

Verberk, W.C.E.P., G.A. van Duinen, E.S. Remke & H. Esselink (2006) SCHRITTWEISE ZU RENATURIERUNGSMABNAHMEN IN HOCHMOOREN - TIERPERSPEKTIVE UND INTERDISZIPLINÄRER ANSATZ. Proceedings Europäische Symposium "Moore in der Regionalentwicklung". 15-17 Juni, Wagenfeld.

SCHRITTWEISE ZU RENATURIERUNGSMABNAHMEN IN HOCHMOOREN *TIERPERSPEKTIVE UND INTERDISZIPLINÄRER ANSATZ*

W.C.E.P. Verberk, G.A. van Duinen, E.S. Remke & H. Esselink

Bargerveen Foundation / Department of Animal Ecology and Ecophysiology, Radboud University Nijmegen
P.O. Box 9010, NL-6500 GL Nijmegen, The Netherlands
E-mail: W.Verberk@science.ru.nl

Zusammenfassung

Hochmoore sind besonders in West-Europa gefährdete Ökosysteme. Renaturierungsmaßnahmen konzentrieren sich auf Wachstumsbedingungen für *Sphagnum*, welches eine notwendige Voraussetzung für die Renaturierung von Hochmoorökosystemen ist. Deswegen beinhalten heutige Renaturierungspläne häufig den Bau von Dämmen, um Regenwasser zurückzuhalten und Wasserschwankungen zu minimieren.

Degradierte Hochmoorresten können immer noch reliktsche Populationen von seltenen und charakteristischen aquatischen Makroinvertebraten beherbergen. Vergleichende Untersuchungen zeigen, dass großräumige Wiedervernässungen das Überdauern dieser reliktschen Populationen durch (i) *rapide* Veränderungen (Schock-Effekte), die diese Arten nicht tolerieren, gefährden und (ii) *ähnliche* Veränderungen auf großen Raum zu einen Verlust von Variabilität zwischen Teilflächen (Verlust von Heterogenität) und letztlich zu einem Artenverlust führen.

Da eine Wiederbesiedlung besonders von charakteristischen Arten sehr gering sein kann, muß der Schwerpunkt auf den Schutz existierender „Naturwerte“ gelegt werden. Renaturierungsmaßnahmen sollten daher auf die *graduelle* Verbesserung von Wachstumsbedingungen von *Sphagnum* und zunehmende Heterogenität in der Landschaft zielen. Untersuchungen in intakten Hochmooren Estlands zeigen, dass mineralische Übergangsstadien viele Charakterarten beherbergen. Da der Einfluss von kalkreichem Grundwasser auch das Wachstum von *Sphagnum* stimulieren kann, können die zuletzt genannten Ziele miteinander in Einklang gebracht werden, wenn Maßnahmen die Verbesserung der regionalen Hydrologie anstreben. Dieses bedarf in Renaturierungsprojekten von Mooren einer größeren Aufmerksamkeit auf die Raumeinheit Landschaft.

Abstract

Raised bogs are threatened ecosystems, especially in Western Europe. Restoration measures focus on restoring conditions for *Sphagnum* growth, which is a necessary prerequisite for the restoration of raised bog ecosystems. Therefore, current restoration plans frequently involve the construction of dams, intended to retain rain water and decrease fluctuations in the water table.

Degraded bog remnants may still harbour relic populations of rare and characteristic aquatic macroinvertebrates. Comparative research indicated that large scale rewetting measures may jeopardize the persistence of these relic populations, by causing (i) *rapid* changes (shock effects) species are unable to cope with, and (ii) *similar* changes over a large scale leading to a loss of variation between patches (loss of heterogeneity) and consequently to a loss of species.

As recolonisation may be low, especially for the characteristic species, emphasis must be placed on the conservation of existing nature values. Restoration measures should therefore aim at both a *gradual* improvement of growth conditions for *Sphagnum* and increasing the heterogeneity of the landscape. Studies in intact raised bogs in Estonia show that minerotrophic transitions harbour many characteristic species. Because influence of calcareous groundwater can also stimulate *Sphagnum* growth, these goals can be reconciled when measures aim at improving the regional hydrology. This requires more attention to the landscape scale in bog restoration projects.

Reliktische Populationen in degradierten Mooren

Um untersuchen zu können, ob Hochmoor-Renaturierungsarbeiten die Faunadiversität wieder herstellen können, wurden die aquatischen Invertebratengesellschaften in degradierten Hochmoorresten der Niederlande untersucht. Beprobungsorte wurden in zwei Gruppen unterteilt: (i) Beprobungsorte, die vor 1-29 Jahren wiedervernässt wurden und (ii) Beprobungsorte, die unbeeinflusst von großräumigen Restaurierungsmaßnahmen sind. Die zuletzt genannten Beprobungsorte sind Reste der früheren Torfnutzung, z.B. vor 1950 aufgegebene, wassergefüllte Handtorfstiche und Gräben aus dem Buchweizenanbau, die unbeeinflusst von großräumigen Restaurierungsmaßnahmen sind. Der Vergleich von wiedervernässten und nicht wiedervernässten Niederländischen Beprobungsorte zeigt, dass die kumulative Artenvielfalt niedriger war in wiedervernässten als in nicht wiedervernässten Beprobungsorte (Figure 1; Van Duinen *et al.* 2003). Dies weist darauf hin, dass degradierte Restmoore mit sehr geringem botanischem Wert, trotzdem noch viele Tierarten beherbergen können, so auch charakteristische und seltene Arten.

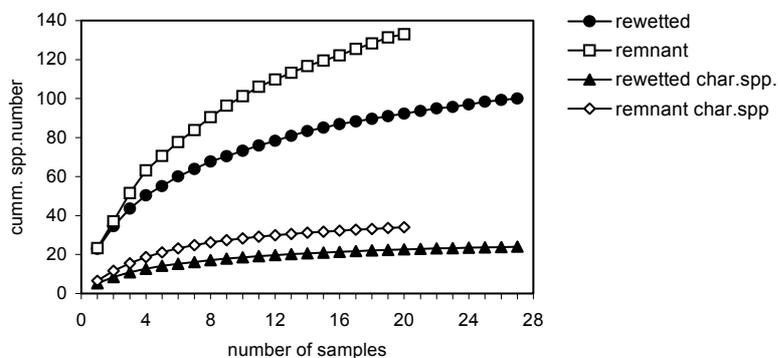


Figure 1.

Kumulative Artenvielfalt-Kurven für alle Arten und für Charakterarten der Makroinvertebraten in wiedervernässten ('rewetted') und nicht wiedervernässten ('remnant') Beprobungsorte in Niederländischen Hochmooren. Die Kurven entsprechen dem Mittelwert aus einer 250-fachen zufällig gewählten Reihenfolge der Beprobungsorte.

Cumulative species richness curves for all species and for characteristic species of macroinvertebrates in rewetted and remnant (not rewetted) sites in Dutch bog reserves. The curves are composed of averages of 250 random sorts of the sampling sites.

Effekte von Wiedervernäsungsmaßnahmen

Da die meisten Renaturierungsprojekte keine Monitoringprogramme für Invertebraten beinhalten, sind dessen Auswirkungen auf die Fauna, ob positiv oder negativ, unbekannt. Unsere vergleichende Studie zwischen wiedervernässten und nicht wiedervernässten Beprobungsorten zeigte beachtenswerte Unterschiede in der Makroinvertebraten-Artensammensetzung (Figure 2). Oberflächenwasserqualität und Vegetationszusammensetzung konnten die bestehenden Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen nicht erklären. Zusätzlich war die Variabilität zwischen wiedervernässten Beprobungsorten (Beta-Diversität) viel niedriger. Dieses deutet darauf hin, dass Wiedervernäsungsmaßnahmen einen homogenisierenden Effekt haben.

Diese vergleichenden Untersuchungen zeigen deutlich, dass es Risiken gibt bei der Renaturierung von Restmooren, wenn seltene und charakteristische Arten noch vorhanden sind. Diese Anzeichen wurden

durch eine Studie bestätigt, in der aquatische Invertebraten in *demselden* Gebiet, vor und nachdem Maßnahmen Wirkung zeigten, untersucht wurden (Verberk *et al.* 2006b). Es besteht ein doppeltes Risiko: (i) schnelle Veränderungen verursachen Störungen (Schock-Effekte), die diese Arten nicht verkraften können, und (ii) ähnliche großräumige Veränderungen führen zu einem Verlust von Variabilität zwischen den Teilgebieten (Verlust von Heterogenität) und letztlich zu einem Artenverlust. In einer anschließenden Studie wurde nachgewiesen, dass Habitat-Heterogenität eine Triebfeder für die Diversität eines Hochmoores ist (Verberk *et al.* 2006a). Diese Risiken erhöhen sich für charakteristische Arten, da sie generell in sehr geringen Dichten vorkommen oder nur sehr lokal begrenzt verbreitet sind (letztere Punkte machen Renaturierungsmaßnahmen jedoch auch notwendig) und, weil charakteristische Arten an spezifische Habitate gebunden sind.

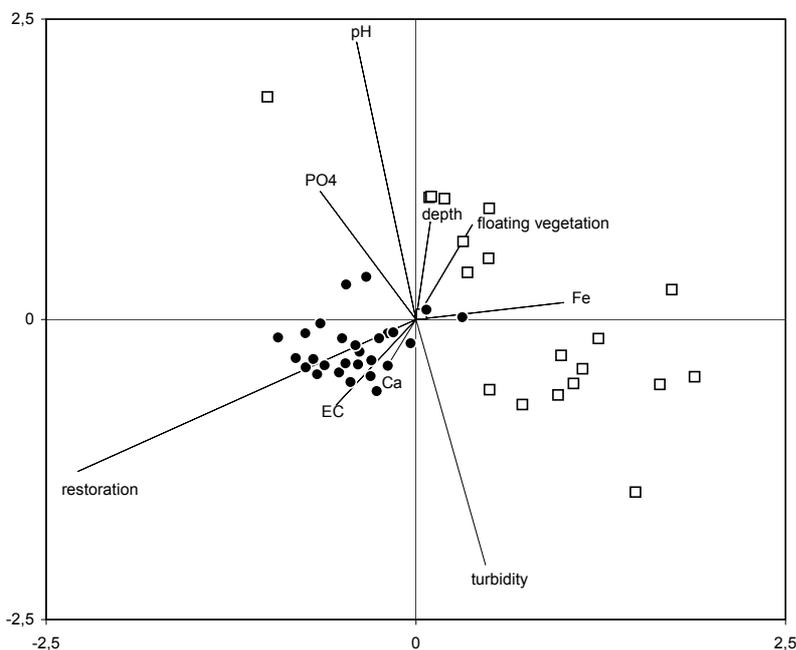


Figure 2. Correspondence Analysis Plot eines Untersuchungsortes basierend auf Präsenz/Absenz Daten von Makroinvertebratenarten. Signifikante Umweltvariablen werden als Linien dargestellt. Gefüllte Kreise repräsentieren wiedervernässte Beprobungsorte und offene Quadrate nicht wiedervernässte Beprobungsorte in Niederländischen Hochmoorschutzgebieten.

Correspondence Analysis plot of sampling sites based on presence/absence data of macroinvertebrate species. Significant environmental variables are shown as lines. Filled circles represent rewetted sites and open squares represent (not rewetted) sites in Dutch bog reserves.

Wiederbesiedlung

Aquatische Makroinvertebraten, die charakteristisch für Hochmoore sind, wachsen gewöhnlich sehr langsam und sind sehr tolerant gegenüber Trockenheit und saurem Milieu. Aufgrund ihrer hohen Toleranz konnten sie in degradierten Restmooren überdauern und den langsamen Prozess der Degradierung überleben. Jedoch sind diese charakteristischen Hochmoorarten anscheinend nicht fähig, die schnelle, großräumige Wiedervernässung der Gebiete während der Renaturierung und die darauf

folgende niedrigere Habitatdiversität zu bewältigen. Zusätzlich sind sie für gewöhnlich nicht fähig oder nicht geneigt dazu, sich über weite Distanzen auszubreiten. Zum Beispiel haben einige Käfer ihre Flügelmuskeln reduziert oder nicht mehr funktionierende Flügel. Diese haben ihre heutige Verbreitung in historischer Zeit etabliert als noch mehr Feuchtgebiete existierten (Jackson, 1955). Der beträchtliche Verlust geeigneter Habitate und die Zerschneidung verbleibender Hochmoore kann die Besiedlungsraten Hochmoor assoziierter Makroinvertebraten zusätzlich reduziert haben. In unser vergleichenden Studie sind viele seltene und charakteristische Arten in den wiedervernässten Beprobungsorten nach 30 Jahren immer noch abwesend, obwohl Quellpopulationen in der Nähe vorhanden sind, manchmal sogar in demgleichen Restmoor. Dies lässt sich auf die zuvor genannte geringe Ausbreitungskapazität von charakteristischen Arten zurückführen oder mehr alarmierend, auf eine unvollständige Wiederherstellung der von den Arten benötigten Umweltbedingungen.

Im Gegensatz zu aquatischen Makroinvertebraten, unterschied sich die Artenzusammensetzung und Artenvielfalt von Mikrokrustaceen und Rotiferen (einschließlich Moor-assoziierte Arten) nicht zwischen wiedervernässten und nicht wiedervernässten Niederländischen Beprobungsorten in Restmooren (Figure 3; Van Duinen *et al.* 2006). Da Mikroinvertebraten einen weniger komplexen Lebenszyklus besitzen, stellen sie weniger hohe Ansprüche an ihre Umwelt (z.B. in Bezug auf die Vegetationsstruktur oder Kombination von Habitatelementen). Zusätzlich können hohe (passive) Ausbreitungsraten von Mikrokrustaceen und Rotiferen (leicht durch Wind verbreitet) die Unterschiede in der Reaktion von Makro- und Mikroinvertebraten erklären.

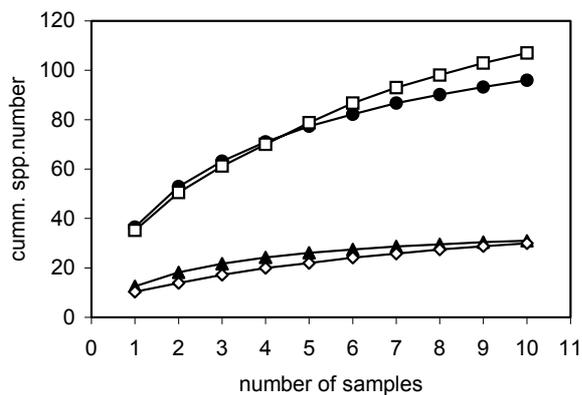


Figure 3.

Kumulative Artenvielfalt-Kurven für alle Arten und für Charakterarten der Mikroinvertebraten in wiedervernässten und nicht wiedervernässten Beprobungsorten in Niederländischen Hochmooren. Die Kurven entsprechen dem Mittelwert aus einer 250-fachen zufällig gewählten Reihenfolge der Beprobungsorte.

Cumulative species richness curves for all species and for characteristic species of microinvertebrates in rewetted and not rewetted remnant sites in Dutch bog reserves. The curves are composed of averages of 250 random sorts of the sampling sites.

Die Bedeutung der Landschaftsheterogenität

Intakte Hochmoorlandschaften besitzen eine hohe Landschaftsheterogenität mit Übergangsmooren und Lagg-Zonen (Wheeler & Proctor, 2000; Succow & Joosten, 2001; Schouten, 2002). Sogar im Hochmoorzentrum gibt es sehr große Unterschiede in der Größe und Tiefe der Tümpel, der

Vegetationsstruktur, dem Wasserfluss und Nährstoffverfügbarkeit (Smits *et al.*, 2002). Eine Untersuchung in dem Estnischen Hochmoor Nigula zeigte, dass diese Unterschiede, sowohl innerhalb der Landschaft als auch des Hochmoorzentrums, von den anwesenden Arten genutzt wurden. Charakteristische Moorarten kamen nicht irgendwo im Moor vor, sondern zeigten ein ausgeprägtes Verteilungsmuster. Bestimmte Charakterarten bevorzugten Orte mit höherer Nährstoffverfügbarkeit (Smits *et al.*, 2002), wohingegen andere sich selektiv in temporären Gewässern fortpflanzten (Van Duinen *et al.*, 2004). Schwach-minerotrophe, hydrologisch stabile Übergänge beherbergten viele charakteristische Arten (Figure 4). Obwohl die gemittelte Gesamtartenzahl pro Gewässer im Estnischen Hochmoor geringer war als in Niederländischen Restmooren, war die kumulative Artenkurve sehr steil, was auf eine hohe beta-Diversität in intakten Hochmoorsystemen schließen lässt (Van Duinen *et al.*, 2002).



Figure 4.

Weibchen der Arktischen Smaraglibelle (*Somatochlora arctica*) kurz nach der Häutung. Für ihre Entwicklung der Larve, was bis zu fünf Jahre dauern kann, wählt diese Art typischerweise sehr flache Kleinstgewässer mit einem leichten Durchströmung von Wasser aus, was zu stabilen Feuchtigkeitsbedingungen führt. Adulte Tiere bevorzugen offene Gebiete umgeben von Bäumen. Diese Fortpflanzungsgewässer befinden sich für gewöhnlich in Übergangsmooren am Rande von Hochmoorzentren (Foto: W.C.E.P. Verberk).

Female of the Northern emerald just after ecdysis (*Somatochlora arctica*). For its larval development, which can take up to 5 years, this species typically selects very shallow puddles, with a slight water flow, resulting in a stable watertable. Adults prefer open areas surrounded by trees. These reproduction waters are usually situated at the edges of the bog centre within transitional mires.

Implikationen für den Schutz und die Renaturierung

Der Schutz von aquatischen Makroinvertebraten verlangt, dass ein zeitweiser oder ausdauernder Verlust von Gewässern oder schnelle Veränderungen in der räumlichen Zusammensetzung vermieden werden (wie es auch schon gefordert wurde von Van Duinen *et al.*, 2003). In Naturschutzgebieten mit hohem ökologischen Wert, sollten sich der Renaturierungsstrategie zu allererst auf den *Schutz* von aquatischen Makroinvertebraten und die Landschaftsheterogenität konzentrieren. Die zweite Priorität sollte die *Stärkung* der Landschaftsheterogenität durch die Verbesserung der Qualität verschiedener Teile der Landschaft (Hochmoorzentren, Lagg-Zonen und Übergangsmoore) und ihre Übergänge sein. Die Verbesserung der Wachstumsbedingungen für *Sphagnum*-Arten ist nur eines der Ziele, obgleich ein sehr wichtiges auf *lange Sicht*, um die Akrotelmschicht und damit die interne Hydrologie zu verbessern. Auf *kurze Sicht* ist der Schutz von bestehenden Naturwerten und die Verbesserung ihrer Situation wichtig, welches durch die langsame Wiederbesiedlung betont wird. Da kalkreiches Grundwasser auch das Wachstum von *Sphagnum* verbessern kann (Lamers *et al.*, 1999), können diese Ziele mit einbezogen werden, wenn die Maßnahmen bezwecken, die regionale Hydrologie zu verbessern. Diese Managementziele können durch Maßnahmen außerhalb des Schutzgebietes erreicht werden wie z.B. durch die Reduzierung der Entwässerung (Füllen von Gräben) und die Infiltrationszunahme (Fällen von Bäumen). Sollten interne Maßnahmen immer noch notwendig sein, sollten die Veränderungen durch Pflegemaßnahmen langsam und reversibel durchgeführt werden, so dass Arten sich langsam neu verteilen und verbreiten können (Van Duinen *et al.*, 2004). Zusätzlich kann die zeitlich versetzte Umsetzung von Maßnahmen, die Veränderung von nur kleinen Teilflächen an einem Zeitpunkt lokalen Populationen erlauben, sich von der Störung zu erholen oder die Teilflächen von nah gelegene, unveränderte Flächen aus wieder zu besiedeln. Zusammenfassend betrachtet sollten sich Renaturierungsmaßnahmen auf eine graduelle Verbesserung der Wachstumsverbindungen für *Sphagnum* richten und auf die Zunahme der Landschaftsheterogenität. Dieses benötigt einen stärkeren Fokus auf die Raumeinheit Landschaft in Moor-Renaturierungsprojekten.

Maßgeschneiderte Lösungen

Restmoore unterscheiden sich in ihrer geomorphologischen Ausstattung, Grösse des Restgebietes, Torfnutzungsgeschichte, und bedürfen deswegen maßgeschneiderter Lösungen. Welche grundlegenden Inventarisierungen sind notwendig, um die momentane Artenvielfalt, die Schlüsselprozesse von Ökosystemfunktionen und Faktoren, die den Erfolg der Renaturierung limitieren, abschätzen zu können? Wie können die Informationen aus verschiedenen Disziplinen (Hydrologie, Biogeochemie, Vegetations- und Tierökologie) für ein spezifisches Projektgebiet zusammengefasst werden, um eine optimale Restaurierungsstrategie zu entwickeln? Wie können Ergebnisse aus Monitoring und aus der Reaktionen der Arten auf Restaurierungsmaßnahmen als ein Instrument benutzt werden, um Maßnahmen feiner abzustimmen? Im Rahmen eines LIFE Nature Co-op Projektes "Dissemination of ecological knowledge and practical experiences for sound planning and management in raised bogs and sea dunes" wurden zwei Workshops organisiert, um internationalen Austausch zwischen Experten zu fördern und Naturschutz- und Renaturierungsmaßnahmen zu optimieren. Auf Allgemeinwissen und Erfahrungen basierend wurde der PROMME-Ansatz von den Teilnehmern der Workshops als ein praktisches Rahmenkonzept für den Aufbau von Restaurierungsprojekten ausgewählt. PROMME beabsichtigt die „Stolperfallen“ in Restaurierungsprojekten zu eliminieren. Dieses Entscheidungsfindungssystem ist frei im Internet auf der Website des LIFE Co-op Projektes: www.barger.science.ru.nl/life erhältlich und wird eingehender beschrieben und illustriert von Brouwer *et al.* (2005).

Literatur

- Brouwer, E., G.A. van Duinen, M.N. Nijssen & H. Esselink (2005) Development of a decision support system for LIFE-Nature and similar projects: from trial-and-error to knowledge based nature management. In: Herrier, J.-L., J. Mees, A. Salman, J. Seys, H. van Nieuwenhuysse & I. Dobbelaere (Eds.) Proceedings "Dunes and Estuaries 2005" – *International Conference on Nature Restoration Practices in European Coastal Habitats*, Koksijde, Belgium, 19-23 September 2005. VLIZ Special Publication 19, xiv + 685 pp.
- Jackson, D.J. (1955) Observations of flying and flightless water beetles. *Journal of the Linnean Society of Zoology London* 43: 18-42.
- Lamers, L.P.M., C. Farhoush, J.M. Van Groenendael & J.G.M. Roelofs (1999) Calcareous groundwater raises bogs; the concept of ombrotrophy revisited. *Journal of Ecology* 87: 639-648.
- Schouten, M.G.C. (Ed.) (2002). *Conservation and restoration of raised bogs - Geological, hydrological and ecological studies*. Dúchas - The Heritage Service of the Department of the Environment and Local Government, Ireland; Staatsbosbeheer, the Netherlands; Geological Survey of Ireland; Dublin
- Smits, M.J.A., G.A. van Duinen, J.G. Bosman, A.M.T. Brock, J. Javois, J.T. Kuper, T.M.J. Peeters, M.A.J. Peters & H. Esselink, (2002) Species richness in a species poor system: aquatic macroinvertebrates of Nigularaba, an intact raised bog system in Estonia. In: G. Schmilewski & L. Rochefort (Eds.) *Proceedings of the International Peat Symposium - Peat in Horticulture - Quality and Environmental Changes* pp 283-291.
- Succow, M. & H. Joosten (2001) *Landschaftsökologische Moorkunde*. E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 622 pp.
- Van Duinen, G.A., A.M.T. Brock, J.T. Kuper, T.M.J. Peeters, M.J.A. Smits, W.C.E.P. Verberk & H. Esselink (2002) Important keys to successful restoration of characteristic aquatic macroinvertebrate fauna of raised bogs. *Proceedings of the International Peat Symposium*, Pärnu, Estonia 3-6 september: pg 292-302.
- Van Duinen G.A., A.M.T. Brock, J.T. Kuper, R.S.E.W. Leuven, T.M.J. Peeters, J.G.M. Roelofs, G. van der Velde, W.C.E.P. Verberk & H. Esselink (2003) Do restoration measures rehabilitate fauna diversity in raised bogs? A comparative study on aquatic macroinvertebrates. *Wetlands Ecology and Management* 11: 447-459.
- Van Duinen, G.A., A. Dees & H. Esselink (2004) Importance of permanent and temporary water bodies for aquatic beetles in the raised bog remnant Wierdense Veld. *Proceedings Experimental and Applied Entomology*, 15, 15-20.
- Van Duinen G.A., Y. Zhuge, W.C.E.P. Verberk, A.M.T. Brock, H.H. van Kleef, R.S.E.W. Leuven, G. van der Velde & H. Esselink (2006) Effects of rewetting measures in Dutch raised bog remnants on assemblages of aquatic Rotifera and microcrustaceans. *Hydrobiologia* 565: 187-200.
- Verberk W.C.E.P., G.A. van Duinen, A.M.T. Brock, R.S.E.W. Leuven, H. Sipel, P.F.M. Verdonschot, G. van der Velde & H. Esselink (2006a) Importance of landscape heterogeneity for the conservation of aquatic macroinvertebrate diversity in bog landscapes. *Journal for Nature Conservation* 14: 78-90.
- Verberk, W.C.E.P., J.T. Kuper, G.A. van Duinen & H. Esselink (2006b) Changes in macroinvertebrate richness and diversity following large scale rewetting measures in a heterogeneous bog landscape. *Proceedings Experimental and Applied Entomology*, 17: 27-36.
- Wheeler, B.D., & M.C.F. Proctor (2000) Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. *Journal of Ecology*, 88, 187-203.