse verschillen tussen minimum en maximum zuurstofgehalte zijn groter in de stagnante en langzaam stromende delen van de Grensmaas dan in de snelstromende delen. Dit wordt met name veroorzaakt door het verschil in verblijftijd van het water (meer algengroei en daardoor grotere verschillen in zuurstofproductie en consumptie) en de watertemperatuur (hogere processnelheid).

Omdat de meetreeksen in de Grensmaas alleen de zomerperiode beslaan, is er geen sprake van een seizoensfluctuatie in zuurstofgehalte binnen de meetreeks. Langere meetreeksen bij Eijsden laten wel een duidelijk patroon zien, met een gemiddelde zuurstofgehalte van 10-13 mg/l in de winter en 5-6 mg/l in de zomer.

Over het algemeen zijn de minimum- en maximumgehalten aan zuurstof in stagnante delen lager dan in de langzaam- en snelstromende wateren. Tussen de sublocaties met variatie in stroomsnelheid werden geen significante verschillen gevonden. Ook konden geen significant verbanden worden gelegd met factoren als waterdiepte, stroomsnelheid en temperatuur. Een meer procesmatige verklaring van de variatie in het zuurstofgehalte gaf geen bevredigend en eenduidig resultaat, waarschijnlijk doordat gedetailleerde gegevens zoals de zuurstofproductie door (bentische)algen en zuurstofverbruik door afbraakprocessen, ontbraken. Wel is duidelijk dat de zuurstofinslag bij de stuw van Borgharen een belangrijke factor is in de verklaring van het zuurstofgehalte in de Grensmaas.

Op de drie meetlocaties bij Geulle, Meers en Maaseik lijken de zuurstofgehalten sterk op elkaar. Ten opzichte van Eijsden is er een duidelijke toename in zuurstofpercentage in de Grensmaas (15-29%), grotendeels veroorzaakt door zuurstofinslag bij de stuw bij Borgharen.

Met behulp van een geavanceerde statistische analyse (Kunstmatig Neuraal Netwerk) bleek er een redelijk tot goed verband te berekenen tussen het zuurstofgehalte in de Grensmaas en het zuurstofgehalte en de temperatuur bij Eijsden, de afvoer bij Borgharen, het tijdstip van de dag en de maand.

ZUURSTOFHUISHOUDING IN RELATIE TOT HET VOORKOMEN VAN MACRO-EVERTEBRATEN EN VISSSEN IN DE GRENSMAAS

In dit hoofdstuk wordt de zuurstofconcentratie in de Grensmaas, zoals beschreven in hoofdstuk 4, in verband gebracht met de randvoorwaarden die door macro-evertebraten en vissen worden gesteld. Op basis van literatuuronderzoek en interviews met deskundigen is bepaald wat de ecologische effecten van lage zuurstofgehalten zijn, waarbij onderscheid is gemaakt tussen directe en indirecte effecten. Directe effecten beschrijven de effecten van zuurstoftekort op het ecosysteem als gevolg van directe fysiologische effecten op aquatische organismen. Bij de indirecte effecten gaat het om het effect van lage zuurstofconcentraties in combinatie met bepaalde waarden van andere parameters of specifieke omstandigheden, zoals bijvoorbeeld temperatuur, toxische stoffen en gedragsveranderingen.

Op basis van deze theoretische analyse is bekeken in hoeverre de huidige zuurstofhuishouding een beperking vormt voor de ecologische ontwikkeling van de Grensmaas.

5.1

Directe effecten

Macro-evertebraten

Macro-evertebraten kunnen op verschillende manieren zuurstof opnemen. Deze manier bepaalt vaak ook hoe gevoelig het organisme is voor lage zuurstofgehalten in het water:

- Huidademhaling. Kleine organismen kunnen gas uitwisselen via de huid (huidademhaling), zoals *Tubificidae* (wormen), *Chironomiden* (muggen) en *Hirudinea* (bloedzuigers). Daarnaast kunnen een aantal van deze organismen (*Tubifex*, *Chironomiden*) facultatief op een anaërobe stofwisseling overschakelen (Schoettler & Schroff, 1976 in Schoenborn, 1992) zodat ze bij lage zuurstofgehalten langere tijd kunnen overleven.
- Kieuwen en longen. Bij toenemende lichaamsgrootte neemt de zuurstofbehoefte sneller toe dan de lichaamsoppervlakte en zijn organen met een groot oppervlak nodig voor de gasuitwisseling, zoals kieuwen en longen. Dit is het geval bij slakken en tweekleppigen (mossels).
- Tracheeën. Bij insecten wordt zuurstof door een met lucht gevuld buizenstelsel rechtstreeks naar de weefsels in het lichaam gebracht (tracheeën). Dit kan rechtstreeks vanuit de atmosfeer (larven van vliegen en muggen), of vanuit water of waterplanten (spinnen, kevers en wantsen, larven van kokerjuffers, larven van libellen en larven van steenvliegen. In het eerste geval zijn de betreffende soorten niet afhankelijk van zuurstof in het water, in het laatste geval zijn de betreffende soorten vaak volledig afhankelijk van schoon zuurstofrijk water.

De eisen ten aanzien van het zuurstofgehalte verschillen niet alleen per soort, maar ook per levensstadium. Jonge larven van *Cloeon sp.* en *Nemoura sp.* (respectievelijk van een haft en een steenvlieg) kunnen meer zuurstof opnemen dan grotere larven. Deze eigenschap is functioneel, omdat de vroege levensstadia van met name insectensoorten juist extra gevoelig zijn voor lage zuurstofconcentraties (pers. comm. Bij de Vaate, 2000). Ook tijdens de overgang naar de adulte fase zijn de zuurstofeisen tijdelijk hoger vanwege het verhoogde metabolisme (Nagell & Larshammar, 1981 in Schoenborn, 1992).

Naarmate de zuurstofgehalten in het water lager zijn, neemt de duur af waarbij organismen het betreffende lage zuurstofgehalte kunnen overleven. Experimenten met de haft *Ephoron virgo* wezen bijvoorbeeld uit dat de LT_{50} (=aantal dagen totdat 50% van de sterfte optreedt) 6 dagen was bij 20%O₂ verzadiging en 1 dag bij 0 %O₂ verzadiging. De LT_{10} (10%sterfte) was 5 dagen bij 40%O₂, 0,5 dag bij 20%O₂ en 0 dagen bij 0%O₂) (Geest, unpublished). Over het algemeen is er echter weinig bekend over de duur van periode met lage zuurstofgehalten die nog acceptabel is voor organismen. Op basis van beschikbare gegevens uit blootstellingsexperimenten wordt aangenomen dat wanneer een soort hogere zuurstofgehalten nodig heeft een tekort eerder voor negatieve effecten zal zorgen dan wanneer een soort lagere zuurstofeisen heeft.

De diversiteit van de macro-evertebraten in een aquatische levensgemeenschap correleert in veldwaarnemingen vaak met de hoogte van zuurstofconcentraties (Kubicek, 1978a in Schoenborn, 1992). Hier wordt op teruggekomen in paragraaf 5.3.

Om de gevolgen van de zuurstofhuishouding in de Grensmaas te kunnen inschatten voor macro-evertebraten zijn op grond van de literatuur drie klassen onderscheiden voor de zuurstofgevoeligheid. Voor elk van de klassen is de optimale en minimale zuurstofconcentratie bepaald voor macro-evertebraten die karakteristiek worden geacht voor het aquatisch systeem van de Grensmaas. Met de optimale zuurstofconcentratie wordt die concentratie bedoeld waarbij het organisme geen hinder ondervindt van een tekort aan zuurstof. Bij een onderschrijding van de minimale concentratie ondervindt de macro-evertebraat ernstige schade. Hieronder volgt een korte beschrijving van de drie klassen:

- Zeer zuurstofgevoelige soorten. De optimale zuurstofconcentratie voor deze groep soorten zal bij verzadiging liggen (10-12 mg/l bij 5-10 °C) en de minimum concentratie wordt geschat op 8 mg/l. In deze groep komt een aantal amoebe soorten voor (zie Postma et al., 1996).
- Matig zuurstofgevoelige soorten. Op basis van Duel en Speckers (1994) wordt de optimale concentratie op 7 mg/l geschat en de minimum concentratie op 4,5 mg/l.
- Niet zuurstofgevoelige soorten. Voor deze soorten is minimum zuurstofconcentratie geschat op 2 mg/l.

In tabel 5.1 zijn per klasse enkele karakteristieke soorten opgenomen.

Vissen

Kieuwen zijn het belangrijkste ademhalingsorgaan bij vissen. Het zuurstofhoudend water loopt door de ventilatiebewegingen van de vis over de kieuw en de zuurstof gaat door het tegenstroomprincipe over in het bloed. Zeer jonge vissen zonder volledig ontwikkelde kieuwen kunnen zuurstof door de huid opnemen. Ook volwassen vissen kunnen dat, maar daar draagt deze vorm van ademhaling maar voor een klein deel bij aan het totaal. Sommige vissen hebben aangepaste organen voor extra ademhaling, zoals het spijsverteringskanaal bij de modderkruiper en de zwemblaas als opslag en long bij de Amerikaanse hondsvij (Van der Linden, 1996).

Reofiele (stromingsminnende) vissen zijn gevoeliger voor zuurstoftekorten dan limnofiele (stagnant water minnende) of eurytope (indifferente) soorten, omdat de zuurstofgehalten in snelstromende wateren over het algemeen constanter en hoger zijn dan in stilstaande wateren. Zowel een kortdurend als langdurend zuurstofgebrek of zuurstofloosheid kan ernstige gevolgen hebben voor de reofiele vissen zoals Zalm en Zeeforel.

Deze vissoorten zijn ook veel minder bestand tegen sterke fluctuaties in zuurstofgehalten dan soorten die in ondiepe waterplantenrijke stagnante wateren leven waar fluctuaties van nature veel meer optreden (Van der Linden, 1996).

Tabel 5.1. Klasse-indeling voor macro-evertebraten in de Grensmaas op basis van zuurstofgevoeligheid. Amoebesoornten (volgens Postma et al., 1996) zijn onderstreept.

Soort	groep	Karakteristieken	Ref ¹
zeer zuurstof gevoelige soorten: optimum bij verzadiging, minimum bij 8 mg/l			
<u>Onychogomphus forticipatus</u> (Kleine tanglibel)	Odonata (libellen)		2
<u>Aphelocheirus aestivalis</u> (Mosselwants)	Heteroptera (wantsen)	opname zuurstof via passieve diffusie komt voor in Lotharingse maas	2, 3, 4
<u>Elmidae spp</u>	Coleoptera (kevers)	opname zuurstof via passieve diffusie kwam vroeger voor in Grensmaas en nu in Lotharingse Maas	3
<u>Baetis vernus</u>	Ephemeroptera (eendagsvlieg)	opname zuurstof via passieve diffusie Kwam vroeger voor in Grensmaas en nu in Lotharingse Maas	4
<u>Rhyacophila spp.</u>	Trichoptera (kokerjuffers)	kwam vroeger voor in Grensmaas en nu in Lotharingse Maas	4, 5
matig zuurstof gevoelige soorten: optimum bij 7 mg/l, minimum bij 4,5 mg/l			
<u>Hydropsyche contubernalis</u>	Trichoptera (kokerjuffers)	komt voor in Grensmaas	1
<u>Dreissena polymorpha</u> (Driehoeksmossel)	Mollusca (schelpdieren)	komt voor in Grensmaas	1
niet zuurstofgevoelige soorten: minimum bij 2 mg/l			
<u>Asselus aquaticus</u> (waterpissebed)	Isopoda (pissebedden)	(sub)dominant in Grensmaas	4
<u>Dicrotendipes gr. Nervosus</u>	Chironomidae (muggenlarf)	zeer tolerant voor lage waterkwaliteit (sub)dominant in Grensmaas	6
<u>Tubifex</u>	Oligochaete (wormen)	tolerant voor lage zuurstof door anaërobe stofwisseling (sub)dominant in Grensmaas	7

¹⁾ Referentie: 1) Duel & Specken, 1994; 2) Duel et al., 1996; 3) Klink & BijdeVaate, 1994; 4) Bayerisches Landesamt fuer Wasserwirtschaft, 1996; 5) Jakobs et al, 1984; 6) Kerkhofs & Prins, 1995; 7) Schoettler & Schroff, 1976

De zuurstofopname van een vis neemt toe met toenemende stroomsnelheid en lichaamsgewicht en met toenemende zuurstofconcentratie (Schoenborn, 1982). Vissen kunnen een geleidelijk en tijdelijk optredend zuurstoftekort meestal goed opvangen. Zij gaan meer ventileren, happen zuurstof aan het oppervlak, schakelen over op zuurstofloze (anaërobe) stofwisseling, vergroten het kieuwoppervlak of passen het bloed aan door het volume te verkleinen en het aandeel rode bloedcellen te vergroten. Deze aanpassingen hebben tijd nodig, waardoor een abrupte zuurstofdaling een negatiever effect heeft op de vis dan een geleidelijke afname (Van der Linden, 1996). Bij een abrupte verandering in de zuurstofconcentratie die ook nog eens met een grote frequentie voorkomt zal de vis te weinig tijd hebben om zich aan te passen. De tijd die nodig is voor aanpassing neemt toe met afnemende temperatuur.

De gevoeligheid voor zuurstoftekorten is minder naarmate de vis ouder wordt. Voor een normale ontwikkeling van eieren en embryo's is een hoog zuurstofgehalte nodig. Bij lagere concentraties vindt nog wel ontwikkeling plaats, maar niet optimaal.

De gevoeligheid van jonge salmoniden (zalmachtigen) is het grootst gedurende het uitkomen van de eieren. Een abrupte afname van het zuurstofgehalte tot 2-3 mg/l gedurende 6 dagen heeft al een grote sterfte tot gevolg. Net uitgekomen larven van de Snoek (*Esox lucis*) kunnen maar een uur overleven in zuurstofloos water en vrij zwemmende larven slechts enkele minuten (Alabaster & Loyd 1980). Hetzelfde geldt voor de juveniele fase, waarin voor een normale ontwikkeling het zuurstofgehalte rond het verzadigingspercentage (10 mg/l) moet liggen. Daarom is voor vis een laag zuurstofgehalte in het voorjaar of vroege zomer ook schadelijker dan in de winter (Van der Linden, 1996).

Op basis van hun eisen ten aanzien van optimum en minimum zuurstofgehalten zijn de vissen eveneens in de klassen zeer gevoelig, matig gevoelig en niet gevoelig ingedeeld:

- zeer zuurstofgevoelige soorten. De optimum zuurstofconcentratie varieert tussen 7 en 10 mg/l, de minimum concentratie tussen 3 en 7 mg/l;
- matig zuurstofgevoelige soorten: De minimum concentratie van deze soorten varieert tussen 1 en 3 mg/l;
- niet zuurstofgevoelige soorten: De minimum concentratie van deze soorten varieert tussen 0,5 en 3 mg/l.

In tabel 5.2 zijn per zuurstofklasse enkele karakteristieke soorten voor de Grensmaas met hun zuurstofgevoeligheid weergegeven. In tabel 5.3. is een overzicht van de gevoeligheid van vissoorten voor de duur van zuurstoftekort weergegeven. Hierbij heeft een kortdurende blootstelling een duur van 2 tot 3 uur. Een langdurige blootstelling duurt langer dan 2 à 3 uur.

Tabel 5.2. Klasse-indeling voor vissen in de Grensmaas op basis van zuurstofgevoeligheid (in mg/l). Amoebesoorren (volgens Postma et al., 1996) zijn onderstreept.

Soort		ei/ embryo	dooierzak broed	larve	juveniel	Adult
<u>zeer zuurstof gevoelige vissen</u>						
Sneep (<i>Chondrostoma nasus</i>)	optimum	10	10	10	10	10
	minimum	7	7	7	7	7
<u>Zeeforel</u> (<i>Salmon trutta trutta</i>)	optimum	10	10	10	10	10
	minimum	4.5	4.5	3	3	3
<u>Barbeel</u> (<i>Barbus barbus</i>)	optimum	9	9	9	9	7
	minimum	4	4	4	3	3
Serpeling (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	optimum	9	9	9	8	8
	minimum	3	3	3	2	2
Kopvoorn (<i>Leuciscus cephalus</i>)	optimum	8	8	8	8	8
	minimum	4	4	4	3	3
<u>matig zuurstof gevoelige vissen</u>						
Riviergrondel (<i>Gobio gobio</i>)	optimum	7	7	7	10	10
	minimum	2	2	2	2	2
<u>Rivierprik</u> (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	optimum	9	9	9	9	9
	minimum	2.5	2.5	2.5	1	-
Rivierdonderpad (<i>Cottus gobio</i>)	optimum	10	10	10	10	10
	minimum	3	3	3	2	2
<u>niet zuurstof gevoelige vissen</u>						
Baars (<i>Perca fluviatilis</i>)	optimum	7	7	7	7	7
	minimum	2	2	2	1	1
Blankvoorn (<i>Rutilus rutilus</i>)	optimum	5	5	5	5	5
	minimum	3	3	3	2	2
<u>Snoek</u> (<i>Esox lucius</i>)	optimum	8	8	6	6	6
	minimum	2	2	2	1	0.5

Tabel 5.3 . Maximale gevoeligheid voor zuurstofgebrek bij korte en langdurige blootstelling (Van der Linden, 1996).

Soort	Kortdurende blootstelling	langdurige blootstelling
Sneep	++	+++
Zeeforel	++++	++++
Barbeel	+++	+++
Kopvoorn	+++	+++
Riviergrondel	++	+++
Rivierdonderpad	++	+++
Baars	+	+++
Blankvoorn	++	++
Snoek	++	++
Serpeling	++	+++
Rivierprik	++	++++

0 = niet gevoelig

+ = gevoelig

++ = matig gevoelig

+++ = sterk gevoelig

++++ = zeer sterk gevoelig

5.2

Indirecte effecten

Naast directe effecten die zuurstoftekorten hebben op macro-evertebraten en vissen, kan een zuurstoftekort ook de gevoeligheid van organismen voor andere waterkwaliteitsfactoren beïnvloeden, zoals temperatuur, organisch stof, zwevend stof, toxische stoffen. Daarnaast verandert het gedrag van organismen door zuurstofgebrek. Deze indirecte effecten van lage zuurstofgehalten kunnen mede een oorzaak zijn van het afnemen van de aantallen gevoelige soorten in een watersysteem. Op basis van literatuuronderzoek worden de mogelijke indirecte effecten van zuurstof tekorten op macro-evertebraten en vissen beschreven. De organismen, waarbij in de literatuur indirecte effecten worden beschreven, komen uit alle lagen van het aquatisch voedselweb.

Waterkwaliteit

- Temperatuur. Bij macro-evertebraten en vissen zijn de zuurstofbehoefte en de temperatuur meestal gekoppeld. Een hogere temperatuur zorgt voor een toenemend metabolisme en dus een grotere zuurstofbehoefte. Hogere temperaturen hebben daarbij ook toename van algengroei (met bijbehorende zuurstofconsumptie) tot gevolg, waardoor de fluctuaties in het zuurstofgehalte nog eens extra groot kunnen zijn.
- Zwevend stof. Bij hoge concentraties zwevende stof in het water kan zich een laag slib op de eieren vormen, wat leidt tot verstikking van de eieren (Semmekrot & Vriese, 1992, Kerkhofs & Prins, 1995). Als dat zwevend stof organisch is, kunnen afbraakprocessen op de eieren bovendien lokaal tot een reductie van het zuurstofgehalte leiden (Klinge, pers.comm.). Op basis hiervan kan verwacht worden dat slibafzettingen in het zomerbed in voorjaar en zomer in combinatie met lage zuurstofgehalten versneld tot negatieve effecten in de ontwikkeling van eieren zullen leiden (zie ook van de Burg et al., 2000).
- Toxische stoffen. Toxische stoffen zoals zware metalen en bestrijdingsmiddelen kunnen zowel opgelost in het water als gebonden aan zwevend stof voorkomen. Zuurstoftekort kan leiden tot een hogere opname van deze stoffen, doordat de ventilatiesnelheid van het water door de kieuwen toeneemt en hierdoor meer opname van (toxische) stoffen plaatsvindt (Alabaster & Loyd, 1980, Sijm et al., 1994, Van Straalen & Verkleij, 1993). Negatieve effecten worden in de literatuur toegeschreven aan multistress (combinatie-effecten van verschillende factoren), maar zijn nog slechts beperkt onderzocht (Heugens et al., 2001).

Gedragsverandering

Zuurstofgebrek verandert het gedrag van organismen. Macro-evertebraten gaan meer ventileren waardoor andere activiteiten, zoals voedselopname, in het gedrang kunnen komen. De larf van de kokerjuffer *Hydropsyche angustipennis* brengt bijvoorbeeld tot 20% meer tijd door met ventileren bij zuurstofgehalten rond de 3 mg/l (Geest, ongepubliceerd). Bij de kokerjuffers *Hydropsyche contubernalis* en *Hydropsyche pelliculida* heeft een zuurstofgebrek een negatief effect op het maken van webben (afname van *net-spinning activity*). Dit gebeurt bij zuurstofgehalten van 3 respectievelijk 7 mg/l.

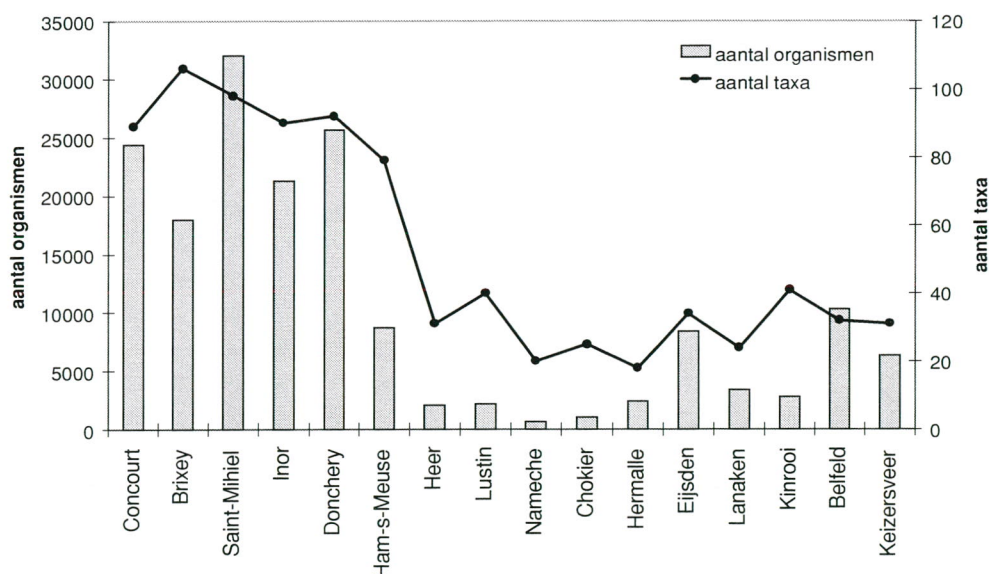
Vissen vertonen aanvankelijk een toename aan activiteit bij zuurstofgebrek, omdat ze het zuurstofgebrek willen vermijden door weg te zwemmen. Na een tijdje neemt de activiteit afneemt.

Onder lage zuurstofconcentraties zijn vissen gevoeliger voor bepaalde aandoeningen, mogelijk omdat het immuunsysteem wordt aangetast (Svobodova et al., 1993 in Van der Linden, 1996). Ook neemt de kans op predatie toe, door frequenter zuurstofhappen aan het wateroppervlak.

5.3 Specifieke situatie voor de Grensmaas

Directe effecten op macro-evertebraten

Om te kunnen bepalen of in de Grensmaas bepaalde soorten macro-evertebraten ontbreken vanwege te lage zuurstofgehaltes is in de eerste plaats bekeken of in stroomopwaarts gelegen delen van de Maas wel zuurstofgevoelige soorten voorkomen. Van monding tot bron zijn er in de Maas grote verschillen in soortantallen en soortdiversiteit aanwezig (Greijdanus-Klaas, 2001). Figuur 5.1 geeft het aantal aquatische organismen en aantal taxa weer tussen Concourt (Frankrijk) en Keizersveer (Nederland). Duidelijk is te zien dat het aantal organismen en de diversiteit afneemt in stroomafwaartse richting. Het dieptepunt ligt net voor Eijsden, stroomafwaarts neemt de soortdiversiteit weer iets toe. Hoewel er in de Maas grote verschillen in habitat bestaan (stroomsnelheid, substraat en dergelijke), die een deel van de variatie in soorten verklaart, vertoont het verloop een opvallende gelijkenis met het verloop van het zuurstofgehalte langs de Maas (figuur 2.2).



Figuur 5.1. Aantal organismen en taxa van macro-evertebraten in de Grensmaas in 1998 (Greijdanus-Klaas, 2001).

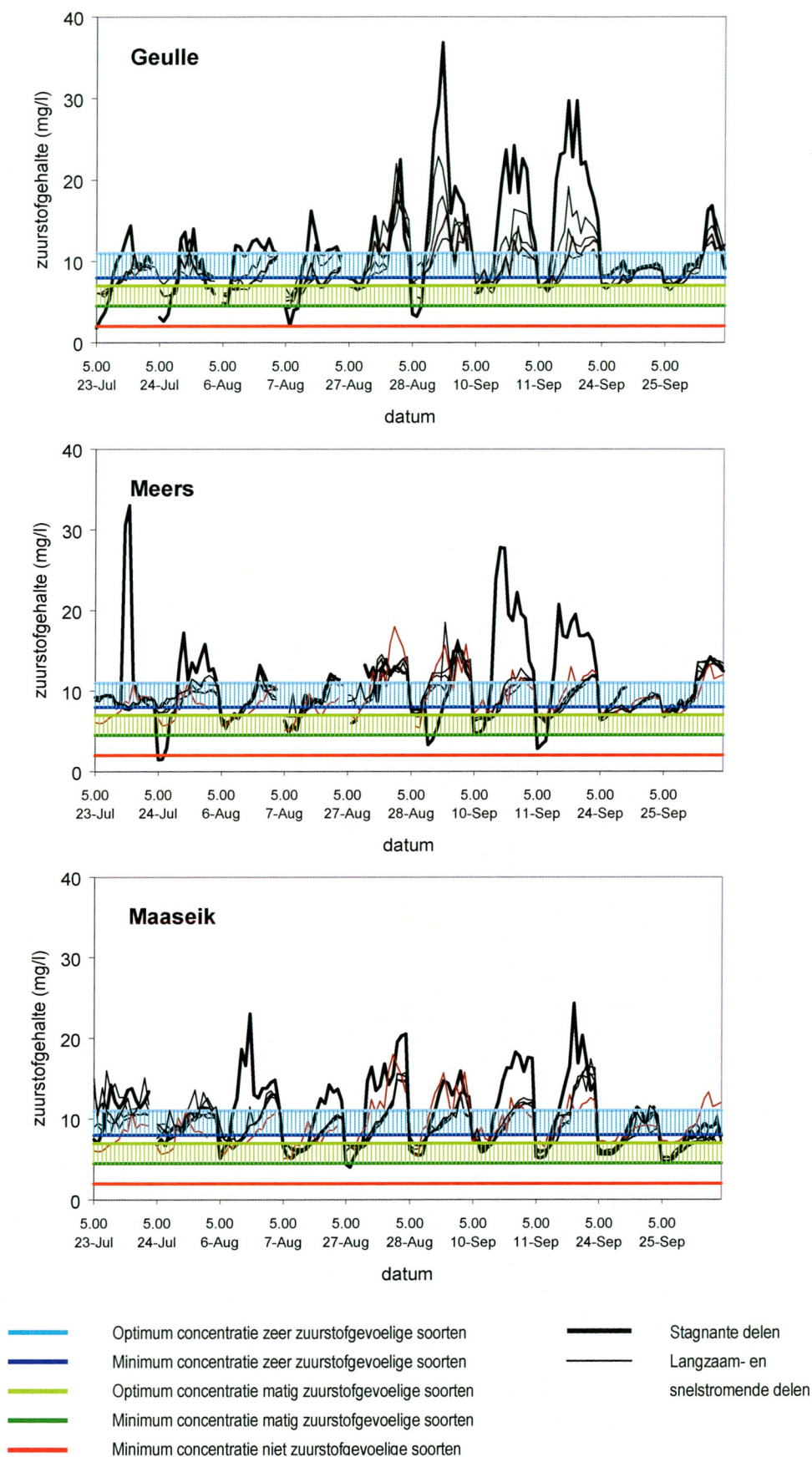
De macro-evertebraten populatie van de Grensmaas is relatief mager ontwikkeld. Op twee meetpunten langs de Grensmaas (meetpunt Lanaken bij Borgharen en meetpunt Kinrooi bij Linne) is de macro-evertebratensamenstelling bekend voor 1998 (Usseglio-Polatera & Beisel, 1999). Aanwezig in relatief grote hoeveelheden zijn dansmuggen, pissebedden, borstelwormen, bloedzuigers, platwormen, draadwormen, poliepen, plus een aantal slakken en tweekleppigen (driehoeksmossel, diepslakken, poelslakken). Hele groepen/families ontbreken echter in de Grensmaas (kevers, libellen, steenvliegen, wantsen). De zeer zuurstofgevoelige soorten (klasse 1 uit tabel 5.1) komen in de huidige situatie niet meer in de Grensmaas voor (Greijdanus-Klaas, 2001).

Zuurstofgevoelige soorten komen nog wel voor in de Lotharingse Maas voor en zouden dus bij verbeterde omstandigheden weer in de Grensmaas kunnen leven (Klink & Bij de Vaate, 1994b). Matig zuurstofgevoelige soorten zijn in de huidige situatie nog wel aanwezig in de Grensmaas, maar weinig frequent en in lage aantallen (Klink & BijdeVaate, 1994b). Dominant of subdominant zijn de niet zuurstofgevoelige soorten (Kerkhofs & Prins, 1995; Liefveld et al., 2001). Zo domineert bij Borgharen de muggenlarf *Dicrotendipes gr. nervosus*, een soort die tolerant is voor een slechte waterkwaliteit (onder meer door lage zuurstofconcentraties).

Indien een relatie wordt gelegd met de veldmetingen van 1999 (hoofdstuk 4) en de soorten uit de drie zuurstofklassen, dan blijkt dat de optimale zuurstofconcentratie voor zuurstofgevoelige soorten (10-12 mg/l) regelmatig wordt onderschreden (uitgaande van het daggemiddelde zuurstofgehalte). Ook de minimum zuurstofconcentraties die zijn gemeten liggen beneden het minimum gehalte waarbij deze soorten goed kunnen functioneren. Voor matig tolerante soorten wordt het gewenste minimum van 4.5 mg/l wel gehaald in de stromende delen, maar regelmatig onderschreden in de stagnante poelen in het zomerbed. Voor zuurstoftolerante soorten worden weinig effecten verwacht van de optredende zuurstofconcentraties. Het minimum van 2 mg/l wordt soms onderschreden (met name in stagnante wateren) maar zelfs een overschrijding van enkele uren zal waarschijnlijk weinig effect hebben op de overleving van deze soorten, aangezien ze ook anaëroob kunnen leven. Het is dus niet verwonderlijk dat juist deze tolerante soorten dominant zijn in de Grensmaas.

Afgezien van de zuurstofconcentratie zelf, kunnen ook de fluctuaties in zuurstofgehalte mogelijk problemen opleveren. In de Grensmaas is de frequentie van zuurstoftekort en de snelheid van verandering hoog, binnen een halve dag zijn variaties van ± 6 mg/l tot maximaal 30 mg/l (stagnante delen) niet ongewoon. Dagfluctuaties zijn het kleinst in snelstromend diep water en het grootst in stagnante delen, terwijl langzaamstromend ondiep water een tussenpositie inneemt. Het leefgebied voor het merendeel van de macro-evertebraten is in de langzaamstromende en ondiepe gedeelten in de buurt van de oever. De zuurstofgevoelige soorten kunnen een zuurstoftekort van enkele uren waarschijnlijk wel overleven. Maar sterke fluctuaties in zuurstofgehalten en een overschrijding van de minimumwaarde, die gedurende de zomermaanden bijna dagelijks voorkomen zullen zeker negatief uitwerken op de typische riviersoorten. Er is weinig variatie in zuurstofgehalte aanwezig in de lengterichting van de Grensmaas, zodat het driften van organismen naar een zuurstofrijkere plek weinig oplossing zal bieden.

Indien gekeken wordt naar de zuurstofgevoelige soorten uit de lijst van de Internationale Maas Monitoring van 1998 (Greijdanus-Klaas, 2001) en de zuurstofgehalten waarbij deze soorten voorkomen in stromende wateren, blijkt ook hieruit dat deze soorten voorkomen bij hoge zuurstofgehalten (mediane waarde tussen de 7 en 9 mg/l). Ook de 10-percentielwaarden liggen over het algemeen boven de 5 mg/l (tabel 5.4). Hoewel moet worden opgemerkt dat het hier niet specifiek om metingen in grote rivieren gaat, maar om metingen in alle stromende wateren in Nederland, wordt het beeld bevestigd deze soorten (die gewenst zijn in de Grensmaas) een hoge zuurstofbehoefte hebben.



Figuur 5.2. Zuurstofverloop in de Grensmaas in relatie tot zuurstofgevoeligheid van macro-evertibraten (metingen 1999).

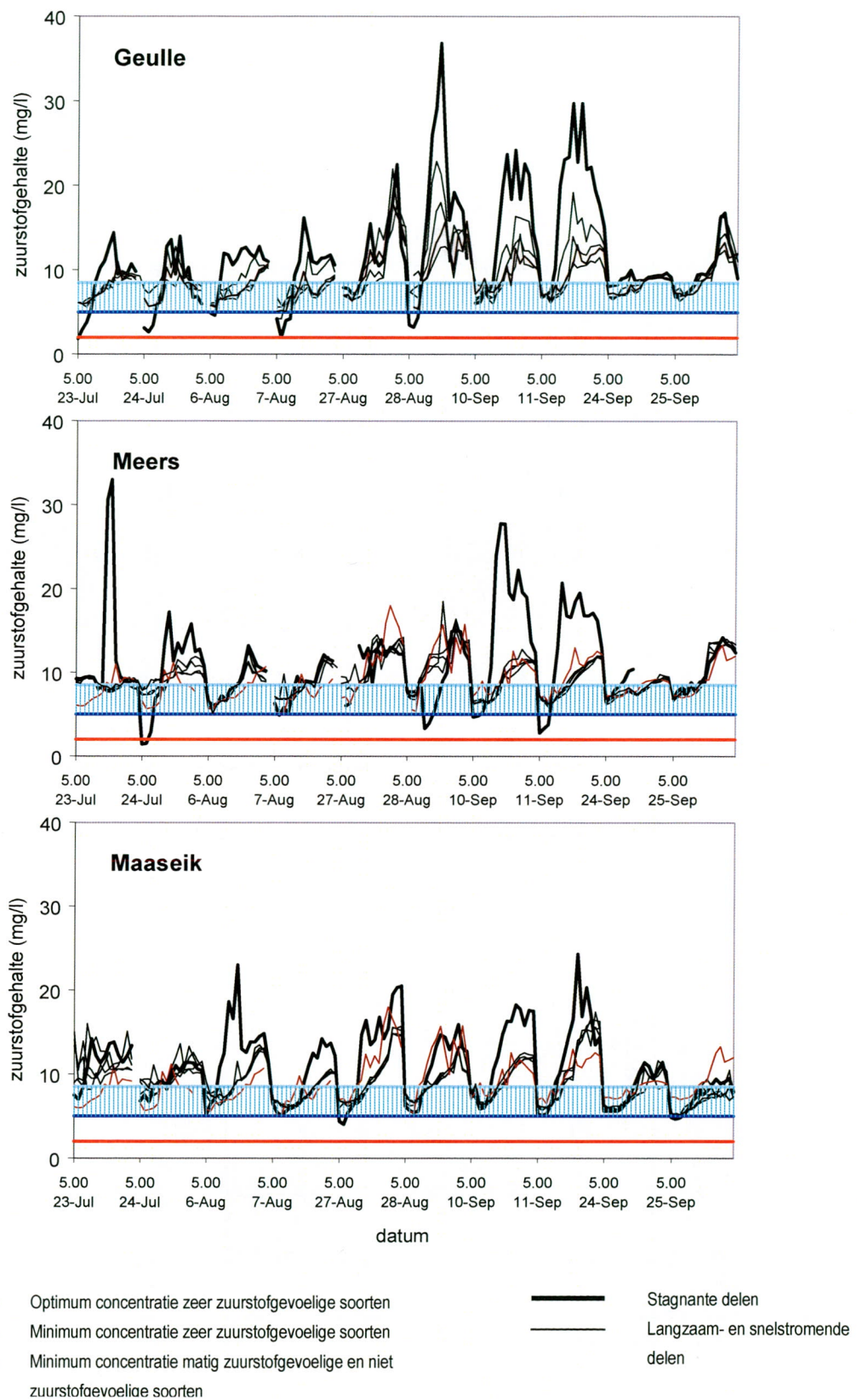
Tabel 5.4. Variatie in zuurstofgehalte voor zuurstofgevoelige soorten in stromende wateren in Nederland. (op basis van metingen uit de Limnodata Neerlandica).

Taxon	Groep ¹⁾	Aantal monsters	10-Perc	50-Perc	90-Perc
Gammarus	C	208	5.0	8.6	12.0
Gammarus pulex	C	715	5.3	8.7	12.0
Gammarus roeselii	C	181	6.8	9.6	12.7
Gammarus fossarum	C	80	7.6	9.8	11.7
Ephemerella ignita	E	24	7.7	9.9	12.1
Ephemera danica	E	18	8.5	9.8	13.2
Pisidium pulchellum	M	15	3.5	6.8	9.9
Pisidium milium	M	39	3.8	7.6	12.0
Pisidium nitidum	M	61	3.9	8.6	12.1
Sphaerium	M	281	4.0	8.2	12.1
Sphaerium corneum	M	407	4.2	8.1	12.2
Pisidium	M	721	4.4	8.3	12.4
Sphaeriidae	M	121	4.6	8.0	11.6
Pisidium subtruncatum	M	115	4.7	8.6	12.6
Sphaerium rivicola	M	8	4.7	7.0	8.7
Pisidium moitessierianum	M	12	5.4	7.7	9.6
Pisidium henslowanum	M	80	5.5	7.5	10.6
Pisidium casertanum	M	150	5.5	8.7	12.5
Potamopyrgus antipodarum	M	212	5.9	8.9	12.3
Sphaerium solidum	M	2	5.9	7.3	9.1
Pisidium amnicum	M	114	6.0	9.0	12.9
Pisidium supinum	M	49	6.1	8.1	11.0
Pisidium personatum	M	14	6.5	9.3	10.9
Pisididae	M	18	6.7	8.8	11.1
Ancylus fluviatilis	M	77	7.3	9.5	11.8
Calopteryx splendens	O	161	6.2	8.9	11.8
Hydropsyche contubernalis	T	5	6.5	7.8	11.1
Hydropsyche pellucidula	T	38	7.6	9.6	11.2

1) C=Crustacea, E=Ephemeroptera/haften, eendagsvliegen, M=Molusca/tweekleppigen, O=Odonata/libellenlarven, T=Trichoptera/kokerjuffers

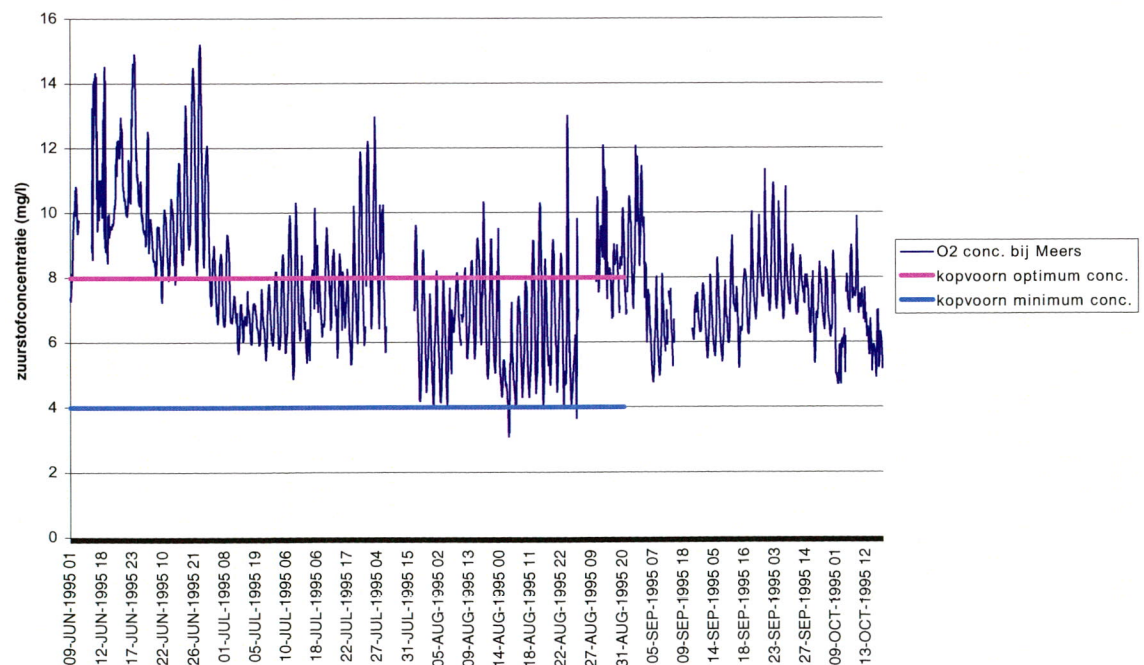
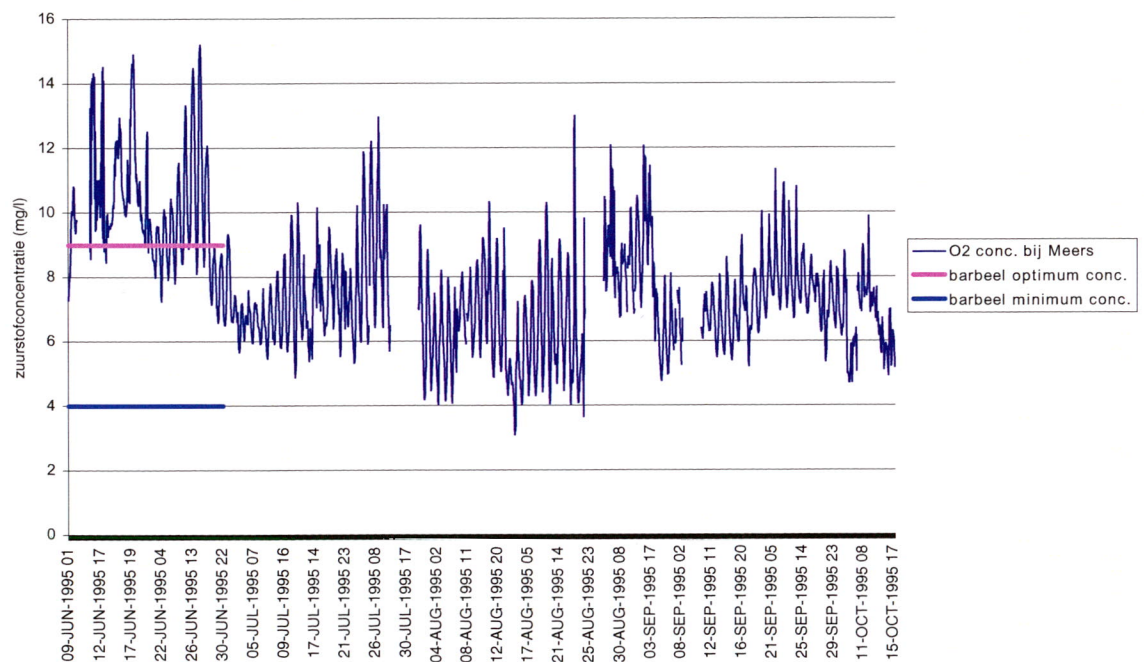
Directe effecten op vissen

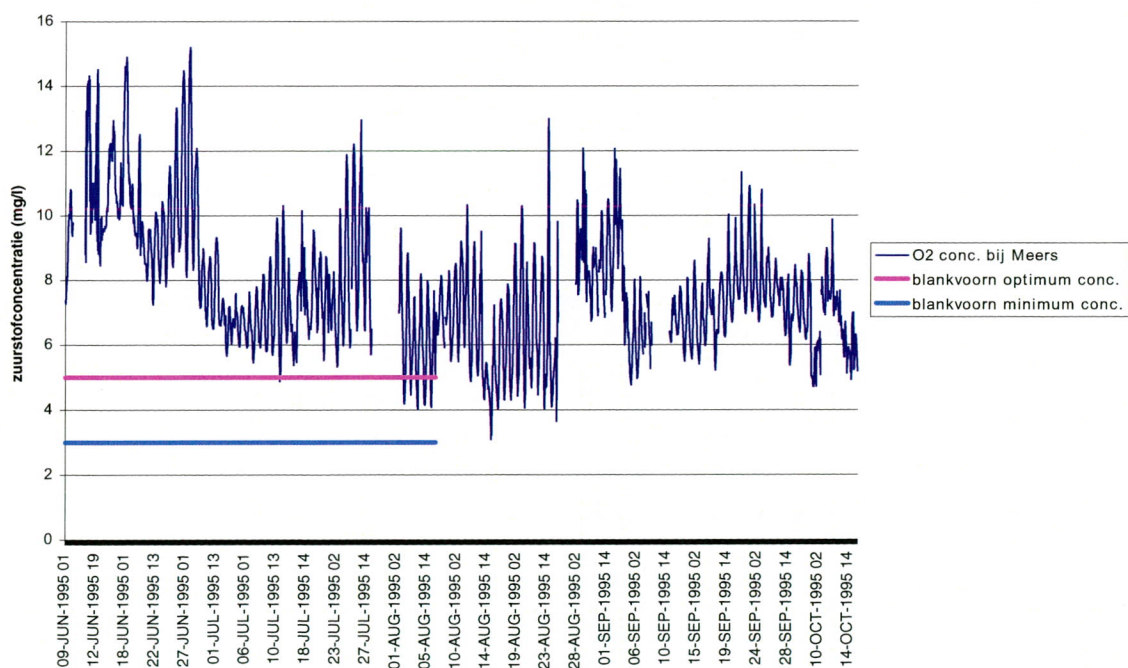
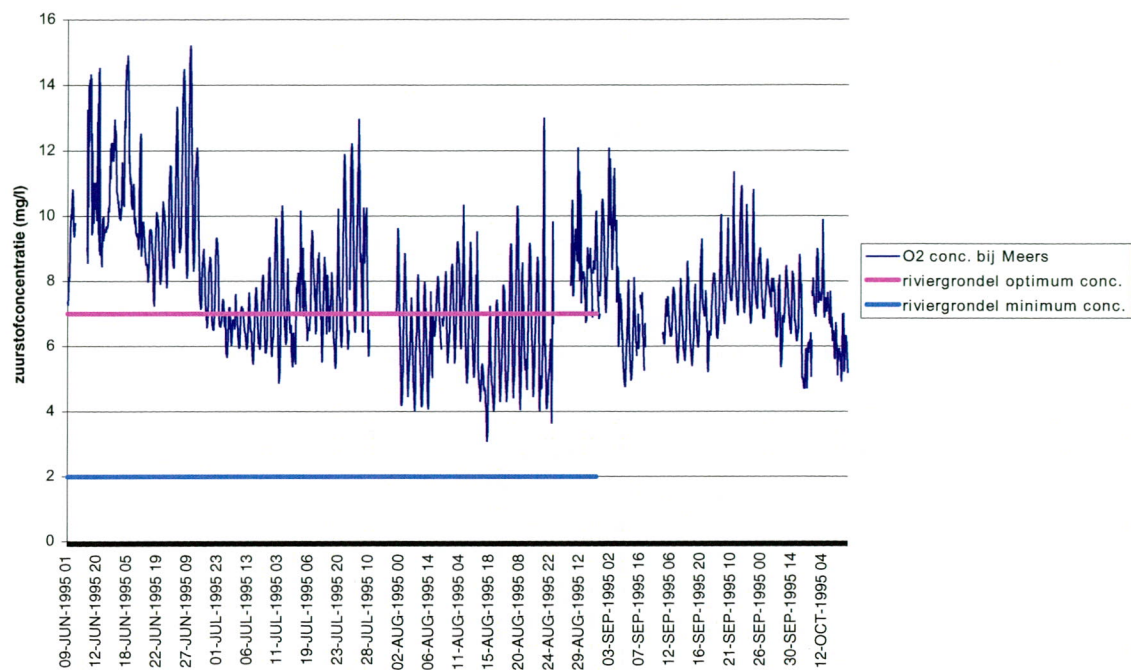
De karakteristieke soorten voor de Grensmaas uit tabel 5.2 zijn in recente jaren allen in de Maas aangetroffen (Liefveld et al., 2001). Zeer zuurstofgevoelige soorten, zoals Sneep en Kopvoorn, komen echter alleen in relatief lage aantallen in de Grensmaas voor. De aantallen zijn sinds begin van de eeuw sterk afgenomen (Vriese, 1992). Afgezien van volwassen exemplaren is ook visbroed van zeer zuurstofgevoelige soorten in de Grensmaas aangetroffen (bemonstering zomer 1999, Kampen (1999)). Er is echter niet vastgesteld of deze soorten zich succesvol kunnen voortplanten in de Grensmaas. Mogelijk gaat het om vislarven die vanuit bovenstrooms gelegen Nederlandse en Belgische zijbeken zijn aangevoerd. Van de matig gevoelige soorten komen de Riviergrondel en de Rivierdonderpad (inclusief broed) nog in de Grensmaas voor. Van de Rivierdonderpad is dit niet bekend, zij komen wel in de Maas voor (Vriese 1992, Klinge et al., 1998). Niet zuurstofgevoelige soorten zoals Baars en Blankvoorn zijn dominant in de Grensmaas (Vriese, 1992; Liefveld et al., 2001).



Figuur 5.3. Zuurstofverloop van de Grensmaas in relatie tot zuurstofgevoeligheid van vissen (metingen 1999).

Indien de zuurstofgehalten in de maanden juli-september uit 1999 worden vergeleken met de zuurstofeisen van de karakteristieke vissen uit de drie zuurstofklassen blijkt dat het gemiddelde zuurstofgehalte te laag is voor de zeer zuurstofgevoelige vissen. Vissen zoals Sneep en Zeeforel hebben een optimum gehalte rond de 10 mg/l, terwijl de gemiddelden van de drie meetlocaties bij Geulle, Meers en Maaseik over het algemeen lager liggen (8 à 9 mg/l). Het minimum gemeten zuurstofgehalte (rond de 6 mg/l) ligt zelfs lager dan het gewenste minimum van de Sneep (7 mg/l). Voor de matig zuurstofgevoelige en de niet zuurstofgevoelige vissen zijn de gemiddelde gemeten waarden over het algemeen wel acceptabel, evenals de minimum gemeten waarden.





Figuur 5.4. Zuurstofverloop van de Grensmaas in de paaiperiode in relatie tot zuurstofgevoeligheid van vissen (metingen 1995).

Ook uit eerdere metingen komt dit beeld naar voren. In figuur 5.4 zijn de automatische metingen van het zuurstofgehalte gedurende de paaiperiode in 1995 bij Meers uitgezet tegen de optimale en minimale zuurstofconcentratie voor de eier en dooierzakken van de zuurstofgevoelige vissen Barbeel, Kopvoorn, de matig zuurstofgevoelige Riviergrondel en de niet zuurstofgevoelige Blankvoorn. Voor de Blankvoorn wordt het optimum wel onderschreden, maar blijven de zuurstofgehalten ruim boven het minimum. Hetzelfde geldt voor de Riviergrondel. Voor Barbeel en Kopvoorn liggen de zuurstofgehalten het merendeel van de tijd beneden het optimum, waarbij de minimumgehalten zeer dicht worden benaderd. Op basis hiervan mag verondersteld worden dat de zuurstofgehalten in de Grensmaas waarschijnlijk te laag zijn voor een duurzame ontwikkeling van populaties van reofiele vissen en met name negatieve effecten zullen hebben op de overleving, groei en voortplanting van deze zuurstofgevoelige soorten.

Vissen zijn mobiel en kunnen daardoor naar locaties met hogere zuurstofgehalten migreren. Hierdoor zijn ze beter bestand tegen lage zuurstofgehalten dan macro-evertebraten. In de lengterichting van de Grensmaas is er echter weinig verschil in zuurstofgehalte, waardoor migratie in deze richting weinig oplossing zal bieden. Wel blijkt uit visstandsbemonsteringen dat reofiele soorten op warme zomerdagen stroomversnellingen (met meer zuurstof door turbulentie) en mondingen van beken (aanvoer koud en zuurstofrijk water) opzoeken. Mogelijk speelt hier niet alleen de voorkeur voor het hogere zuurstofgehalte een rol, maar ook andere factoren als watertemperatuur en stroomsnelheid.

Indirecte effecten op macro-evertebraten en vissen

Veel van de milieuvariabelen, die bijdragen aan indirect effecten van lage zuurstofgehalten, komen in de Grensmaas in verhoogde mate voor, zoals een hoog zwevend stof, verhoogde concentraties metalen en pesticiden. Hierdoor kunnen indirecte effecten op gevoelige soorten zeker niet kunnen worden uitgesloten.

5.4 Conclusies

Zowel de huidige macro-evertebraten- als de vispopulatie van de Grensmaas is relatief mager ontwikkeld. Met name de zuurstofgevoelige soorten ontbreken of komen in relatief lage aantallen voor. Zuurstoftolerante soorten zijn dominant. Zuurstofgevoelige soorten komen overigens wel voor in de bovenstroomse delen van de Maas, dus de bereikbaarheid is waarschijnlijk geen probleem.

Een vergelijking met de gemeten zuurstofconcentraties in de Grensmaas (1999) wijst uit dat de concentraties over het algemeen lager zijn dan de minimale concentraties waarbij zeer zuurstofgevoelige soorten nog goed kunnen functioneren. Voor matig zuurstofgevoelige soorten worden de gewenste minima over het algemeen wel gehaald in de stromende delen, maar regelmatig onderschreden in de stagnante delen. Voor zuurstoftolerante soorten worden weinig effecten verwacht.

Lage zuurstofgehalten kunnen ook de gevoeligheid van macro-evertebraten en vissen voor andere waterkwaliteitsfactoren beïnvloeden (zoals temperatuur, organisch stof, zwevend stof en toxische stoffen). Hoewel niet in detail onderzocht, zijn deze effecten niet uit te sluiten, gezien de verhoogde gehalten van veel van deze variabelen voor de Grensmaas.

Conclusies

Om inzicht te krijgen in de variatie in actuele zuurstofgehalten in ruimte en tijd is in het kader van het EHM-programma in 1999 een meetcampagne uitgevoerd langs de Grensmaas. Bij Geulle, Meers en Maaseik zijn metingen verricht op verschillende sublocaties met variatie in stroomsnelheid en waterdiepte. Aanvullende informatie is verkregen van eerder uitgevoerde veldmetingen (1993-1996) in de Grensmaas en gegevens van het permanente meetstation bij Eijsden. Naar aanleiding van de veldmetingen kan het volgende geconcludeerd worden over de zuurstofhuishouding van de Grensmaas:

- Zoals verwacht, fluctueert het zuurstofgehalte gedurende de dag, waarbij de laagste waarden optreden gedurende de nacht en rond de ochtend (rond de 5.9 mg/l, met uitschieters naar 2 mg/l in stagnante delen). Deze periode kan enkele uren duren.
- De dagelijkse verschillen tussen minimum en maximum zuurstofgehalte zijn groter in de stagnante en langzaam stromende delen van de Grensmaas dan in de snelstromende delen. Dit wordt met name veroorzaakt door het verschil in verblijftijd van het water (meer algengroei en daardoor grotere verschillen in zuurstofproductie en consumptie) en de watertemperatuur (hogere processnelheid).
- Op de drie meetlocaties is geen sprake van een seizoensfluctuatie in zuurstofgehalte binnen de meetreeksen. Dit hangt samen met de beperkte meetperiode (10 dagen in de zomer). De meetreeksen bij Eijsden die het hele jaar omvatten, laten een duidelijk patroon zien, met een gemiddelde zuurstofgehalte van 10-13 mg/l in de winter en 5-6 mg/l in de zomer.
- Hoewel er duidelijke verschillen zijn tussen de minimum- en maximumgehalten aan zuurstof in stagnante delen en stromende delen (extremere waarden in stagnante delen), zijn geen significante verschillen of verbanden gevonden met factoren als waterdiepte, stroomsnelheid en temperatuur. Ook een meer procesmatige verklaring van de variatie in het zuurstofgehalte gaf geen bevredigend en eenduidig resultaat. Mogelijk speelt de variatie in de stroomsnelheid en waterdiepte per locatie hierin rol. Ook het geringe aantal waarnemingen per sublocatie kan een verklaring vormen. Wel is duidelijk dat de zuurstofinslag bij de stuw van Borgharen een belangrijke factor is in de verklaring van het zuurstofgehalte in de Grensmaas.
- Gedurende de meetperiode van 1999 is in de lengterichting van de Grensmaas geen duidelijke toe- of afname geconstateerd in zuurstofgehalte. Op de drie meetlocaties bij Geulle, Meers en Maaseik lijken de zuurstofgehalten sterk op elkaar. Wel is er een duidelijk verschil tussen het zuurstofgehalte in de Grensmaas en dat bij Eijsden. Door de stuw bij Borgharen neemt het zuurstofpercentage in de Grensmaas ten opzichte van dat bij Eijsden met 15 tot 29% toe.
- Met behulp van een geavanceerde statistische analyse (Kunstmatig Neuraal Netwerk) bleek er een redelijk tot goed verband te berekenen tussen het zuurstofgehalte in de Grensmaas en het zuurstofgehalte en de temperatuur bij Eijsden, de afvoer bij Borgharen, het tijdstip van de dag en de maand.

De zuurstofbehoefte van macro-evertebraten en vissen, die gewenst zijn in de Grensmaas, is bepaald aan de hand van literatuuronderzoek, interviews en expert judgement. Op basis hiervan zijn drie klassen van zuurstofgevoeligheid onderscheiden.

Met behulp hiervan zijn de consequenties van de huidige zuurstofconcentraties in de Grensmaas voor macro-evertebraten en vissen ingeschat. Op grond van het literatuuronderzoek en de veldmetingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- Uit de veldmetingen blijkt dat zowel de huidige macro-evertebraten- als de vispopulatie van de Grensmaas relatief mager ontwikkeld is. Voor de macro-evertebraten ontbreken hele groepen/families in de Grensmaas (kevers, libellen, steenvliegen, wantsen). Wordt gekeken naar soorten die ontbreken, dan valt op dat dit o.a. zuurstofgevoelige soorten zijn. Deze komen overigens wel voor in de bovenstroomse delen van de Maas, dus de bereikbaarheid is waarschijnlijk geen probleem. Ook voor de vissen kan geconcludeerd worden dat niet-zuurstofgevoelige soorten dominant zijn en dat zeer zuurstofgevoelige vissen zoals Sneep en Kopvoorn alleen in lage aantallen in de Grensmaas voorkomen.
- Een vergelijking met de huidige zuurstofconcentraties in de Grensmaas wijst uit dat de concentraties over het algemeen lager zijn dan de minimale concentraties waarbij zeer zuurstofgevoelige soorten nog goed kunnen functioneren. Voor matig zuurstofgevoelige soorten worden de gewenste minima over het algemeen wel gehaald in de stromende delen, maar regelmatig onderschreden in de stagnante delen. Voor zuurstoftolerante soorten worden weinig effecten verwacht. Niet alleen wordt de vereiste minimum zuurstofconcentratie nauwelijks onderschreden, ook kunnen sommige macro-evertebraten in perioden van zuurstoftekort overschakelen op anaërobe stofwisseling.
- Lage zuurstofgehalten kunnen ook de gevoeligheid van macro-evertebraten en vissen voor andere waterkwaliteitsfactoren beïnvloeden (zoals temperatuur, organisch stof, zwevend stof en toxische stoffen). Hoewel niet in detail onderzocht, zijn deze effecten niet uit te sluiten, gezien de verhoogde gehalten van veel van deze variabelen voor de Grensmaas.

Concluderend kan gesteld worden dat de zuurstofgehalten in de Grensmaas in de zomer minder laag zijn dan op basis van de metingen bij Eijsden verwacht werd. De stuw bij Borgharen speelt hier een cruciale rol in. Toch zijn de minimum zuurstofgehalten in de Grensmaas aan de lage kant voor de optimale ontwikkeling van populaties van gevoelige soorten. Hierdoor zijn tolerante soorten van macro-evertebraten en vissen dominant en komen gevoelige soorten alleen in lage aantallen of incidenteel voor. In de toekomst zouden maatregelen dus in ieder geval gericht moeten zijn op het verbeteren van de zuurstofhuishouding van de Grensmaas. Daarnaast blijven het ontbreken van geschikte habitats, de beperkte hydro- en morfodynamiek en de matige waterkwaliteit aandachtspunten.

6.2 Aanbevelingen

Hoewel het zuurstofgehalte in de Grensmaas redelijk tot goed voorspeld kan worden met behulp van een aantal variabelen die bij de permanente meetstations Eijsden en Borgharen worden gemeten, verdient het aanbeveling om in toekomst toch met enige regelmaat de zuurstofgehalten in de Grensmaas te meten. Zeker met het oog op de geplande ingrepen (Maaswerken), waardoor verhouding in stagnant water en stromend water verandert.

Verder is de rol van ondiepe stroomversnellingen (*riffles*) in deze studie niet goed tot uitdrukking gekomen. Dit zou specifiek onderzocht kunnen worden door metingen vlak voor en na een riffle te doen. (Deze metingen zijn in 1994 en 1995 wel opgezet, maar niet met het gewenste resultaat, van Hal 1994, van Hal 1995).

Het verdient aanbeveling dit over een wat langere periode te doen waarin in elk geval het paaiseizoen van reofiele vissoorten valt en waarin bovendien wat meer variatie in afvoer optreedt (b.v. april-september).

Voor het duurzaam voorkomen van reofiele doelsoorten in de Grensmaas is het optimaliseren van het zuurstofgehalte van groot belang. Dit houdt in dat onder meer de waterkwaliteit verbeterd moet worden door de organische belasting te verminderen. Deels gebeurt dit al door de bouw van rioolwaterzuiveringen in België, maar ook in Nederland zijn maatregelen nodig om de waterkwaliteit te verbeteren. Met name bij lage afvoeren treden lange verblijftijden op, met negatieve gevolgen voor de zuurstofhuishouding. Voor een optimaal ontwikkeld watersysteem met bijbehorende aquatische organismen is dus een schone, dynamische Grensmaas gewenst, waarin natuurlijke processen hun gang kunnen gaan. Gezien de belangrijke rol die de stuw bij Borgharen heeft bij het verhogen van de zuurstofgehalten in de Grensmaas, zou deze kunstmatige vorm van zuurstofinbreng ook in de toekomst gehandhaafd moeten blijven (in ieder geval tot het zuurstofgehalte in de hele Maas weer aan de gewenste kwaliteit voldoet).

Alabaster, J.S. & Loyd R., (1980). Water quality criteria for freshwater fish. FAO. Butterworth scientific, London.

Bayerisches Landesamt fuer Wasserwirtschaft, (1996). Oekologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes fuer Wasserwirtschaft. Heft 4/96. Muenchen. ISBN: 3930253704.

Belanger, S.E., 1991, The effect of dissolved oxygen, sediment, and sewage treatment plant discharges upon growth, survival and density of Asiatic clams. *Hydrobiol.* 218:113

Berg, K., 1952, On the oxygen consumption of Ancyliidae (Gastropoda) from an ecological point of view. *Hydrobiol.* 4:225

Berg, K., J. Lumbye, and K. W. Ockelmann, 1958, Seasonal and experimental variations of the oxygen consumption of the limpet *Ancylus fluviatilis* (O.F. Müller). *Journal of experimental Biology* 35:43-73.

Berger, H.J.E. & A.L. Mugie (1994). Hydrologische systeembeschrijving Maas. RIZA-notanr 94.022. Rijkswaterstaat/RIZA, Lelystad.

Breukel, R.M.A. & A.P.A Mol (1999). De waterkwaliteit van de Maas. Normtoetsingen in de periode 1993 t/m 1998. RIZA-notanr 99.181x. Rijkswaterstaat/RIZA. Lelystad.

Breukel, R.M.A. (1992). Waterkrachtcentrale Borgharen. Effecten op de zuurstofhuishouding. RIZA-notanr 92.136x. Rijkswaterstaat/RIZA. Lelystad.

Costa, H.H., 1967, Responses of *Gammarus pulex* (L.) to modified environment III. reactions to low oxygen tensions. *Crustaceana* 13:175

Crombaghs, B.H.J.M, R.W. Akkermans, R.E.M.B. Gubbels, G. Hoogerwerf (2000) Vissen in Limburgse beken. De verspreiding en ecologie van vissen in stromende wateren in Limburg. Natuurhistorisch Genootschap in Limburg. Stichting Natuurpublicaties Limburg. Maastricht

Duel, H. & Specken, B., (1994). Habitatmodel Driehoeksmossel en andere modellen voor het voorspellen van de populatie-omvang van de driehoeksmossel *Dreissena polymorpha* in meren en rivieren. Werkdocument P 94-026, December 1994. TNO-BSA Werkgroep planning, Delft.

Duel, H. & Specken, B., (1994). Habitatmodel Kokerjuffer: een model voor het bepalen van de kwaliteit van rivierhabitats voor de kokerjuffer *Hydropsyche contubernalis*. Werkdocument P 94-028, December 1994. TNO-BSA Werkgroep planning, Delft.

Duel, H., Pedrol, B., Arts, G., (1996). Een stroom natuur. Natuurstreefbeelden voor Rijn en Maas. Achtergronddocument B: ontwikkelingsmogelijkheden voor doelsoorten. Watersysteemverkenningen. RIZA werkdocument 95.173X.

Durrant, P.M., 1977, Some factors that affect the distribution of *Ancylus fluviatilis* (Müller)

in the river systems of Great Britain. J.Moll.Stud. 43:67-78

Dussart, G.B., 1979, *Spaerium corneum* (L.) and *Pisidium* spp. pfeiffer - the ecology of freshwater bivalve molluscs in relation to water chemistry. J.Moll.Stud. 45:19-34.

Eckblad J.W. and S. F. Lehtinen, 1992, Decline in Fingernail clam populations (Family Sphaeriidae) from Backwater Lakes of the Upper Mississippi River. Journal of Freshwater Ecology 6 (4):353

Greijdanus-Klaas, M. (2001) Zuurstof, een beperkende factor in het voorkomen van macrofauna in de Limburgse Maas? Werkdocument RIZA in press

Heugens, E.H.W, A.J. Hendriks, T. Reede, N.M. van Straalen, W. Admiraal (2001) A review on the effects of multiple stressors on aquatic organisms and analysis of uncertainty factors for use in risk assessment. Critical Reviews in Toxicology 31: 247-284
Iwaco, CSO & WL (1998) MER Grensmaas, Deelrapport 4 Natuur. Maaswerken.

Jacob, U. & Walther, H., 1981. Aquatic insect larvae as indicators of limiting minimal contents of dissolved oxygen. Aquat. insects 3: 219-224.

Jesse, P, 1992, De invloed van zuurstof en cadmium op Gammaridae in de Grensmaas : stageverslag. RIZA werkdocument (92.153X)

Kampen, J. (1999) Bemonstering van jonge vis in verschillende habitats in de Grensmaas. Aquaterra Water en Bodem b.v. rapport AT99.100.

Kerkhofs, M.J.J. & Prins, K.H., (1995). Biologische monitoring zoete rijkswateren. Watersysteemrapportage Maas 1992. RIZA nota nr. 95.001. ISBN: 9036904447.

Klink, A. & BijdeVaate, B., (1994). De Grensmaas en haar problemen zoals blijkt uit hydrobiologisch onderzoek aan macro-invertebraten. Hydrobiologisch adviesburo Klink bv Wageningen. Rapporten en Mededelingen 53 (25 november 1994).

Kubicek, F., (1978). The influence of sewage waters on the macrobenthos of a trout brook. In: Kubicek F. et al. Contributions to new informations concerning the biology of eutrophicated streams. Folia Fac.Sci.Nat.Univ.Purkynianae Brunnensis XIV: 17-31.

Liefveld, W.M., K. van Looy & K.H. Prins, (2001). Biologische monitoring zoete rijkswateren. Watersysteemrapportage Maas 1996. RIZA-nota: 2000.056, ISBN: 9036953189

Lumbye,J.,1958, The oxygen consumption of *Theodoxus fluviatilis* (L.) and *Potamopyrgus jenkinsi* (Smith) in brakish and fresh water. Hydrobiol. 10:245

Meijering, M.P., 1991. Flohkrebse (lack of oxygen and low pH as limiting factors for Gammarus in Hessian brooks and rivers. Hydrobiologia 223: 159

Nagel, B. & Larshammar, P., (1981). Critical oxygen demand in Plecoptera and Ephemoptera nymphs as determined by two mehods. Oikos 36: 75-82.

Postma, R., M.J.J. Kerkhofs, G.B.M. Pedroli, J.G. Rademakers, 1996.

Watersysteemverkenningen 1996. Een analyse van de problematiek in aquatisch milieu. Een stroom natuur. Natuurstreefbeelden voor Rijn en Maas. RIZA nota. 95.060, ISBN: 9036945267

RIWA 1997, Jaarverslag (1996). deel B: de Maas. RIWA, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Amsterdam. ISBN 90.6683.083.2

RWS Directie Limburg (2000) Beheerplan Nat.

Schoenborn, W., (1992). Fliessgewaesserbiologie. Gustav Fischer Verlag Jena. ISBN:334603962

Schoettler, U. & Schroff, G., (1976). Untersuchungen zum anaërobe Glycogenabbau bij *Tubifex tubifex* M. J.Comp.Physiol. 108: 243-254.

Semmekrot, S. & F.T. Vriese, (1992). Paai- en opgroeigebieden voor vis in de Maas. OVB onderzoeksrapport nr. 1992-31.

Sijm, D.T.H.M., Verberne, M.E., Paert P. & Opperhuizen, A., (1994). Experimentally determined blood and waterflow limitations for uptake of hydrophobic compounds using perfused gills of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): allometric applications. Aquat.Tox. 30: 325-341.

Straalen van, N.M. & Verkleij, J.A.C., (1993). Leerboek Oecotoxicologie. Tweede druk. VU uitgeverij, Amsterdam.

Svobodova, Z. et al., (1993). Water quality an fish health. EIFAC Technical paper no. 54

Usseglio-Polatera, P. & J. N. Beisel (1999) Traitement des resultats du monitoring international de la faune de macroinvertebres benthiques de la Meuse. C.I.P.M. rapport.

Van den Burg, M.C., J.G.M. Rademakers & A. Klink en J.H.T. Lucassen, (2000). Slib in de Maas, kwantitatieve aspecten in relatie tot ecologische ontwikkeling. EHM-rapport 32-2000

Van Hal, L. 1994, Zuurstofmetingen bij Meers en Berg. RIZA werkdocument 94.184X

van Hal, L. 1995, Zuurstofmetingen Grensmaas 1995 bij Meers en Berg. RIZA werkdocument 96.008X

Van der Linden, M.J.H., (1996). Zuurstofbehoefte van de Nederlandse zoetwatervissen. Organisatie ter verbetering van de binnenvisserij. Nieuwegein.

Vriese, ir. T., (1992). De visstand in de Grensmaas, OVB-onderzoeksrapport 1991-21, Rijkswaterstaat RIZA, directie Limburg

Witteveen+Bos (2001). Analyse zuurstofhuishouding Grensmaas.

Zuiveringsschap Limburg, (1999) Zuurstofmetingen in de Grensmaas, werkdocument

Bijlage I. Algemene karakteristieken van het zuurstofgehalte voor de locaties en sublocaties in de Grensmaas (veldgegevens zomer 1999).

Geulle

Sublocatie	Datum	Aantal metingen	Minimum zuurstofgehalte (mg/l)	Gemiddelde zuurstofgehalte (mg/l)	Maximum zuurstofgehalte (mg/l)
Langzaamstromend diep	23/24 juli	16	6.0	8.4	12.7
	7/ 8 augustus	28	5.6	7.8	10.5
	27/ 28 augustus	29	6.4	11.5	18.0
	9/10 september	30	6.0	10.0	14.0
	24/ 25 september	30	6.3	9.0	14.3
Langzaamstromend ondiep	23/24 juli	27	5.6	8.8	12.9
	7/ 8 augustus	28	4.2	8.5	12.1
	27/ 28 augustus	29	6.5	13.2	22.9
	9/10 september	30	6.1	11.7	19.2
	24/ 25 september	30	6.5	9.5	16.5
Stagnant	23/24 juli	28	1.8	8.3	14.4
	7/ 8 augustus	28	2.0	9.9	16.2
	27/ 28 augustus	29	3.2	14.3	36.8
	9/10 september	30	6.1	16.7	29.7
	24/ 25 september	30	6.8	9.6	16.8
snelstromend diep	23/24 juli	27	5.8	7.5	9.6
	7/ 8 augustus	28	5.8	7.4	10.5
	27/ 28 augustus	29	6.6	10.5	17.8
	9/10 september	30	6.7	9.3	14.3
	24/ 25 september	30	6.8	8.7	12.4
Snelstromend ondiep	23/24 juli	27	5.7	7.9	11.2
	7/ 8 augustus	28	5.1	7.6	10.7
	27/ 28 augustus	29	5.4	11.5	18.0
	9/10 september	30	6.5	9.7	13.0
	24/ 25 september	30	7.0	8.9	13.3

Meers

Sublocatie	Datum	Aantal metingen	Minimum zuurstofgehalte (mg/l)	Gemiddelde zuurstofgehalte (mg/l)	Maximum zuurstofgehalte (mg/l)
Langzaamstromend diep	23/24 juli	30	7.3	8.8	10.2
	7/ 8 augustus	28	5.6	8.6	11.5
	27/ 28 augustus	28	6.8	11.0	15.1
	9/10 september	30	6.2	8.9	11.8
	24/ 25 september	30	6.2	9.0	13.4
Langzaamstromend ondiep	23/24 juli	30	7.3	8.7	10.0
	7/ 8 augustus	28	5.9	8.6	12.3
	27/ 28 augustus	27	7.1	11.5	18.5
	9/10 september	30	5.9	9.1	11.8
	24/ 25 september	30	6.6	9.2	14.0
Stagnant	23/24 juli	30	1.4	11.2	33.0
	7/ 8 augustus	28	4.9	8.8	13.2
	27/ 28 augustus	28	3.3	10.3	15.1
	9/10 september	30	2.8	14.6	27.8
	24/ 25 september	22	6.5	9.7	14.2
Snelstromend diep	23/24 juli	30	7.8	9.2	11.3
	7/ 8 augustus	28	5.7	8.5	11.4
	27/ 28 augustus	30	7.2	11.0	15.8
	9/10 september	30	6.3	8.7	11.9
	24/ 25 september	30	6.5	9.1	13.4
Snelstromend ondiep	23/24 juli	30	7.9	9.5	11.9
	7/ 8 augustus	28	5.1	8.5	12.8
	27/ 28 augustus	30	7.2	11.7	16.0
	9/10 september	30	6.3	9.2	12.8
	24/ 25 september	30	6.9	9.4	13.8

Maaseik

Sublocatie	Datum	Aantal metingen	Minimum zuurstofgehalte (mg/l)	Gemiddelde zuurstofgehalte (mg/l)	Maximum zuurstofgehalte (mg/l)
Langzaamstromend diep	23/24 juli	29	7.4	9.9	15.0
	7/ 8 augustus	30	6.0	8.4	12.7
	27/ 28 augustus	30	6.6	9.3	14.9
	9/10 september	30	6.0	9.8	16.2
	24/ 25 september	30	5.2	7.4	10.9
Langzaamstromend ondiep	23/24 juli	29	7.6	9.7	13.4
	7/ 8 augustus	30	5.8	8.6	13.5
	27/ 28 augustus	30	6.0	9.2	14.8
	9/10 september	30	5.7	9.8	15.6
	24/ 25 september	30	5.0	7.7	10.8
Stagnant	23/24 juli	29	6.7	10.4	14.2
	7/ 8 augustus	30	5.1	11.1	23.0
	27/ 28 augustus	30	4.0	11.8	20.5
	9/10 september	30	5.1	12.7	24.3
	24/ 25 september	30	4.7	7.9	11.4
Snelstromend diep	23 en 24 juli 1999	29	8.6	11.1	16.0
	7 en 8 augustus	30	6.0	8.6	13.1
	27 en 28 augustus	30	6.7	9.6	15.7
	9 en 10 september	30	6.1	9.9	16.6
	24 en 25 september	30	5.2	7.0	9.8
Snelstromend ondiep	23/24 juli	29	8.3	11.0	15.1
	7/ 8 augustus	30	6.1	8.7	13.1
	27/ 28 augustus	30	6.6	9.7	15.6
	9/10 september	30	6.0	10.2	17.4
	24/ 25 september	30	5.3	7.5	11.6

Bijlage II. Correlaties tussen zuurstofgehalte en overige factoren op de sublocaties in de Grensmaas (veldmetingen 1999).

Correlaties tussen het zuurstofgehalte en overige factoren, gemeten onder het wateroppervlak en ondiep water

	Sublocatie ¹⁾	Stroomsnelheid	Temperatuur	Waterdiepte	pH
Geulle	Sd			0,44	0,52
	So	-0,26	0,19	-0,41	-
	Lo	-0,29	0,40		-
	Ld		0,22		-
	S		0,62	-0,18	0,58
Meers	Sd				0,62
	So	-0,24			-
	Lo		0,17	0,17	-
	Ld		0,20	0,21	-
	S		0,44	-	0,84
Maaseik	Sd	-0,32	0,38		0,21
	So	-0,37	0,35	-0,22	-
	Lo		0,39		-
	Ld		0,35	0,19	-
	S		0,66	-0,16	0,55

Alleen significante correlaties zijn weergegeven ($\alpha = 0.05$)

- = niet berekend

Correlaties tussen het zuurstofgehalte en overige factoren, gemeten op de rivierbodem

	Sublocatie	Stroomsnelheid	Temperatuur	Waterdiepte
Geulle	Sd			0,42
	Ld		0,20	
Meers	Sd			
	Ld		0,20	0,20
Maaseik	Sd	-0,47	0,42	
	Ld	-0,28	0,37	

Alleen significante correlaties zijn weergegeven ($\alpha = 0.05$)

- = niet berekend

¹⁾ verklaring van de gebruikte afkortingen:

Sd = snelstromend diep

So = snelstromend ondiep

Lo = langzaamstromend ondiep

Ld = langzaamstromend diep

S = stagnant

Bijlage III. Auto-ecologie volgens Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (BLW,1996)¹ van macro-evertebraten die ontbreken in de Grensmaas en stroomopwaarts wel voorkomen.

Soorten die specifiek gevoelig zijn voor lage zuurstofconcentraties zijn gemarkeerd met een grijze arcering

Trichoptera(kokerjuffers)	autecologie volgens BLW, 1996 en ander bronnen (zie literatuur verwijzingen)
Hydropsyche angustipennis (niet inGrensmaas, ook niet bovenstrooms):	heeft een hoge resistentie tegen lage zuurstofgehaltes hoge temperatuur en lage stroomsnelheid. Zou dus voor kunnen komen maar heeft wellicht last van slib omdat de soort lithofiel is of wegens gebrek aan waterplanten
H. contubernalis:	komt als eerste kokerjuffersoort terug bij verbetering waterkwaliteit (Van Urk en Bij de Vaate, 1990, , vreemd dat deze soort ontbreekt in de soortenlijst. Eigen veldwaarneming in de buurt van DSM wijzen uit dat de soort wel voorkomt in de Grensmaas. Stuitfzand, 1999 beveelt aan dit organisme op te nemen in de amoebe als onmisbare indicator van waterkwaliteit
H. exocellata:	in niet te kleine stromende wateren, waarschijnlijk reobiont
H. pellucidula:	geringe verdraagzaamheid ten opzichte van zuurstoftekort
Cheumatopsyche lepida:	snelstromende wateren
Agraylea sp.	Stilstaand en stromend water, ook detritusrijke wateren eet mn algen (eencellige groenalgen en diatomeeën)
Hydroptila:	stilstaande en stromende wateren afh van welke soort het is
Ithytrichia lamellaris:	plantenrijke kleine beken
Orthotrichia sp.:	plantenrijke wateren
Athripsodes:	verschillende soorten verschillende eisen: stilstaand tot stromend
Ephemeroptera (haften/eendagsvliegen):	
Baetis sp.	Baetidae zijn bewoners van submerse mossen die weinig voorkomen in de Grensmaas. Larven ook op waterplanten
Centroptilum luteolum:	breed verspreidingspatroon, wordt gemeld op zand, planten en stenen in langzaam tot snelstromend water, schrapper.
Cloeon dipterum:	tolerant tegen huishoudelijk afvalwater vaak in plantenrijke wateren
Cloeon simile:	Gebonden aan waterplanten
Procloeon bifidum:	op zand en planten van stilstaand tot stromend water
Caenis sp.	Stilstaand en stromend op het oppervlak van stenen
Ephemerella ignita:	niet in stilstaand water, stromend met vegetatie/mos heeft de voorkeur; zeer geringe zuurstoftolerantie, bij gebrek aan zuurstof treed drift op
Ephemerella notata:	Stromend water, stenig substraat
Ephemera danica:	zuivere stromende wateren , larve graaft zich in een zuurstofrijke ongestoorde bodem, bij regelmatige verstoring verdwijnt de soort
Ephemera lineata:	Thermofiel, reofiel (in voorjaar 2001 1 ex in Eijsden aangetroffen)
Ephemera vulgata:	Langzaam stromende wateren verdwijnend bij verontreiniging
Heptagenia sp.	Op sterk overspoelde stenen in oeverzones

¹ NB: de autecologie volgens dit overzicht is opgebouwd uit meerdere literatuurverwijzingen die hier niet uitputtend vermeld staan, voor de originele bronnen zie Bayerisches Landesamt fuer Wasserwirtschaft (1996).

Potamanthus luteus:	Snelstromend water
Heteroptera (waterwantsen)	
Aphelocheirus aestivalis:	Schoon water oxybiont eet Sphaeridae en Pisididae, heeft grof zand als substraat nodig, planten niet beslist noodzakelijk
Micronecta sp.:	komt voor op zandbodem en planten
Corixa sp.	Eurytoop
Sigara sp.:	eurytope detrituseters
Gerris sp:	op wateroppervlak gevoelig voor verontreinigingen die oppervlaktespanning verlagen
Hydrometra:	Langzaam stromend water op waterplaten
Mesovelia furcata:	Stilstaand water, waterplantgebonden
Naucoris sp.	Stilstaand plantenrijk water
Ilyocoris cimicoides:	plantrijke wateren
Plea leachi:	Onbekend in BLW (1996)
Velia sp.	Voor eiafzetting oeverplanten nodig
Coleoptera (kevers)	
Dytiscus sp:	rovers (o.a op kokerjuffers) eiafzetting op planten
Hyphydrus	(slechts 2 ex in Concourt gevonden) stilstaandwatersoort
Laccophilus sp.	Vegetatie langzaamstromend en stilstaand water, goede zwemmer en goede vlieger (dus makkelijke verspreiding) iliophil = modderminnend
Platambus maculatus:	(op 3 plekken 1-2 exemplaren gevonden)stromende wateren op kiezel of hout
Elmis sp.:	grazer op stenen met mos
Esolus sp.	Beeksoort, koudwater
Normandia sp.	Kalkrijke bergbeken
Oulimnius sp.	positief gecorreleerd met maximale afvoer
Stenelmis	in steenholttes en dood hout
Riolus sp	stromend water
Gyrinus sp	stilstaand water, rover
Orectochillus villosus:	eieren op mos, larven eten wormen en muggenlarven, overwintering en verpopping aan land, volwassene vaak onder wortels of oeverplanten die in het water hangen
Halipus sp.:	hebben planten nodig
Peltodytes:	Stilstaand en langzaamstromend water vegetatie
Hydraena sp	reofiel bergbeekbewoner detritus en moseter
Enochrus sp.	Stilstaand water
Helochares sp.	Detritusrijk stilstaand water
Hydrobius sp.	Stilstaand water
Laccobius sp.	Stilstaand zelden in stromend

Diptera: tweevleugeligen	
Bezzia:	leeft op/in planten of detritus op de bodem
Orthocladinae:	stromendwatersoorten op stenen
Simuliidae:	uitsluitend op schone (alg en moddervrije stenen of waterplanten) (mond med J Bass, cursusleider Simuliidae)
Tanytarsus	Vermijdt lage zuurstof en voedselconcentraties
Odonata (libellen)	
Calopteryx splendens	hoge zuurstofbehoefte en daarom alleen in stromend schoon water
Coenagrion sp :	Verschillende soorten met verschillende verspreiding binnen dit geslacht
Platycnemis:	plantenrijk langzaam stromend of stilstaand water
Crustacea	
Gammarus pulex	Costa, 1967: Blootgesteld aan water met oplopend zuurstofgehalte (van 0.2-7.8 mg zuurstof/l) met de keuzemogelijkheid om te verplaatsen naar water met een hoger zuurstofgehalte echter afhankelijk van de temperatuur. Bij 0-2 graden Celsius amper activiteit, ook niet bij lage zuurstofgehaltenes (2.2mg/l) terwijl bij hetzelfde gehalte aan zuurstof bij 24 graden Gammarus pulex binnen 4 minuten de lage gehaltenes probeert te ontwijken.
Gammariden	De afwezigheid van G.tigrinus wordt verklaard aan de hand van het ten opzichte van de Rijn veel lagere chloridegehalte in de Maas. Maaswater bleek in veldtoetsen waarbij de organismen werden uitgehangen in de Maas in 1992 niet acuut toxisch te zijn voor G.pulex en G.tigrinus. Zowel cadmium als zuurstof schijnen een rol te spelen in de afwezigheid van Gammariden. Jesse, 1992
Gammarus fossarum, G pulex en G roeseli	Afwezigheid wordt voornamelijk beïnvloed door zuurstofgebrek als gevolg van organische verontreiniging en lage pH. Zowel de ineenslopende als de weeropbouwende populaties zijn gevolgd zowel landschappelijk, geologisch, waterkwaliteit.Meijering, 1991
Molusca	
Corbicula	prefereert goed geaereerde zandbodems boven grover of fijner sediment Belanger, 1991
Ancylidae (Gastropoda)	Berg, 1991: 50% sterfte van Ancylus fluviatilis na 2,5 dag anaëroob, 85 % dood na 3 dagen anaëroob. Acroloxus lacustris 70 % overlevenden op dag 7 (labtesten) Zuurstof opname is voor beide soorten wel gelijk
A.fluviatilis	komt voor bij een brede range aan stroomsnelheden van 5 cm/sec-150 cm/sec. A. fluviatilis werd gevonden in wateren met zuurstofverzadiging van minimaal 35 % maximaal 160 % en gemiddeld 100.7 % Durrant, 1977
Pisidium sp.	Significant gevoelig voor zuurstof Dussart, 1979
Sphaeriidae	nemen af bij afnemende zuurstofgehaltenes, wellicht ook door hogere ammoniagehaltenes bij anaërobe worden sediment, Eckblad & Lehtinen, 1991
Theodoxus fluviatilis en Potamopyrgus antipodarum	kunnen bij een lager zuurstofgehalte minder goed zuurstof opnemen, Lumby, 1958

Rapporten van het project Ecologisch Herstel Maas

- nr. 1 - 1992 Projekt Ecologisch Herstel Maas.
Botterweg en W. Silva (RIZA)
- nr. 2 - 1992 Groei en overleving van de Vlottende waterranonkel (*Ranunculus Fluitans* Lam.) in de Maas: transplantatie en semi-veldexperimenten.
M. de la Haye (Aquasense)
- nr. 3 - 1992 Microverontreinigingen in Blankvoorns en schelpdieren uit de Maas en Maasplassen, 1991.
van Hattum en S. Dirksen (IVM, Bureau Waardenburg)
- nr. 4 - 1992 Vegetaties in het oevermilieu van de Grensmaas: I Veldopname en verwerking van gegevens.
de Boer (STL)
- nr. 5 - 1992 Waterplanten in de Maasplassen: inventarisatie 1990-1991.
Paffen, P. van Avesaath en W. Overmars (Bureau Stroming)
- nr. 6 - 1992 De visstand in de Grensmaas.
Vriese (OVb)
- nr. 7 - 1992 Watervogels en wetlands in Limburg.
van Noorden (Provincie Limburg, RIZA, Bureau Waardenburg)
- nr. 8 - 1993 Worden de groei, overleving en kieming van Vlottende waterranonkel (*Ranunculus fluitans* LAMARCK) in Maaswater beïnvloed door waterstandsfluctuaties?
M.A.A. de la Haye (Aquasense)
- nr. 9 - 1993 Onderzoek naar mogelijke paai-en opgroeigebieden in de Maas.
Semmekrot en F.T. Vriese (OVb)
- nr. 10 - 1993 Sedimenttransportmetingen Grensmaas, januari 1991.
M.C. Burgdorffer (RIZA)
- nr. 11 - 1993 Projektplan Ecologisch Herstel Maas, 1994-1995.
M.J.J. Kerkhofs (RIZA)
- nr. 12 - 1993 Verontreinigingsbronnen en waterkwaliteit van de Grensmaas.
R.M.A. Breukel, M.J.J. Kerkhofs en M.A.A. de la Haye (RIZA)
- nr. 13 - 1993 De Maas, Kansen voor Ecologisch Herstel. Onderzoekresultaten van het projekt Ecologisch Herstel Maas, 1991-1992.
M.J.J. Kerkhofs, J. Botterweg, M.C. Burgdorffer en M.A.A. de la Haye (RIZA)

- | | |
|---------------|---|
| nr. 14 - 1993 | Zware metalen en organische microverontreinigingen in bodem, regenwormen en dassen in het winterbed van de Maas bij Grave. M.J.J. Kerkhofs, W. Silva en W. Ma (RIZA, IBN-DLO) |
| nr. 15 - 1993 | De otter in Limburg. Het voorkomen van de otter (<i>Lutra lutra</i>) in Limburg en een voorstel voor een ecologische infrastructuur. Winter (Stichting Otterstation Nederland) |
| nr. 16a-1993 | "La Moyennne Meuse" als referentie voor de Grensmaas? Een inventarisatie.
Paalvast (Ecoconsult) |
| nr. 16b-1993 | "La Moyennne Meuse" comme reference pour la Grensmaas? Un inventaire.
Paalvast (Ecoconsult) |
| nr. 17 - 1993 | Beschrijving van een nulsituatie voor de macro- evertetraten in de Grensmaas.
bij de Vaate en M. Greijdanus-Klaas (RIZA) |
| nr. 18 - 1994 | Heeft Vlottende waterranonkel een toekomst in de Grensmaas.
M.A.A. de la Haye (Aquasense) |
| nr. 19 - 1994 | De invloed van stroomsnelheid op de aangroei van bentische algen en de aanhechting van maasslib op kunstmatig substraat in stroomgoten.
M.A.A. de la Haye (Aquasense) |
| nr. 20 - 1994 | Kartering van zwevend stof en chlorofyl in Maas en Maasplassen met satelliet remote sensing.
Appelman, M.J.J. Kerkhofs en H.C. Bakker (Meetkundige dienst, RIZA) |
| nr. 21 - 1994 | Schatting van risico's van microverontreinigingen in de Maas voor groepen organismen van de rivier-AMOEBE.
J.W. Dogger, F. Noppert en F. Balk (BKH) |
| nr. 22 - 1994 | Effecten van stroomgeulverbreding en weerdverlaging op slibsedimentatie in de Grensmaas.
N.G.M. van den Brink (RIZA) |
| nr. 23 - 1994 | Ecotoxicologisch onderzoek aan Maaswater en sediment (1991, 1992).
J.L. Maas, M.A.A. de la Haye en M.A. Beek (RIZA, Aquasense) |
| nr. 24 - 1994 | Ecologisch onderzoek voor schattingen van ecotoxicologische risico's voor overwinterende watervogels van de Maas en Maasplassen
Dirksen en T.J. Boudewijn (Bureau Waardenburg) |

- nr. 25 - 1994 Fyto- en zoöplankton in de Maas (1966-1982) (Eijdsen, Grave en Lith)
M.A.A. de la Haye (Aquasense, RIZA)
- nr. 26 - 1994 Ontwikkelingsmogelijkheden voor zachthoutoobos in het zomerbed van de Grensmaas.
Geilen (RIZA)
- nr. 27 - 1995 Ecologische karakterisering van de Limburgse maasplassen op grond van fysische en chemische variabelen en fytoplankton
E.T.H.M. Peeters en R. Gylstra (LUW)
- nr. 28 - 1995 De ecologie van de Limburgse Maasplassen.
Een overzicht van uitgevoerd onderzoek.
M.A.A. de la Haye (Aquasense, RIZA)
- nr. 29 - 1995 Voorwaarden voor waterplanten in de gestuwde Maas.
H.J.J. Sips, J. van der Horst en J.M. Reitsma (Bureau Waardenburg)
- nr. 30 - 1997 Literatuuronderzoek naar de ecologische effecten van lage afvoeren en afvoerfluctuaties.
Semmekrot, J.W.H. van der Straaten & M.J.J. Kerkhofs (Witteveen & Bos, RIZA)
- nr. 31- 1998 Vaststellen ecologisch verantwoorde afvoerfluctuatienorm voor de Grensmaas.
A.P. Salverda, J.D Klein, F.H. Schulze (Witteveen & Bos)
- nr. 32 – 2000 Slib in het zomerbed van de Maas, kwantitatieve aspecten in relatie tot ecologische ontwikkeling
Van den Burg, M.C., J.G.M. Rademakers, A. Klink en J.H.T. Lucassen (Grontmij, RIZA)
- nr. 33 – 2000 De zuurstofhuishouding in de Grensmaas, analyse van veldmetingen in de zomerperiode en relaties met macro-evertebraten en vissen.
A.C.D. Ertsen, R.A.E. Knoben, W. Liefveld, J. Olthof (red.) (Royal Haskoning, RIZA, Directie Limburg)
- nr. 34 - 2000 Inventarisatie van macrofauna in de Limburgse. Maasplassen, basis voor een typologie en toekomstvisie.
Klink, A.G. & M.A.A. de la Haye (Aquasense)
- nr. 35 - 2000 Richtlijnen voor de ruimtelijke verdeling van ecotopen langs de Maas op basis van ecologische netwerken en geomorfologische kansrijkdom.
Liefveld, W.M., G.J. Maas, H. P. Wolfert, A.J.M. Koomen en S.A.M. van Rooij (RIZA, Alterra)

nr. 36 – 2001

Effecten van verontreinigingen in Maasuiterswaarden op dassen;
literatuurstudie en bouwstenen voor veldonderzoek.
R. Lensink, A. Bak, T.J. Boudewijn (Bureau Waardenburg)

Aanvragen/requests:

Cabri mailservice
Postbus 431
8200 AK Lelystad

tel: 0320-285333
fax: 0320-241121
e-mail: riza@cabri.nl

