

Oligotrophie in einer eutrophen Umwelt: Zur synsystematischen Umgrenzung und standörtlichen Gefährdung sand-oligotropher Quellfluren im Teutoburger Wald (NW-Deutschland)

William POLLMANN und Jürgen LETHMATE

2 Abbildungen und 8 Tabellen

ABSTRACT

POLLMANN, W.; LETHMATE, J.: Oligotrophy in an eutrophic environment: On the synsystematical definition and nature conservation of sand-oligotrophic spring vegetation in the Teutoburger Wald, NW Germany. – *Hercynia N.F.* 35 (2002): 157-179.

The phytosociology and habitat ecology of spring vegetation were investigated in the Riesenbecker Osning (NW Germany). Concerning nutrient support and chemical water characteristics, most spring vegetation belongs to oligotrophic and weak productive communities. In the territory four communities were distinguished; *Caricetum fuscae*, *Juncus acutiflorus*-community, *Molinia caerulea*-*Betula pubescens*-community and *Carici elongatae*-*Alnetum*, and their characteristics were described. In the weakly buffered and atmospheric polluted Riesenbecker Osning, this study fills the gap in the contemporary treatment of defining vegetation types, indicating atmospheric nitrogen eutrophication and endangering of amphibic zones in relation to critical loads.

The sand-oligotrophic *Caricetum fuscae* contains several differential species together with the *Molinia caerulea*-*Betula pubescens*-community, and, for the first time, can be differentiated as the subassociation of *Polytrichum commune* in Northwest Germany. The *Juncus acutiflorus*-unit describes a dominant community in the Caricion alliance that lacks several *Sphagnum* species. *Molinia*-*Betula* swamp forests rich in bog mosses are established when draining has created sites for tree growth. In contrast to this the establishment of alder (*Alnus glutinosa*) forests is dependent on soils that are characterized by a higher nutrient content of the groundwater and a higher pH-value. Generally in mesotrophic habitats, alder forests are found in a *Sphagnum*-rich community with *Carex acutiformis*.

Chemical analyses of spring waters evaluated low pH-values in combination with high loads of nitrogen, sulfate, light and heavy metals (e.g., 29.3 mg NO₃⁻ l⁻¹, 38.1 mg SO₄²⁻ l⁻¹, 5.6 mg Al³⁺ l⁻¹, 110.0 µg Pb²⁺ l⁻¹). A decline in the oligotrophic vegetation and an increase in more nitrogen-dependent species have been observed. Accordingly, a loss in species diversity could be shown, and *Sphagnum* species have been replaced by more nitrophilous species. Depression of the groundwater level and melioration, and eutrophication of the habitats seem to be the main causes that endanger the Caricion-communities. The *Caricetum fuscae* polytrichetosum rich in *Sphagnum* species that is growing on flooded, acid and peaty sites is especially endangered by raised atmospheric nitrogen deposition. Losses in diversity, documented for spring vegetation in South Germany after acidification and atmospheric pollution, could also be observed in the Riesenbecker Osning towards uniform dominant communities.

In the Riesenbecker Osning, this study of sand-oligotrophic habitats forms the basis for a monitoring system for a spatial evaluation of environmental impacts in relation to critical loads. Comparative studies in exactly localised sites may document future changes in water chemistry by changes in species composition.

Keywords: Sand-oligotrophy, fen vegetation, diversity, *Sphagnum*, atmospheric pollution, acidification, nitrogen deposition, critical loads, NW Germany.

1 EINLEITUNG

Quellfluren basenarmer und bodensaurer Standorte zeichnen sich besonders durch ihre Nährstoffarmut ('Sand-Oligotrophie') aus, die sich in Flora und Vegetation widerspiegelt (POTT et REMY 2000, DIERBEN et DIERBEN 2001). Kleinseggensümpfe (u.a. mit *Carex nigra*, *C. echinata*, *Sphagnum* spp.) werden in die Niedermoor- und Hochmoorschlenken-Gesellschaften der Scheuchzerio-Caricetea nigrae (Nordh. 1936) Tx. 1937 gestellt; Birkenbrücher werden floristisch-soziologisch in die Klasse Vaccinio-Piceetea Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 (Boreal-subalpine Nadelwälder, Birkenbruch- und Kiefernwälder) eingeordnet (RUNGE 1994, POTT 1995, ELLENBERG 1996). Insbesondere waldfreie sand-oligotrophe Quellmoore mit ihrer sich überwiegend aus Moosen (v.a. Torfmoose) und niedrigwüchsigen Sauergräsern zusammensetzenden Vegetation sind durch die Intensivierung der Landwirtschaft der vergangenen Jahrzehnte in Nordwest-Deutschland sehr selten geworden und von vollständiger Vernichtung bedroht (RIECKEN et al. 1994). Sie gehören zu den als hochgradig gefährdet eingestuften Biotoptypen (VERBÜCHELN et al. 1995).

Die vorliegende Arbeit behandelt Quellfluren auf silikatischem Ausgangsgestein der Unteren Kreide im Riesenbecker Osning (Nordwestlicher Teutoburger Wald). Im Vergleich zur Kenntnis der floristischen Ausstattung von Quellfluren und Feuchtwäldern insgesamt (u.a. WITTIG 1980, HINTERLANG 1992, ELLENBERG 1996, MAST 1999), wissen wir bis heute noch wenig über die natürliche Flora und Vegetation, die Verbreitung und Gefährdung dieser Biotoptypen im Riesenbecker Osning. Frühere Arbeiten geben meist nur punktuelle Daten einzelner Arten und ihrer Verbreitung (LIENENBECKER et LINDENSCHMIDT 1986, SCHMIDT 1992, WÄCHTER 1994). Syntaxonomische Untersuchungen der Quellfluren liegen für den Riesenbecker Osning nicht vor. Die bisherigen Befunde zur floristischen Ausstattung in standörtlich vergleichbaren Gebieten (u.a. WITTIG 1980, POTT 1983) und die Lage auf bodensaurem, nährstoffarmen Substrat weisen darauf hin, daß es sich im Untersuchungsgebiet um sand-oligotrophe bis dystrophe Moore handelt, die von einer zunehmenden Eutrophierung betroffen sind (PUST et POTT 1998).

Der Riesenbecker Osning markiert den nordwestlichen Ausläufer des herzynisch streichenden Teutoburger Waldes. Er stellt die erste Wetterbarriere für die mit vorherrschend südwestlichen Winden herans transportierten atlantischen Luftmassen dar. Zur immissionsökologischen Besonderheit (und Belastung) des Untersuchungsgebietes zählt die Lage im nordrhein-westfälischen Gülle-Belt (LETHMATE et al. 2002). Die daraus resultierenden hohen Stickstoff- und Schadstoffdepositionen stellen eine unmittelbare Gefährdung für oligo- und mesotrophe Ökosysteme in diesem Gebiet dar (vgl. BOBBINK et al. 1998, WERNER et al. 1999).

Ziel dieser Studie ist, die reliktsch noch vorhandenen sand-oligotrophen Quellflurstandorte des Riesenbecker Osning syntaxonomisch zu umgrenzen und in ihrer standörtlichen Gefährdung einzuordnen. Auf der Basis der bis heute erhalten gebliebenen, relativ ungestörten Quellmoore und Feuchtwälder wird dazu eine floristisch-soziologische Charakterisierung vorgelegt. An Hand der Verbreitung der *Sphagnum*- und anderer oligotropher Arten wird dann die Trophiedifferenzierung für die Quellfluren des Gebietes abgeleitet. Diese Ergebnisse werden mit Daten zur Gewässerversauerung und zu Stoffeinträgen im Untersuchungsgebiet (u.a. LETHMATE et SCHNEIDER 2001a, LETHMATE et al. 2002) in Beziehung gesetzt, um anschließend die aktuelle Gefährdung dieser Biotope (z.B. durch atmosphärische Depositionen) im Kontext kritischer Belastungsgrenzen ('Critical Loads', u.a. WERNER et al. 1999) zu bewerten.

2 UNTERSUCHUNGSGBIET

Die Untersuchungen wurden an Quellfluren im nordwestlichen Teutoburger Wald ('Riesenbecker Osning', Abb. 1) auf Schichten der Unterkreide durchgeführt. Die Gravenhorster und Dörenther Sandsteine bilden im Riesenbecker Osning die herzynisch streichenden Hauptrippen des Teutoburger Waldes (KELLER 1952, HENDRICKS et SPEEZEN 1983, THIERMANN 1970). Die tektonische Entwicklung des Teutoburger Waldes begann im Oberen Jura/Malm (jungkimmerische Phase) und setzte sich im Tertiär (subherzyne

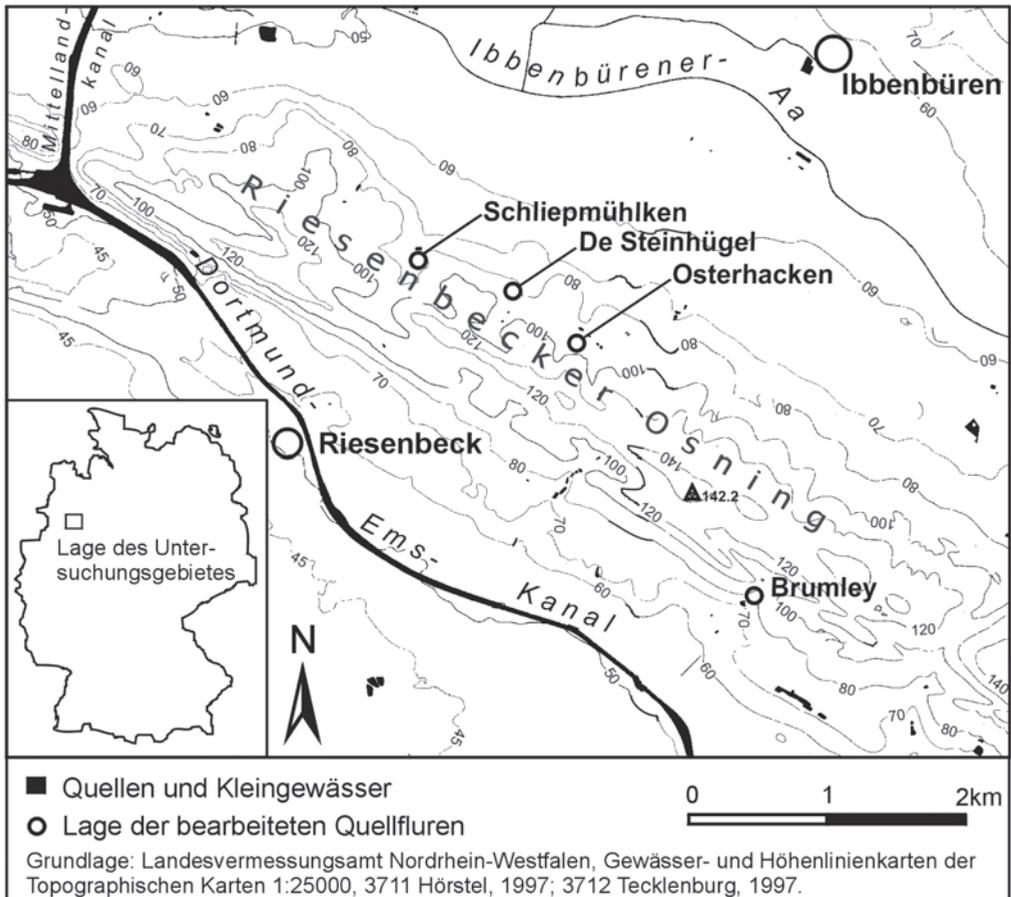


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes in Nordwest-Deutschland

Phase) fort (FIEDLER 1984). Im Quartär (Saale-Eiszeit) wurde das Gebiet glazigen überprägt (SPEETZEN 1993); während der Weichsel-Eiszeit wurde zudem Flugsand abgelagert (HINZE et MEYER 1984). Auf den harten Schichten des Osning-Sandsteins entwickelten sich autochtone, bodensaure Braunerden. Jahrhundertelange Verheidung prägte die Nutzungsgeschichte in Nordwest-Deutschland mit der Folge sekundärer Podsolierung der ursprünglichen, basenarmen Böden (POLLMANN et LETHMATE 2003). Die Podsole im Kamm- und Hangbereich des Riesensicker Osning sind heute stark sauer, sehr basenarm und befinden sich durchweg im Aluminium-Pufferbereich. Der Mineralboden ist nährstoffarm, jedoch enthalten die organischen Auflagen (Of- und Oh-Horizonte) Stickstoff-Vorräte von $> 2000 \text{ kg ha}^{-1}$ (POLLMANN et LETHMATE 2003).

Die Niederschläge des nordwestlichen Teutoburger Waldes betragen etwa 850 mm a^{-1} und liegen um etwa 100 mm höher als in der Umgebung. Das Klima ist atlantisch geprägt mit milden Wintern und kühlen Sommern. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt $9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (SEEDORF et MEYER 1992). Als potentielle natürliche Vegetation wird für das Gebiet der bodensaure Drahtschmielen-Buchenwald (*Deschampsio flexuosae*-Fagetum Schröder 1938) genannt (POLLMANN et LETHMATE 2003). Am Nord- und Südhang des Riesensicker Osning entspringen zahlreiche Waldquellen (Abb. 1). Nach Art des Wasseraustritts handelt es sich meist um Fließquellen. Die Quellmulden sind mit Torfmoosen (*Sphagnum* spp.) bewach-

sen; die Quellbäche münden auf Dörenther und Gravenhorster Sandsteinen in Birkenbrüche und auf sandigen Tonsteinen des Apt in Erlenbruchwälder (vgl. KELLER 1952). Insgesamt wird das kleinflächige Vorkommen der Quellmoore und -bäche durch anthropogene Einflüsse immer mehr eingeengt (LIENENBECKER et LINDENSCHMIDT 1986).

Das Untersuchungsgebiet mit potentiell natürlichen bodensauren Buchenwäldern (Sandsteinzug) ordnet sich in den reich ausgestatteten Naturraum 'Nordwestlicher Teutoburger Wald' ein (u.a. besondere Kryptogamenflora auf Silikatfelsen (Osning), Verbreitungsgrenze der Kalk-Trockenrasen und anspruchsvolleren Buchenwälder in Nordwest-Deutschland (Kalksteinzug); vgl. u.a. POLLMANN 2000, 2001, SOLGA 2000, POLLMANN et LETHMATE 2003), der als Flora-Fauna-Habitat-Gebiet von großer biogeographischer Bedeutung ist. Aus ökosystemarer Sicht sind nicht nur terrestrische, sondern auch semiterrestrische Lebensraumtypen zu betrachten, zu denen im Untersuchungsgebiet die zahlreichen sand-oligotrophen Quellfluren (Quellmoore, Kleinseggenriede, Birkenbrüche) gehören. In den Quellfluren werden stark gefährdete Arten (u.a. *Narthecium ossifragum*, *Carex nigra*, *Myrica gale*, *Sphagnum* spp.) nachgewiesen (LIENENBECKER et LINDENSCHMIDT 1986), die aufgrund ihrer Seltenheit und ihres regionalen Rote Liste-Status die Schutzwürdigkeit dieser nährstoffarmen Biotope in Nordwest-Deutschland unterstreichen. Aktuell werden jedoch für das Untersuchungsgebiet sehr hohe Stickstoff- und Schadstoffeinträge (z.B. $> 30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) angegeben (LETHMATE et WENDELER 2000, LETHMATE et al. 2002). Vor dem Hintergrund der extremen Eutrophierung und Schadstoffbelastung des oligotrophen Lebensraumes Riesenbecker Osning ist eine Risikoabschätzung der Gefährdung der bis heute erhalten gebliebenen Quellfluren ('oligotrophe Relikte in einer eutrophen Umwelt') unbedingt erforderlich (BOBBINK et al. 1998, zuletzt WERNER et al. 1999).

3 METHODE

Die Untersuchungen wurden an folgende Quellfluren durchgeführt (Abb. 1):

- (1) 'Osterhacken': N-Hang Birgter Berg, DGK Schierloh Süd, R ³⁴0865, H ⁵⁷9330, 112-90 m ü.NN;
- (2) 'De Steinhügel': N-Hang Birgter Berg, DGK Schierloh Süd, R ³⁴0845, H ⁵⁷9345, 94-82 m ü.NN;
- (3) 'Schliepmühlken': NO-Hang Riesenbecker Berg, DGK Gravenhorst, R ³⁴0735, H ⁵⁷9415, 80-75 m ü.NN und
- (4) 'Brumleytal': S-Hang Dreihäsenstein, DGK Birgte, R ³⁴0985, H ⁵⁷9175, 85 m ü.NN.

Vegetationsaufnahmen wurden nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964, vgl. DIERSCHKE 1994) angefertigt. Verwendet wird die kombinierte Dominanz-Abundanz-Werteskala nach REICHELTE et WILMANN'S (1973). Die Vegetationsaufnahmeflächen wurden so ausgewählt, daß sie das typische Gesamtbild der einzelnen Vegetationsaspekte widerspiegeln. Die Flächengröße richtet sich nach den für Mitteleuropa ermittelten Erfahrungswerten und schwankte je nach Biotoptyp zwischen 6 m² für Quellmoore und 100 m² in den Erlen- bzw. Birkenbruchwäldern (vgl. DIERSCHKE 1994). Für den syntaxonomischen Vergleich erfolgte eine Stetigkeitseinteilung nach BERGMEIER et al. (1990). Die Nomenklatur der höheren Pflanzen folgt WEBER (1995), die der Moose FRAHM et FREY (1992). Zur Determination der Torfmoose wurde zusätzlich die Flora nach MILL (1978) verwendet. Die Zuordnung zu Assoziationen und Gesellschaften des pflanzensoziologischen Systems und Einordnung in die höhere Syntaxonomie folgt RUNGE (1994), POTT (1995) und WEBER (1995).

An zwei Transekten (Standort A 'Osterhacken': 290 m Länge; Standort B 'De Steinhügel': 190 m Länge) wurde entlang des Reliefgradienten das Vorkommen und die Verbreitung der Torfmoose (*Sphagnum* spp.) in den Quellmooren/-bächen untersucht. Diese *Sphagnum*-Transekte wurden einheitlich an Fließquellen über Schichten des Dörenther Sandsteins durchgeführt, auf denen sich Anmoorgley-Böden mit einer Torfschicht zwischen 10 cm bis > 50 cm ausgebildet haben.

Die Bewertung der ökologischen Belastungsgrenzen der untersuchten Biotope folgte den Critical Loads & Levels bei WERNER et al. (1999). Zur Situation der N-Depositionen im Gebiet liegen Eintragsdaten

über einen längeren Meßzeitraum (1997-2000) von LETHMATE et WENDELER (2000) und LETHMATE et al. (2002) vor. Die Gefährdung des Gebietes durch Gewässerversauerung ist hydrochemisch von LETHMATE et SCHNEIDER (2001a, 2001b) vor dem Hintergrund langzeitiger Immissionsbelastungen und aktueller Standortbedingungen im Riesenbecker Osning dargestellt worden. Auf die ökologischen Messungen in den genannten Quellen wird in der Auswertung der in dieser Studie erhobenen geobotanischen Daten zurückgegriffen.

4 ERGEBNISSE

4.1 Flora, Vegetation und Verbreitung

In den nordexponierten torfmoosreichen Quellfluren des Riesenbecker Osning finden sich zahlreiche Kleinseggen und geschlossene Bestände von Laub- und Torfmoosen (u.a. *Polytrichum commune*, *Sphagnum*-Torfmoose der Cuspidata- und Subsecunda-Gruppe, vgl. Tab. 1). Besonders auffällig ist die weite Verbreitung des 'Schlenkenmooses' *Sphagnum cuspidatum*. Weiterhin sind *S. denticulatum* und *S. inundatum* sowie *S. fallax* und *S. palustre* nachzuweisen. Kennzeichnend für etwas tiefer gelegene Quellbereiche sind Brauseggensümpfe mit *Carex nigra*, *C. echinata* und *Juncus acutiflorus*. Im mittleren Quellwasserbereich lassen sich von *J. acutiflorus* beherrschte Sumpfbinsenbestände nachweisen (Tab. 1). Auch die Verbandscharakterarten des Caricion fuscae (= *C. nigrae*) Koch 1926 em. Klika 1934 wie z.B. *Agrostis canina* s.str. und *Viola palustris* haben hier ihren Schwerpunkt. Als gute Differentialarten sicker- und staunasser Quellfluren können im Gebiet *Carex rostrata*, *Myrica gale* und zahlreiche Moose gelten. Als weitere Art nasser, stickstoffarmer, saurer und gern etwas wasserzügiger Torfböden in Quell- und Zwischenmoorbereichen ist *Narthecium ossifragum* in den Quellfluren des Untersuchungsgebietes nachzuweisen (vgl. LIENENBECKER et LINDENSCHMIDT 1986). Diese Art gilt als Kennart der Oxycocco-Sphagnetea Br.-Bl. et Tx. 1943.

Im Gebiet besiedelt *Juncus bulbosus* nasse, nährstoffarme, sandige oder torfige, saure Böden (Tab. 1). Diese nassen Quellwasserstandorte werden fast regelmäßig von *Molinia caerulea* und *Betula pubescens* begleitet. Letztlich finden sich in den Vegetationsaufnahmen vereinzelt auch Arten bodensaurer Laubwaldgesellschaften (wie des Quercion roboris Tx. 1931).

Die Ergebnisse der Transektuntersuchungen zu Vorkommen und Verbreitung der Torfmoosarten sind in Abbildung 2 dargestellt. Am Standort A ('Osterhaken') sind im Quellbereich *Sphagnum inundatum* und *S. denticulatum* nachzuweisen. Das Spektrum der Torfmoosarten verändert sich über *S. cuspidatum* und *S. fimbriatum* bis zu Massenvorkommen von *S. palustre* im Quellbach (Tab. 1, Abb. 2). Im Bereich der *Juncus acutiflorus*-Gesellschaft findet sich viel *S. fallax* mit wenig *S. palustre* und *S. denticulatum*. Die Kleinseggenriede (mit *Carex nigra* und *C. echinata*) werden im wesentlichen von *S. cuspidatum*, *S. denticulatum* und *S. fallax* bestimmt. Auffällig ist das Vorherrschen von *S. cuspidatum* (einem typischen Schlenkenmoos, vgl. DIERBEN et DIERBEN 2001), das in den tiefer gelegenen Quellmooren eine Artmächtigkeit von > 50 % aufweist.

Der Standort B ('De Steinhügel') zeichnet sich durch die weite Verbreitung von *Sphagnum palustre* und *S. fallax* aus (Abb. 2). Dabei ist *S. palustre* fast durchgehend vom Quellmoor bis zum *Carex rostrata*-Seggenried im unteren Quellmoorbereich verbreitet. *Sphagnum fallax* ist an 50 % der Aufnahmepunkte nachweisbar, fehlt aber den *Carex rostrata* dominierten Quellmooren. Weiterhin kommen hier auch *S. cuspidatum*, *S. inundatum* und *S. denticulatum* vor. *Sphagnum cuspidatum* und *S. inundatum* bilden die Mooschicht in den *C. rostrata*-Beständen; *Sphagnum denticulatum* verfügt über Dominanzbestände im Quellmoor des Kleinseggenrieds mit *Carex echinata* (Tab. 1).

In den tiefer gelegenen Quellbachbereichen ist im Untersuchungsgebiet darüber hinaus ein torfmoosreicher Birkenbruchwald mit dem Pfeifengras nachweisbar (Tab. 2). Auffallend ist und damit bestätigen sich Beobachtungen anderer Autoren (u.a. POTT 1995, ELLENBERG 1996), daß *M. caerulea* sich nur in den Birkenbrüchern mit geringerer Präsenz der charakteristischen Torfmoose, d.h. in entwässerten Beständen stärker ausbreitet. Unter einer lichten Baumschicht, der z.T. auch *Alnus glutinosa* beigemischt ist,

Tab. 1: Flora und Vegetation der Quellmoore (Caricion fuscae) im Riesenbecker Osning

I Caricion fuscae (= Caricion nigrae) Koch 1926 em. Klika 1934												
I.1 Caricetum fuscae Br.-Bl. 1915 (= Caricetum nigrae, Braunseggenesellschaft)												
I.2 <i>Juncus acutiflorus</i> -Gesellschaft (POTT 1995, Sumpf der Spitzblütigen Binse)												
Einheit	I.1	I.2	I.2	I.2	I.2							
Laufende Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Standort *	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A		
Höhe [m ü.NN]	93	90	91	92	86	90	88	83	94	96		
Exposition	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
Inklination [°]	1	-	-	-	-	2	-	1	2	2		
Struktur												
Höhe Baumschicht	10	-	12	10	-	12	-	12	-	-		
Deckung Baumschicht	3	-	10	3	-	10	-	10	-	-		
Höhe Strauchschicht	-	-	3,0	3,0	-	1,0	-	0,8	2,0	2,0		
Deckung Strauchschicht	-	-	10	10	-	2	-	1	2	10		
Höhe Krautschicht	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,6	0,6		
Deckung Krautschicht	60	15	2	15	10	40	60	60	80	70		
Höhe Moosschicht	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2		
Deckung Moosschicht	70	90	95	80	100	95	90	40	20	60		
Flächengröße	15	8	6	12	6	20	16	16	20	15		
Artenzahl	12	13	10	22	9	13	10	8	8	19		
Caricion fuscae (= Caricion nigrae)												
VC <i>Carex nigra</i>	.	2m	+	1	.	.	.	.	.	.
VC <i>Carex echinata</i>	1	.	.	.	2a	.	.	.	.	.
KC <i>Carex rostrata</i>	.	.	.	.	.	2a	4	4	.	.		
VC <i>Juncus acutiflorus</i>	1	2m	+	.	.	.	.	.	.	2b	2a	
DA Scheuchzerio-Caricetea nigrae												
<i>Narthecium ossifragum</i>	2a	.	.	2a	.	1	.	.	.	.
<i>Juncus bulbosus</i>	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	2m	
VC <i>Viola palustris</i>	1	.	.	2a	.	2a	.	.	2a	1		
VC <i>Agrostis canina</i>	.	1	r	1	.	2m	.	.	.	.
DA Betulion pubescentis												
<i>Molinia caerulea</i>	4	2a	.	2a	2a	2a	2a	.	4	4		
<i>Betula pubescens</i>	B	1	.	2a	+	.	2a	.	2a	.		
	St	.	.	.	.	.	.	.	r	.		
	Kr	r	+	.	.	.	.	.	.	.	r	
<i>Myrica gale</i>	St	.	.	r	r	.	.	.	.	.	.
	Kr	.	+	.	1	.	.	.	.	.	.
DA torfmoosreicher Ausbildungen												
<i>Polytrichum commune</i>	2a	3	2a	2a	.	2a	.	.	1	.		
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	4	4	4	3	.	.	5	.	2b	.		
<i>Sphagnum denticulatum</i>	.	4	3	.	5	.	.	.	.	2a		
<i>Sphagnum fallax</i>	.	.	.	4	.	5	.	.	.	4		
<i>Sphagnum palustre</i>	.	.	.	2a	2a	2b	2b	2a	.	2a		
<i>Sphagnum inundatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.		
DA Quercetalia roboris												
<i>Frangula alnus</i>	St	.	.	2a	2a	.	+	.	.	+	+	
	Kr	+	.	.	r	.	.	.	.	.	.
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Kr	+	.	.	+	.	1	.	.	.	.
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Kr	.	.	.	r	.	r	.	r	1	r	
<i>Quercus robur</i>	Kr	+	+	.	.	.	+	r	.	.	.	
Begleiter												
<i>Fagus sylvatica</i>	St	.	.	+	+	.	.	.	r	.	.	
<i>Juncus effusus</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1	2a	
<i>Quercus robur</i>	St	.	.	.	.	.	.	.	r	.	2a	
einmal vorkommende Arten: (Aufn./Artemächtigkeit)												
<i>Pinus sylvestris</i> 2/r; B 4/+									<i>Fagus sylvatica</i> 6/+			<i>Juncus conglomeratus</i> 10/1
<i>Pinus strobus</i> St 4/r									<i>Rubus fruticosus</i> agg. 7/1			<i>Scirpus sylvaticus</i> 10/+
<i>Glyceria fluitans</i> 4/+									<i>Dryopteris dilatata</i> 7/+			<i>Pinus sylvestris</i> 10/r
<i>Epilobium montanum</i> 5/r									<i>Pinus strobus</i> 7/r			<i>Sorbus aucuparia</i> St 10/r
<i>Urtica dioica</i> 5/r									<i>Alnus glutinosa</i> 8/+			

* A = Osterhacken; B = De Steinhügel

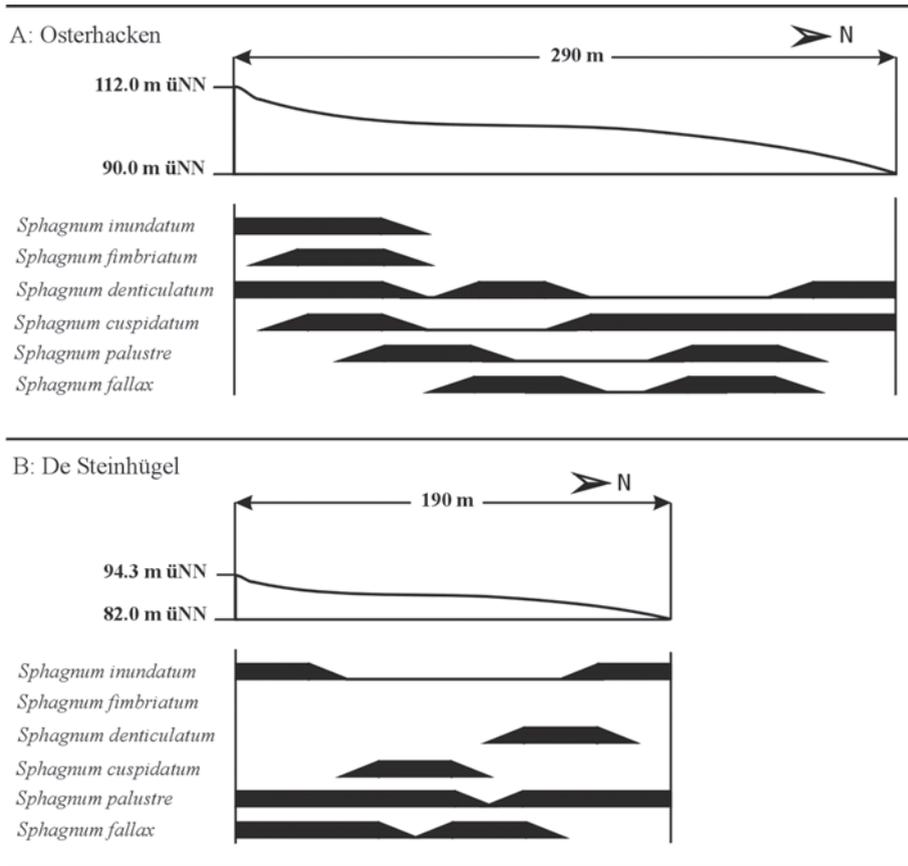


Abb. 2: Schematisches Artenprofil der Torfmoose (*Sphagnum* spp.) aus Transexterfassungen entlang des Reliefgradienten in zwei Quellfluren am Riesenbecker Osning/ Nordwestlicher Teutoburger Wald (A: Osterhacken; B: De Steinhügel)

finden sich wenige Sträucher (Tab. 2). Wie die Beimischung der Schwarzerle belegt, handelt es sich um Grenzstandorte des Birkenbruchs zu Erlenbruchwäldern oligo- bis mesotropher Nährstoffversorgung (vgl. POTT et REMY 2000). In der Krautschicht fehlen die Kleinseggen, jedoch sind *Viola palustris* und *Agrostis canina* vertreten. In den Birkenbrüchern gesellen sich verstärkt auch Arten der Quercetalia (z.B. *Vaccinium myrtillus*, *Dryopteris carthusiana*, *Sorbus aucuparia*) zu den Arten frisch bis nasser, nährstoffarmer und meist saurer Böden hinzu. Zudem sind *Polytrichum commune* und Torfmoose in der Mooschicht vertreten; *Sphagnum palustre* und *S. fallax* dominieren. Als besondere Torfmoose können *S. fimbriatum* und *S. subnitens* nachgewiesen werden (Tab. 2). Torfmoose der zuvor beschriebenen gehöhlzfreien bis -armen Quellmoore wie *S. cuspidatum* und *S. denticulatum* fehlen.

Birkenbruchwälder können sich immer dann etablieren, wenn Entwässerungen noch gerade waldfähige Grenzstandorte entstehen ließen. In allen Aufnahmeflächen ist ein deutliches Kleinrelief entwässerter Torfböden und tief ausgehobener Entwässerungsgräben ausgebildet. Auch das Quellmoor am Standort 'De Steinhügel' (vgl. Tab. 2) ist heute teilentwässert und von *B. pubescens* bestanden; dennoch weist die Mooschicht mit *Sphagnum fallax* eine fast 100 %ige Deckung auf. Der *S. palustre*-reiche Birkenbruchwald am Standort 'Schliepmühlken' (vgl. Tab. 2) dürfte über die längste Zeit des Jahres von Wasser

Tab. 2: Flora und Vegetation der Birkenbrücher (*Betulion pubescentis*)

II <i>Molinia caerulea</i> - <i>Betula pubescens</i> -Gesellschaft (WITTIG 1980)					
Einheit		II	II	II	II
Laufende Nummer		1	2	3	4 5
Standort *		B	B	C	C C
Höhe [m ü.NN]		92	86	76	77 76
Exposition		N	N	N	NE NE
Inklination [°]		2	-	-	1 -
Struktur					
Höhe Baumschicht		15	15	12	15 14
Deckung Baumschicht		30	10	30	20 30
Höhe Baumschicht 2		-	-	8	9 8
Deckung Baumschicht 2		-	-	5	10 5
Höhe Strauchschicht		4,0	4,0	1,2	1,8 0,8
Deckung Strauchschicht		1	15	3	5 1
Höhe Krautschicht		0,3	0,4	0,4	0,4 0,4
Deckung Krautschicht		2	80	80	40 10
Höhe Mooschicht		0,1	0,1	0,1	0,1 0,2
Deckung Mooschicht		100	10	30	40 80
Flächengröße		12	20	50	100 20
Artenzahl		14	16	13	22 15
DA <i>Betulion pubescentis</i>					
<i>Molinia caerulea</i>	Kr	1	3	5	3 2a
<i>Betula pubescens</i>	B	3	2a	2b	2b 2a
	B2	.	.	+	2a +
	St	+	.	.	.
	Kr	.	+	.	+ r
<i>Myrica gale</i>	St	.	.	+	. 1
	Kr	.	.	1	.
DA torfmoosreicher Ausbildungen					
<i>Polytrichum commune</i>		2b	1	2a	1 1
<i>Sphagnum fallax</i>		4	2a	.	. 2a
<i>Sphagnum palustre</i>		2b	.	3	3 5
<i>Sphagnum inundatum</i>		2a	.	.	.
<i>Sphagnum fimbriatum</i>		.	.	2a	.
<i>Sphagnum subnitens</i>		.	.	2a	.
Alnion glutinosae					
<i>Alnus glutinosa</i>	B	.	.	2b	2a 2b
	B2	.	.	1	. 1
	St	.	.	r	+ +
	Kr	.	.	.	r .
<i>Carex remota</i>		.	.	.	1 .
DA Scheuchzerio-Caricetea nigrae					
VC <i>Viola palustris</i>		1	.	.	. 1
VC <i>Agrostis canina</i>		2m	1	.	1 1
DA Quercetalia roboris					
<i>Vaccinium myrtillus</i>		+	2a	.	+ .
<i>Dryopteris carthusiana</i>		+	+	.	+ .
<i>Frangula alnus</i>	St	.	+	+	+ .
<i>Quercus robur</i>		.	+	.	r .
<i>Sorbus aucuparia</i>	St	.	2a	.	. .
		.	r	.	+ .
<i>Hypnum cupressiforme</i>		.	1	.	1 .
<i>Dicranum scoparium</i>		.	.	1	. 1
Begleiter					
<i>Rubus fruticosus</i> agg.		.	2a	.	1 +
<i>Mnium hornum</i>		.	.	.	2a +
einmal vorkommende Arten: (Aufn./Artmächtigkeit)					
<i>Pinus strobus</i> B 1/1				<i>Oxalis acetosella</i> 4/2a	
<i>Ilex aquifolium</i> 1/r				<i>Lonicera periclymenum</i> 4/+	
<i>Blechnum spicant</i> 1/+				<i>Juncus effusus</i> 4/+	
<i>Fagus sylvatica</i> 1/r; St 4/1				<i>Juniperus communis</i> 4/+	
<i>Quercus robur</i> St 2/+; B 4/1				<i>Rubus idaeus</i> 5/r	
<i>Pinus sylvestris</i> B 2/1; 5/r				<i>Cirsium palustre</i> 5/r	

* B = De Steinhügel; C = Schliepmühlken

überstanden sein; die Moorbirke vermag hier nur den Rand des Quellmoores zu besiedeln. Es ist davon auszugehen, daß hier (kleinstflächig) Torfmooswachstum und damit noch heute Torfbildung stattfinden.

In Südexposition sind die kleinen Quellmoore im Untersuchungsgebiet in allen Bereichen von Baumwuchs überstanden. Die Vegetation dieser Quellfluren wird von der Schwarzerle dominiert und läßt sich dem *Alnion glutinosae* Malcuit 1929 zuordnen. Tabelle 3 belegt einen nahezu reinen Erlenbruchwald an langsam oberflächennah durchsickerten Standorten auf Flachmoortorf. Charakteristische Arten sind neben *Alnus glutinosa* u.a. *Carex acutiformis*, *Lysimachia vulgaris*, *Equisetum x litorale* und *Carex elongata*. Als Differentialarten können *Carex remota*, *Scirpus sylvaticus*, *Iris pseudacorus* und die Torfmoos-Arten *Sphagnum fallax* und *S. palustre* gelten. Verbindendes Element mit dem *Caricion fuscae* sowie dem *Betulion pubescentis* Lohmeyer et Tx. in Tx. 1955 em. Scam. et Pass. 1959 sind im Riesenbecker Osning nur die beiden zuvor genannten *Sphagnum*-Arten (und gering *Polytrichum commune*). Dieser Waldtyp, auf einer abweichenden geologischen Grundsituation mit sandigen Tonsteinen entstanden, trennt sich auch floristisch von den zuvor beschriebenen Einheiten ab; die eigene Artenkombination der Erlenbruchwälder und die Abgrenzung gegen die Quellfluren in Nordexposition wird aus der Tabelle 4 deutlich.

4.2 Pflanzensoziologischer Status

Die Vegetation der Quellmoore ordnet sich nach der Kennartenausstattung in den Verband *Caricion fuscae* und nach ihrer Assoziationskennart in das *Caricetum fuscae* Br.-Bl. 1915 ein (WEBER 1995). Diese Kleinseggenriede zeichnen sich durch die namengebende Art *Carex nigra* (= *C. fusca*) und andere Arten wie *C. echinata*, *Viola palustris* und *Agrostis canina* und Torfmoose (u.a. *S. denticulatum*, *S. fallax*, *S. palustre*, *S. inundatum*) und das Laubmoos *Polytrichum commune* aus. Sowohl *Carex canescens* als auch *C. demissa*, die ebenso auf nassen, nährstoffarmen und sauren Torfböden in Niedermooren zu erwarten sind (vgl. DIERBEN et DIERBEN 2001), waren nach WEBER (1995) früher weithin verbreitet, sind jetzt jedoch zerstreut bis selten und fehlen im Riesenbecker Osning. In das *Caricetum fuscae* sind auch diejenigen Aufnahmen zu stellen, die nur über Verbandskennarten verfügen und denen die Assoziationskennart fehlt ('Zentralassoziation', Tab. 1). *Carex rostrata* wird vielfach als Art des *Rhynchosporion albae* Koch 1926 gesehen (WEBER 1995, OBERDORFER 2001). Wir folgen dieser Einschätzung und werten die Art als Klassenkennart der Scheuchzerio-Caricetea nigrae. In der Literatur wurde eine eigene Gesellschaft der Schnabelsegge (*Caricetum rostratae* Rübel 1912) beschrieben (vgl. DIERBEN et DIERBEN 2001); von uns werden jedoch die sehr torfmoosreichen Bestände mit *Carex rostrata* und Arten des *Caricion fuscae* noch als Element der nährstoffarmen, sand-oligotrophen bis dystrophen Braunseggen-sümpfe bewertet und dem *Caricetum fuscae* zugeordnet (vgl. ebenso RUNGE 1994, POTT 1995).

Innerhalb des *Caricetum fuscae* zeigen die *Sphagnum*-reichen Quellmoore des Riesenbecker Osning zahlreiche floristisch-soziologische Übereinstimmungen mit der von OBERDORFER (1938) beschriebenen Untereinheit des *polytrichetosum* Oberd. 1938 und werden von uns in dieses eingeordnet (vgl. HINTERLANG 1992).

Die Dominanzgesellschaft im *Caricion fuscae* ist die *Juncus acutiflorus*-Gesellschaft (POTT 1995). RUNGE (1994) weist auf die Original-Diagnose einer Wiesen-Gesellschaft als *Juncetum acutiflori* Br.-Bl. 1915 hin. Da *Juncus acutiflorus* seinen soziologischen Schwerpunkt in der Ordnung *Molinietalia caeruleae* Koch 1926 bzw. im Verband *Juncion acutiflori* Br.-Bl. 1947 hat, muß diese Assoziation nach PHILIPPI (1963, 1992) als *Juncus acutiflorus*-Ausbildung des *Caricetum fuscae* (z.B. *Caricetum fuscae juncetosum acutiflori* Philippi 1974) aufgefaßt werden. Aufgrund (i) der Vorherrschaft der Spitzblütigen Waldbinse (*J. acutiflorus*), (ii) des Fehlens eigener Assoziationskennarten und (iii) der Ausstattung mit Arten wie *Viola palustris*, *Molinia caerulea*, *Sphagnum cuspidatum* und *S. fallax* (und ohne die Kleinseggen) werden die zwei Aufnahmen von uns hier als *Juncus acutiflorus*-Gesellschaft im *Caricion fuscae* abgeteilt (vgl. PHILIPPI 1992, WEBER 1995).

Torfmoosreiche Pfeifengras-Birkenbruchwälder werden im Allgemeinen als *Vaccinio-Betuletum pubescentis* Libbert 1933 im Verband *Betulion pubescentis* abgeteilt (u.a. SEIBERT 1992, MAST 1999, BRAND

2000). Die Kennart der Gesellschaft, *Vaccinium uliginosum*, ist nach WEBER (1995) selten und kann im Riesenbecker Osning gar nicht nachgewiesen werden. Moorwälder mit Arten des Caricion fuscae (u.a. *Agrostis canina*, *Carex canescens*, *C. echinata*, *C. nigra*, *C. rostrata*) als einer Trennarten-Gruppe im Betulion sind im nordwestdeutschen Tiefland verbreitet (DÖRING-MEDERAKE 1991, MAST 1999, BRAND 2000). Mit dem Gagel in den Birkenbrüchern, denen im Riesenbecker Osning die Caricion-Arten fehlen (Tab. 2), wird der planare und atlantisch-subatlantische Charakter dieses Waldtyps im Untersuchungsgebiet angedeutet (WITTIG 1980, PROLINGHEUER et KAPLAN 1990). In Nordwest-Deutschland wachsen viele solcher *Betula pubescens*-Bestände auf entwässerten Hochmooren, wo die Torfmächtigkeit noch mehrere Meter betragen kann (POTT 1995). WEBER (1995) bestätigt, daß es sich im Gebiet meist um sekundär und fragmentarisch ausgebildete Einheiten auf entwässertem Hochmoortorf handelt. Torfmoose (*S. fallax*, *S. palustre*) sind deutlich an der Ausbildung dieser Einheit beteiligt (Tab. 2). Nur in den etwas trockeneren Flächen kommt *Molinia caerulea* zur stärkeren Ausbreitung. WITTIG (1980) hat für entsprechende Bestände die Einstufung als *Molinia caerulea*-*Betula pubescens*-Gesellschaft (Pfeifengras-Birkenwald) vorgeschlagen. Die Einheit zeichnet sich durch Massenausbreitungen vom Pfeifengras aus; sie wird von uns in Anlehnung an WITTIG (1980) als ranglose Gesellschaft in den Verband gestellt (vgl. DÖRING-MEDERAKE 1991, POTT 1995).

Die Erlenbruchwälder sind syntaxonomisch dem Carici elongatae-Alnetum Koch 1926 ex Tx. 1937 zuzuordnen (Tab. 3, vgl. WEBER 1995). Diese Einheit findet sich im Gebiet als eine etwas besser mit Nährstoffen versorgte Ausbildung mit *Carex acutiformis* (OBERDORFER 1992); jedoch weisen die z.T. verbreiteten Torfmoose wie *Sphagnum fallax* und *S. palustre* auf Standorte mit saurem und relativ nährstoffarmem Bruchwaldtorf hin. Eine Zuordnung zu den von DÖRING-MEDERAKE (1991) vorgeschlagenen Subassoziationen (betuletosum, cardaminetosum amarae und typicum) ist im Untersuchungsgebiet nicht möglich, denn weder betuletosum noch cardaminetosum amarae trennen sich nach den Vegetationsaufnahmen deutlich voneinander ab (Tab. 3). Statt dessen folgen wir der weniger detaillierten Gliederung von OBERDORFER (1992) und ordnen die Aufnahmen im Carici elongatae-Alnetum in eine Ausbildung mit *Carex acutiformis* ein.

4.3 Trophiedifferenzierung und Trophieentwicklung

Die Quellfluren des Riesenbecker Osning sind (i) als sand-oligotrophe Kleinseggenriede und Birkenbrücher auf reinen Sandsteinen (Gravenhorster Sandstein, Dörenther Sandstein) ausgebildet bzw. (ii) als mesotrophe Erlenbruchwälder an sandige Tonsteine (Apt-Furche) gebunden (Tab. 5, vgl. KELLER 1952). Dabei nimmt das Caricetum fuscae (incl. der *Juncus acutiflorus*-Dominanzgesellschaft) sowohl räumlich als auch ökologisch weite Bereiche der Quellfluren ein. Nach der Literatur besiedelt diese Gesellschaft Torfböden mit einem pH(Torf)-Wert < 5.0 und einem hochsommerlichen Grundwasserstand von der Bodenoberfläche bis etwa 50 cm Tiefe (WITTIG 1980, HINTERLANG 1992, BAUMANN 1996, ELLENBERG 1996). Im Untersuchungsgebiet werden die Bereiche mit auch im Sommer oberflächennah anstehendem Grundwasser vom typischen Caricetum fuscae eingenommen, bei weniger hohem Grundwasserstand während des Sommers kommt die *Juncus acutiflorus*-Gesellschaft (mit *Molinia caerulea*) zur stärkeren Ausbildung. Überschwemmungszonen der Quellmoore werden vom Schnabelseggen-reichen Caricetum fuscae eingenommen, das sich an durchschnittlich etwas basen- und elektrolytreicheren Wuchsorten mit einer meist höheren Dynamik des Überschwemmungswassers ausbildet (Tab. 5 und Tab. 6). Entwässerte, nur zeitweilig durchrieselte Bereiche werden bei entsprechenden pH-Werten und Leitfähigkeiten vom *Molinia caerulea*-Birkenwald besiedelt. Allgemein führen Entwässerungsmaßnahmen an quellig durchrieselten Standorten zur stärkeren Ausbreitung von *Molinia caerulea* (vgl. WITTIG 1980).

Das Ansiedeln und die Verbreitung der Torfmoose wird durch zwei miteinander verbundene Faktoren bestimmt (WÄCHTER 1994): von verfügbaren ganzjährig feucht-nassen Standorten und oligo- bis mesotrophen Trophiebedingungen. In dem Maße, in dem durch Biotopverlust die Individuenzahl der Torfmoose zurückgeht, werden die Individuen bei Trockenlegung und nachfolgender Eutrophierung der Standorte von anderen (konkurrenzstärkeren) Arten (z.B. *Carex rostrata*, *Juncus* spp.) überwachsen und gänzlich verdrängt. Andererseits können Massenvorkommen von *S. fallax*, einer weniger anspruchsvollen Torf-

Tab. 3: Flora und Vegetation der Erlenbruchwälder (*Alnion glutinosae*)

III <i>Carici elongatae</i> -Alnetum glutinosae Koch 1926 ex Tx. 1937					
III.1 <i>Carex acutiformis</i> -Ausbildung, Typische Untereinheit					
III.2 <i>Carex acutiformis</i> -Ausbildung, Untereinheit mit <i>Sphagnum</i> -Arten					
Einheit	III.1	III.2	III.2	III.2	III.2
Laufende Nummer	1	2	3	4	5
Standort *	D	D	D	D	D
Höhe [m ü.NN]	81	83	85	80	80
Exposition	S	S	SW	SW	SW
Inklination [°]	2	4	4	2	1
Struktur					
Höhe Baumschicht	20	14	20	20	22
Deckung Baumschicht	40	30	40	40	40
Höhe Baumschicht 2	-	6	6	-	-
Deckung Baumschicht 2	-	5	3	-	-
Höhe Strauchschicht	-	1,5	3,5	1,8	-
Deckung Strauchschicht	-	2	5	2	-
Höhe Krautschicht	0,5	0,6	0,6	0,8	0,4
Deckung Krautschicht	80	60	80	70	60
Höhe Mooschicht	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Deckung Mooschicht	<5	80	10	15	10
Flächengröße	100	50	100	100	100
Artenzahl	7	11	13	15	11
Alnion glutinosae					
<i>Alnus glutinosa</i>	B	3	2b	3	3 3
	B2	.	2a	+	.
	St	.	+	+	.
	Kr	.	+	.	.
<i>Carex acutiformis</i>		4	4	4	4 3
<i>Lysimachia vulgaris</i>		1	+	.	1 +
<i>Carex remota</i>		.	.	+	1 1
<i>Equisetum x litorale</i>		1	.	.	1 1
<i>Carex elongata</i>		.	.	.	+
<i>Iris pseudacorus</i>		.	.	.	+
<i>Scirpus sylvaticus</i>		.	.	.	1 1
<i>Prunus padus</i>	St	.	.	.	+
DA torfmoosreicher Ausbildungen					
<i>Polytrichum commune</i>		.	1	.	1 1
<i>Sphagnum fallax</i>		.	2b	.	2a 2a
<i>Sphagnum palustre</i>		.	4	2a	2a 1
Begleiter					
<i>Rubus fruticosus</i> agg.	Kr	+	1	3	.
<i>Mnium hornum</i>	M	+	2a	1	+
<i>Dryopteris dilatata</i>	Kr	r	.	+	+
<i>Juncus effusus</i>	Kr	.	r	+	.
einmal vorkommende Arten: (Aufn./Artnächtigkeit)					
<i>Betula pubescens</i> B 2/2a					<i>Hedera helix</i> 3/+
<i>Molinia caerulea</i> 2/+					<i>Fagus sylvatica</i> St 3/+
<i>Lonicera periclymenum</i> 3/1					<i>Sorbus aucuparia</i> St 3/r
<i>Rubus idaeus</i> 3/1					<i>Fraxinus excelsior</i> 4/r

* D = Brumleytal

moos-Art (FRAHM et FREY 1992), einen bereits fortgeschrittenen Diversitätsrückgang im mesotrophen Milieu verschleiern. Jedoch hat das vergleichsweise anspruchsvolle Schlenken-Torfmoos *S. cuspidatum* im Untersuchungsgebiet (noch) zahlreiche Vorkommen und eine relativ weite Verbreitung. Ein ganzjährig hoher Wasserstand in oligotropher, durchrieselter Umwelt dürfte für die (Rest-) Vorkommen von *S. cuspidatum* verantwortlich gemacht werden (vgl. WITTIG 1980, DIERBEN et DIERBEN 2001).

Der Birkenbruchwald ist in nassen, nährstoffarmen Senken zu finden, wo er noch gerade waldfähige Grenzstandorte zu besiedeln vermag (Tab. 5; vgl. WITTIG 1991). Die Standorte verfügen über größere

Tab. 4: Syntaxonomische Übersicht zu den Quellflur-Gesellschaften im Riesenbecker Osning (gekürzte Stetigkeitstabelle)

Einheit	I.1	I.2	II	III
I Caricion fuscae (= Caricion nigrae) Koch 1926 em. Klika 1934				
I.1 Caricetum fuscae Br.-Bl. 1915 (= Caricetum nigrae)				
I.2 <i>Juncus acutiflorus</i> -Gesellschaft (POTT 1995)				
II <i>Molinia caerulea</i> - <i>Betula pubescens</i> -Gesellschaft (WITTIG 1980)				
III Carici elongatae-Alnetum glutinosae Koch 1926 ex Tx. 1937				
Zahl der Aufnahmen	8	2	5	5
Mittlere Artenzahl	12	14	16	11
Caricion fuscae (= Caricion nigrae)				
VC <i>Carex nigra</i>	II	.	.	.
VC <i>Carex echinata</i>	II	.	.	.
KC <i>Carex rostrata</i>	II	.	.	.
VC <i>Juncus acutiflorus</i>	II	2	.	.
DA Scheuchzerio-Caricetea nigrae				
<i>Narthecium ossifragum</i>	II	.	.	.
<i>Juncus bulbosus</i>	II	1	.	.
VC <i>Viola palustris</i>	III	2	II	.
VC <i>Agrostis canina</i>	III	.	IV	.
DA Betulion pubescentis				
<i>Molinia caerulea</i>	IV	2	V	I
<i>Betula pubescens</i>	IV	1	V	I
<i>Myrica gale</i>	II	.	II	.
DA torfmoosreicher Ausbildungen				
<i>Polytrichum commune</i>	III	1	V	III
<i>Sphagnum fallax</i>	II	1	III	III
<i>Sphagnum palustre</i>	III	1	IV	IV
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	IV	1	.	.
<i>Sphagnum denticulatum</i>	II	1	.	.
<i>Sphagnum inundatum</i>	I	.	I	.
<i>Sphagnum fimbriatum et subnitens</i>	.	.	I	.
Alnion glutinosae				
<i>Alnus glutinosa</i>	.	.	III	V
<i>Carex acutiformis</i>	.	.	.	V
<i>Lysimachia vulgaris</i>	.	.	.	IV
<i>Carex remota</i>	.	.	I	III
<i>Equisetum x litorale</i>	.	.	.	III
<i>Carex elongata</i>	.	.	.	II
<i>Iris pseudacorus</i>	.	.	.	II
<i>Scirpus sylvaticus</i>	.	.	.	II
DA Quercetalia roboris				
<i>Frangula alnus</i>	II	2	III	.
<i>Vaccinium myrtillus</i>	II	.	III	.
<i>Dryopteris carthusiana</i>	II	2	III	.
<i>Quercus robur</i>	III	.	II	.
<i>Dryopteris dilatata</i>	I	.	.	III
<i>Sorbus aucuparia</i>	.	1	II	I
<i>Hypnum cupressiforme</i>	.	.	II	.
<i>Dicranum scoparium</i>	.	.	II	.
Begleiter				
<i>Fagus sylvatica</i>	II	.	I	I
<i>Juncus effusus</i>	I	2	I	II
<i>Rubus fruticosus</i> agg.	I	.	III	III
<i>Mnium hornum</i>	.	.	II	IV

Grundwasserschwankungen im Vergleich zu Standorten mit Arten des Caricion fuscae (MAST 1999). Nässetolerante Arten kommen in diesen Wäldern mit geringer Deckung vor. Die Bestände sind wohl durch Entwässerung aus Birkenbruchwäldern auf Niedermoororten hervorgegangen (WITTIG 1980, WEBER 1995). BRAND (2000) weist an Standorten der *Molinia*-*Betula*-Gesellschaft in der Regel pH(KCl)-

Tab.5: Trophiedifferenzierung für die Quellflugesellschaften im Riesenbecker Osning (zusammengestellt nach WITTIG 1980, POTT 1983, 1995, 1996, RUNGE 1994, WEBER 1995, ELLENBERG 1996, POTT et REMY 2000, OBERDORFER 2001, DIERBEN et DIERBEN 2001)

Einheit	Quellmoorvegetation im Riesenbecker Osning (vgl. Tabellen 1 bis 4)	Trophiestatus/-differenzierung (nach verschiedenen Autoren)
Braunseggenesellschaften (Caricion fuscae)		
I.1	Caricetum fuscae • Typische Ausbildung • mit <i>Carex rostrata</i>	sand-oligotroph stark sauer, torfig, langsam durchrieselt • sand-oligotroph • mesotroph
I.2	<i>Juncus acutiflorus</i> -Gesellschaft	schwach mesotroph gewisse Nährstoffmobilisierung fließendes Wasser quellig, mit guter Sauerstoffversorgung
Torfmoosreiche Pfeifengras-Birkenbrücher (Betulion pubescentis)		
	Vaccinio-Betuletum pubescentis	sand-oligotroph feuchter bis nasser nährstoffarmer Torf
II	• <i>Molinia caerulea</i> - <i>Betula pubescens</i> -Gesellschaft	• mesotroph Nährstoffmobilisierung
Torfmoosreiche Erlenbruchwälder (Alnion glutinosae)		
III	Carici elongatae-Alnetum • <i>Carex acutiformis</i> -Ausbildung	eutroph • nährstoffreiches Wasser, langsam fließend
III.1	•• Typische Untereinheit	•• quellige, sickernasse und eutrophe Niedermoorböden
III.2	•• Untereinheit mit <i>Sphagnum</i> -Arten	•• saures Substrat, stagnierendes Wasser, mesotropher Bruchwaldtorf

Werte < 3.0 nach. Die Vegetation am Standort 'Schliepmühlken' (vgl. Tab. 2) und die zahlreichen Entwässerungsgräben deuten darauf hin, daß es mit einem heute (erneut) hohen Grundwasserstand zu einer Eutrophierung gekommen ist, nachdem bei zuvor niedrigeren Grundwasserständen eine Mineralisierung der Torfe eingetreten war. Bestätigen ließe sich diese Annahme durch begleitende nährstoffökologische Untersuchungen, die (als Hypothese formuliert) insgesamt bei erhöhten Bodenwasserhaushalten einen gestiegenen Stickstoffumsatz in den oberen Bodenschichten nachweisen könnten, wobei auch der Nitrifikationsgrad zugunsten der Ammonifikation abnehmen könnte (u.a. JANIESCH 1981, DENZ 1998). Hinsichtlich der Vegetationsverhältnisse deutet sich dies in einer Verschiebung vom oligotraphenten Vaccinio-Betuletum pubescentis zum eher mesotraphenten *Molinia-Betula pubescens*-Bruchwald mit *Alnus glutinosa* (Tab. 2) und einer möglichen weiteren Entwicklung zum *Sphagnum*-reichen Carici-Alnetum betuletosum pubescentis und schließlich gar zum eutraphenten Carici-Alnetum typicum an (Tab. 4, vgl. DÖRING-MEDERAKE 1991).

Im Carici elongatae-Alnetum werden allgemein Differentialarten einer eher nährstoffarmen Standortvariante (betuletosum) von einer etwas reicheren (typicum, cardaminetosum) getrennt (Tab. 5, vgl. DÖRING-MEDERAKE 1991). Dabei ist nach BRAND (2000) eine deutliche Untergliederung („Zweiteilung“) des Erlenbruchwaldes mit Hilfe von trophiezeigenden Differentialarten nur durch die Differenzierung einer Einheit mit den Arten der *Sphagnum palustre*-Gruppe (nährstoffarm) und einer Einheit ohne diese Arten

(nährstoffreich) möglich. Dies läßt sich durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigen. Das Carici elongatae-Alnetum zeichnet sich durch die Vorherrschaft der Sumpf-Segge (*Carex acutiformis*) aus, einer Art, die ihren Verbreitungsschwerpunkt an feuchten bis nassen Standorten hat (OBERDORFER 1992, 2001, WEBER 1995). Im kleinräumigen Mosaik sind *Lysimachia vulgaris*, *Iris pseudacorus* und *Equisetum x litorale* auf nasse und ständig durch bzw. überrieselte mesotrophe Bereiche beschränkt. In den nicht durch ständig fließendes Wasser beeinflussten Bereichen haben sich in demselben Quellsumpf *Sphagnum palustre* und *S. fallax*, die ebenfalls schwerpunktmäßig feuchte und nasse, jedoch eher nährstoffärmere Substrate als *Carex acutiformis* besiedeln, ausbreiten können (vgl. WITTIG et DINTER 1991, OBERDORFER 1992).

Besonders hervorzuheben ist das Vorkommen von *Carex elongata*. Man findet diese Kennart des Carici elongatae-Alnetum nach WIEGLEB et al. (1991) nicht in artifiziellen Erlenwäldern der ersten Generation, ungeachtet der Feuchtestufe (vgl. WEBER 1978). Die Besiedlung isolierter Waldgebiete ist offenbar ein langfristiger Prozeß (MAST 1999). *C. elongata* ist nur da häufig, wo es schon länger großflächige Erlenwälder gibt und wo auch bei Nutzung (u.a. Niederwald) genügend Rückzugsflächen vorhanden sind.

4.4 Hydrochemie der Quellwässer und Eintragsituation wichtiger Trophieparameter

Um die fortgeschrittene Versauerung der Quellfluren im Riesenbecker Osning zu veranschaulichen, sei ihr Quellwasser-Typ vorangestellt: Ca-Al-(Na)-(Mg)-SO₄-Cl-NO₃ meq % (LETHMATE et SCHNEIDER 2001a). Das Grundwasser zählt zum Na-Ca-(Mg)-Cl-HCO₃-Typ und zeichnet sich durch eine geringe Gesamtionen-summe und niedrigen Härtegrad (2.4 °d) aus (THIERMANN 1970).

Die Untersuchung der Quellen an den Standorten A ('Osterhacken') und B ('De Steinhügel') ergeben folgende hydrochemische Charakterisierung der Quellwässer (Tab. 6): Die pH-Werte liegen im Mittel zwischen 3.9 und 4.7. Danach sind die Quellen als permanent sauer zu klassifizieren. Der pH-Wert korreliert mit einer Reihe von Metallkationen ($r = -0.70$ bei $p = 0.01$; $n = 81$); mit abnehmendem pH-Wert zeigt sich ein deutlicher Anstieg der Al³⁺-, Cr³⁺-, Cd²⁺- und Pb²⁺-Konzentrationen. Die Quellen gehören mit elektrischen Leitfähigkeiten von 174 bis 229 $\mu\text{S cm}^{-1}$ zu den sehr schwach bis schwach mineralisierten Wässern. Dabei wird die Leitfähigkeit vom Anteil organischen Kohlenstoffs mit beeinflusst. Die Korrelationen zwischen Leitfähigkeit und TOC bzw. Leitfähigkeit und pH sind hochsignifikant ($r = 0.90$ bzw. $r = -0.93$ bei $p = 0.01$; $n = 81$; Tab. 6). In sauren Gewässern kann die Zunahme der H⁺-Konzentration und die höhere Konzentration der SO₄²⁻-Ionen auch zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit führen (BEIERKUHNEIN 1994).

Die hohen nachgewiesenen Gehalte an Natrium entstammen sowohl verwitterten Silikaten als auch Depositionen. Geringe K⁺-Gehalte erklären sich durch geringe Löslichkeiten der Kalifeldspäte, insgesamt geringe Feldspatanteile im Osning-Sandstein und eine hohe Adsorptionsfähigkeit der Böden für Kalium. Calcium und Magnesium sind geogen nur gering vorhanden. Die mittleren Al³⁺-Werte liegen an beiden Standorten zwischen 0.2 und 5.6 mg l⁻¹. Nach BEIERKUHNEIN (1994) sind erhöhte Al³⁺-Werte regelhaft als versauerungsbedingt auftretende Erscheinung zu bewerten. Extreme Konzentrationen von Al³⁺- und Pb²⁺-Austrägen indizieren im Untersuchungsgebiet die oberflächennahe Herkunft des Quellwassers.

Die Anionenseite wird vom Sulfat und Nitrat dominiert, die das Hydrogencarbonat ersetzen (Tab. 6). Die gemessenen SO₄²⁻- und NO₃⁻-Konzentrationen übertreffen deutlich die Konzentrationen in Osning-Grundwässern. Die Mittelwerte des Sulfats liegen zwischen 21.9 und 38.1 mg l⁻¹. Auch die Nitratwerte sind hoch (24.0–29.3 mg l⁻¹) und damit ein Indiz für die maßgebliche Beteiligung von Stickstoffverbindungen an den Depositionen im Gebiet, sie verdeutlichen das Ausmaß der Gewässerversauerung. DURKA (1994) erklärt hohe NO₃⁻-Austräge durch immisionsbedingt hohe NO₃⁻-Einträge. Der Autor konnte isotopenchemisch nachweisen, daß hohe Anteile des Nitrats bodensaurer Waldquellfluren der Luft entstammen. Daraus wird gefolgert, daß diesen Ökosystemen die Fähigkeit zur internen NO₃⁻-Zirkulation mit zeitweiliger N-Immobilisation verloren gegangen ist (DURKA et SCHULZE 1992). Die hohen Chlorid-Gehalte (17.0–27.8 mg l⁻¹) im Riesenbecker Osning lassen sich nur aufgrund atmosphärischer Einträge

Tab. 6: Physikalisch-chemische Kenndaten und Versauerungsquotienten von Quellfluren des Caricetum fuscae polytrichetosum im Riesenbecker Osning und anderen Gebieten

Quellen*		A.1 (n=7)	A.2 (n=10)	B (n=11)	C (n=49)	D (n=13)
<i>Quellwasser</i>						
pH		3.9	4.4	4.7	5.2	4.6
pH(HAl)		3.9	4.1	3.3	...	...
H ⁺	(µg l ⁻¹)	83.1	33.1	16.8	~ 6.3	...
Elektrische Leitfähigkeit	(µS cm ⁻¹)	229	176	174	64.4	167
Gesamthärte	(°d)	0.47	0.52	0.32	0.58	...
Karbonathärte	(°d)	0.01	n.n.	n.n.	0.33	...
Gelöster organischer Kohlenstoff (TOC)	(mg l ⁻¹)	4.7	2.8	2.9	...	1.5
NO ₂ ⁻	(mg l ⁻¹)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.005	...
NO ₃ ⁻	(mg l ⁻¹)	24.0	25.2	29.3	7.5	7.3
NH ₄ ⁺	(mg l ⁻¹)	0.15	0.11	0.16	0.13	0.09
PO ₄ ³⁻	(mg l ⁻¹)	0.96	1.10	0.75	n.n.	0.02
SO ₄ ²⁻	(mg l ⁻¹)	38.1	25.2	21.9	...	27.7
<i>weitere Kationen</i>						
Ca ²⁺	(mg l ⁻¹)	6.2	8.5	10.8	...	5.4
Mg ²⁺	(mg l ⁻¹)	1.9	3.5	4.0	...	2.7
K ⁺	(mg l ⁻¹)	1.6	1.8	1.8	...	0.5
Na ⁺	(mg l ⁻¹)	13.0	9.9	9.4	...	...
Mn ²⁺	(mg l ⁻¹)	0.09	0.16	0.12	...	0.20
Fe ³⁺	(mg l ⁻¹)	0.09	0.04	0.02	...	0.06
Al ³⁺	(mg l ⁻¹)	5.60	1.20	0.20	...	0.87
Pb ²⁺	(µg l ⁻¹)	111.0	13.3	5.2	...	...
Ni ²⁺	(µg l ⁻¹)	11.2	19.7	12.6	...	10.7
Cd ²⁺	(µg l ⁻¹)	3.0	2.2	0.8	...	0.5
Cr ³⁺	(µg l ⁻¹)	0.8	0.4	0.3	...	...
<i>weitere Anionen</i>						
HCO ₃ ⁻	(mg l ⁻¹)	n.n.	n.n.	0.7	...	...
Cl ⁻	(mg l ⁻¹)	27.8	19.2	17.0	...	...
SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻	(µeq l ⁻¹)	1180	931	929	...	...
<i>Versauerungsquotienten</i>						
F-Wert** (nach Henriksen et Schoen)		0.86	1.00	0.58	...	...
Al ³⁺ /SO ₄ ²⁻ -Verhältnis		0.29	0.18	0.98	...	...
Säurewert (nach Simbrey)		46.6	30.1	80.1	...	...

* A = Osterhacken (A.1 *Sphagnum*-Quelltopf, A.2 *Juncus acutiflorus*-Gesellschaft) und B = De Steinhügel (*Sphagnum fallax*-Quelltopf) (LETHMATE et SCHNEIDER 2001a, 2001b); C = Zentraleuropäische Mittelgebirge (HINTERLANG 1992), D = Frankenwald (BEIERKUHLEIN 1994).

$$** \frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-} \text{ (meq l}^{-1}\text{)}$$

erklären. Für Phosphat wird an allen untersuchten Standorten der Grenzwert für eutrophierende Phosphoreinträge von 0.3 mg l^{-1} überschritten.

Damit stellt sich die Frage, ob die Gewässerversauerung natürlichen Ursprungs ist oder ob sie durch saure Depositionen erklärt werden kann. Die Böden des Riesenbecker Osning sind überwiegend als Braunerde-Podssole und Podssole entwickelt; organische Auflagen befinden sich im Fe-, Oberböden im Al-Fe- und Unterböden im Al-Pufferbereich (POLLMANN et LETHMATE 2003). Die Podsolierung ist schwächer ausgebildet als auf Standorten aus pleistozänen Sanden, hinsichtlich der Azidität besteht jedoch kein Unterschied. Bodenchemische Analysen belegen geringe Gehalte verfügbarer Nährstoffe im Mineralboden, jedoch hohe Stickstoff-Vorräte in der organischen Auflage. Geringe austauschbare Kationen werden vor allem vom Humusgehalt bestimmt; gleichzeitig konnte im Unterboden eine höhere Fixierung von Huminsäuren nachgewiesen werden (POLLMANN et LETHMATE 2003). Somit deuten die hohen Gehalte gelösten organischen Kohlenstoffs in den Quellen (Tab. 6) darauf hin, daß unter heutigen Bedingungen Huminstoffe (v.a. Fulvosäuren) nicht nur vom Ober- in den Unterboden verlagert werden, sondern den Boden komplett passieren.

Nur starke Säuren wie Salpeter- und Schwefelsäure können die starke Versauerung der Böden auslösen. Salpetersäure kann beim Abbau von organischem Bodenstickstoff entstehen und/oder sauren Depositionen entstammen. Die Bildung von Schwefelsäure erklärt sich bei schwefelfreiem Gestein nur atmogen (vgl. ULRICH 1986). Für die extremen Austräge mobiler Anionen (Äquivalentsumme $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ von

Tab. 7: Regionale Stickstoffdepositionen (Bereich und Mittel) im Untersuchungsgebiet und benachbarter Meßstationen (nach WENDELER et LETHMATE 2000, LETHMATE et al. 2002), und ökologische Belastungsgrenzen für eutrophierende Stickstoffeinträge für aktuelle Vegetationseinheiten im Riesenbecker Osning (nach WERNER et al. 1999)

	Deposition in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$							
	0	10	20	30	40	50	60	70
Einträge in nordrhein-westfälischen Stationen								
Freilandniederschlag (1997-2000)		+					
Bestandesniederschlag (1997-2000)			+			
Einträge im Riesenbecker Osning								
Freilandniederschlag (1997-2000)		+				
Bestandesniederschlag (1997-2000)				+		
Belastungsgrenzen in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$								
Nadelwälder								
Dicrano-Pinion (Saure Nadelwälder)							
<i>Pinus sylvestris</i> auf sauren Sandböden							
Laubwälder								
Galio odorati-Fagetum (Anspruchsvoller Buchenwald)							
Deschampsio flexuosae-Fagetum (Bodensaurer Buchenwald)							
Sand-oligotrophe Stillgewässer								
<i>terrestrisch</i>								
<i>Molinia caerulea</i> - <i>Betula pendula</i> -Gesellschaft							
<i>amphibisch</i>								
Caricetum fuscae (Braunseggen Sümpfe)							
Huminstoffreiche, saure Gewässer								
<i>amphibisch</i>								
<i>Carex rostrata</i> -reiches Caricetum fuscae							

durchschnittlich $1142 \mu\text{eq l}^{-1}$) gibt es keine Hinweise einer geogenen Herkunft; vielmehr sind die Osning-Sandsteine extrem sulfid- und sulfatarm (MUTTERLOSE 1995). Demgegenüber konnten LETHMATE et al. (2002) im Riesenbecker Osning atmogene Cl^- - und SO_4^{2-} -Einträge von $> 25.4 \text{ kg Cl}^- \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $> 15.6 \text{ kg SO}_4^{2-} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nachweisen; für Stickstoff liegen die aktuellen Gesamtdepositionen sogar über $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Diese Daten bestätigen, daß die Ökosysteme des Riesenbecker Osning inzwischen die ökologische Belastungsgrenze für eutrophierende Stickstoffeinträge überschritten haben und mit N überversorgt bis gesättigt sind (Tab. 7). Die qualitative Bilanzierung der SO_4^{2-} -S/Cl⁻- und NO_3^- -N/Cl⁻-Verhältnisse von Eintrag und Austrag weisen darüber hinaus deutlich auf eine atmosphärische Versauerung hin, denn weder der Sulfat- noch der Nitrataustrag übersteigen den aktuellen Eintrag mit der Bestandesdeposition (LETHMATE et SCHNEIDER 2001b). Für die untersuchten Quellfluren ist der F-Wert (Versauerungsquotient nach HENRICKSEN et SCHOEN) hochsignifikant mit dem pH-Wert korreliert (Tab. 8). F-Werte zwischen 0.58 und 1.00 belegen den Alkalitätsverlust der Quellwässer, die damit definitionsgemäß versauert sind.

Tab. 8: Statistische Berechnung zwischen dem pH-Wert und den Versauerungsparametern. Korrelationskoeffizient nach PEARSON, Signifikanz-Niveau < 0.01 bei zweiseitigem Test (10 Waldquellen im Riesenbecker Osning, $n = 81$)

	pH
Aziditätsgrad (Gehrmann)	-0.80
$\text{Al}^{3+}/\text{SO}_4^{2-}$	-0.83
$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$	-0.90
F-Wert (Henriksen et Schoen)	0.94
Säurewert (Simbrey)	-0.94

5 DISKUSSION

Mit pH-Werten < 4.7 , einer Äquivalentsumme von durchschnittlich $1142 \mu\text{eq l}^{-1} \text{ SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ und eutrophierenden Stickstoffeinträgen von $> 30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ist der pufferungsschwache Osning-Sandstein sehr stark von Gewässerversauerung und Eutrophierung betroffen (LETHMATE et SCHNEIDER 2001a, 2001b, LETHMATE et al. 2002). Für *Sphagnum*-reiche Quellmoore über silikatischem Gestein im Frankenwald wurden über die Hydrochemie der Quellwässer signifikante Korrelationen zwischen Säuredepositionen in luftbelasteten Gebieten, deren Austrag über Quellwasser und dem Auftreten pH-resistenter Vegetationstypen nachgewiesen (BEIERKUHNEIN 1994). In Untersuchungen zu Vegetationsveränderungen nach Stickstoff-Eintrag in ombrotrophen *Sphagnum*-Mooren bei Kiel konnte die Hypothese einer primär vom Depositionsgeschehen abhängigen, also atmogenen Artenverschiebung und eines Verlustes an Biodiversität bestätigt werden (LÜTKE TWENHÖVEN 1992a, 1992b).

Im Riesenbecker Osning läßt sich eine klare vegetationsökologische Differenzierung der Quellfluren herausarbeiten. Als die floristisch bedeutsamste Gesellschaft der Quellfluren stellt sich das Caricetum fuscae polytrichetosum dar, das Übergänge zum Birkenbruch (*Molinia-Betula*-Gesellschaft) aufweist und mit diesem über gemeinsame Differentialarten verfügt (Tab. 4). Ähnliche Bestände wurden bereits aus Waldquellen höherer Lagen ($> 1000 \text{ m}$) beschrieben (OBERDORFER 1938, KÄSTNER 1942); in tieferen Lagen (500-800 m) sind vergleichbare Bestände erst in neuerer Zeit nachgewiesen worden (u.a. GRÜTTNER 1987, BEIERKUHNEIN 1991, 1995, HINTERLANG 1992). Die Zuordnung zum Caricetum fuscae polytrichetosum kann aus dem Vorherrschen der Torfmoose und *Polytrichum commune* abgeleitet werden; damit kann diese Braunseggenesellschaft auch außerhalb ihres geschlossenen Areal für den nordwest-

lichen Teutoburger Wald nachgewiesen werden (vgl. WÄCHTER 1994). Die Regel, das Caricetum fuscae als Assoziation der Hochlagen anzusehen, das in tieferen Lagen von Gesellschaften der Cardamino-Chrysosplenietalia Hinterlang 1992 ersetzt wird (vgl. HINTERLANG 1992, BEIERKUHNLEIN 1994, 1999), gilt für den immissionsbelasteten Osning mit Höhen bis 142.2 m nicht.

Die hydrochemischen Kenngrößen (u.a. Leitfähigkeit, H^+ , Al^{3+} , Pb^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-}) sind im Riesenbecker Osning deutlich höher als in südlicheren und höher gelegenen Mittelgebirgen (HINTERLANG 1992, BEIERKUHNLEIN 1994). Auffallend sind die sehr hohen Nitratgehalte im Riesenbecker Osning (Tab. 6). Das Auftreten hoher NO_3^- und damit gekoppelter Al^{3+} -Konzentrationen wird als Folge eines Nitrifikations-schubes und einer damit einhergehenden versauerungsbedingten Entkoppelung des Stickstoffkreislaufs interpretiert (DURKA et SCHULZE 1992, BEIERKUHNLEIN et DURKA 1993). F-Werte < 1 belegen das Ausmaß der Gewässerversauerung im Weichwassergebiet des Osning mit seinen niedrigen HCO_3^- -Konzentrationen (Tab. 6). Damit kann mit der vorliegenden Arbeit hydrochemisch gezeigt werden, daß bereits die austretenden Quellwässer diese extremen chemischen Charakteristika aufweisen und nicht, wie von HINTERLANG (1992) noch in Frage gestellt, die üppigen Torfmoosdecken über eine biogene Versauerung durch Huminsäuren erst entsprechende Bedingungen schaffen. Nachweise nährstoffarmer Quellmoore des Caricion fuscae in anderen Feuchtgebieten unterstreichen das natürliche Vorkommen dieser azidophilen Gesellschaft in Sandgebieten Nordwest-Deutschlands (WITTIG 1980, POTT 1983, 2000, POTT et REMY 2000, DIERBEN et DIERBEN 2001).

Die hydrochemischen Befunde mit hohen H^+ , Al^{3+} , SO_4^{2-} - und NO_3^- -Austrägen weisen auf eine akute Gefährdung der Quellmoorvegetation hin, zählen doch sowohl die Caricion fuscae- als auch Betulion pubecentis-Gesellschaften zu den sand-oligotrophen Stillgewässern (Tab. 5). Für diese Biotoptypen geben WERNER et al. (1999) als ökologische Belastungsgrenze für eutrophierende N-Einträge $15\text{--}20\text{ kg N ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ an (vgl. BOBBINK et al. 1998). Im Gebiet liegt die Stickstoffzufuhr mit $> 30\text{ kg N ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ (1997-2000) deutlich über dem Schwellenwert für N-Austräge von $25\text{ kg N ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ (MEESBURG et al. 1998). Die weite Verbreitung und auffällige Dominanz der robusten Torfmoose *Sphagnum fallax*, *S. palustre* und auch *Carex rostrata* weisen floristisch bereits heute auf die stärkere hydrochemische Belastung (insbesondere Eutrophierung) des Quellstandortes 'De Steinhügel' im Vergleich zum Standort 'Osterhaken' hin (Abb. 2, Tab. 5). Damit deutet sich allgemein für die Quellfluren des Untersuchungsgebietes eine Verschiebung im Arteninventar (u.a. *Sphagnum* spp.) zur Dominanz einzelner nitrophilerer Arten (u.a. *Molinia caerulea*, *Juncus acutiflorus*) an, wie sie in Norddeutschland für ombrotrophe Quellfluren aufgrund aktueller N-Deposition bereits nachgewiesen werden konnte (LÜTKE TWENHÖVEN 1992a, 1992b, WITTIG 1999). Die kompetitive Lebensstrategie von *S. fallax* führt wahrscheinlich auch in den Quellmooren des Riesenbecker Osning zu Diversitätsverlusten der amphibischen Biotope, wie sie für silikatische Quellflurgesellschaften Süddeutschlands dokumentiert sind (BEIERKUHNLEIN et GOLLAN 1999).

Die Aussage, das Schlenkenmoos *Sphagnum cuspidatum* nicht zu den für Quellen typischen Torfmoosen zu zählen (WÄCHTER 1994), kann im Riesenbecker Osning nicht bestätigt werden, denn hier nimmt die empfindliche Art (noch) weite Bereiche der Quellmoore mit natürlichen Braunseggenrieden ein (Tab. 1). Die meisten aktuellen Vorkommen stenöker Torfmoose wie *S. inundatum*, *S. denticulatum*, *S. cuspidatum* befinden sich innerhalb der Quellmoore mit ganzjährig hohem Grundwasserstand, deren Bedeutung und Gefährdung dadurch unterstrichen wird (WASSEN et JOOSTEN 1996).

Für die Erhaltung dieser torfmoosreichen Kleinseggenmoore am natürlichen Standort ('in situ') ist es äußerst wichtig, diese Relikt-Vorkommen im Riesenbecker Osning zu schützen. Bei Nutzung und Management des Gebietes (insbesondere auch des weiteren Einzugsgebietes) ist sicherzustellen, daß einerseits hoch anstehendes Grundwasser in ausreichendem Umfang und die Dynamik der Quellfluren mit leicht durchrieselndem Quellwasser erhalten bleiben. Andererseits muß verhindert werden, daß durch Einträge (N-, S- und Schwermetall-Depositionen) und unsensible Bewirtschaftungsmaßnahmen (Entwässerungen, Meliorationen, Anlage von Fischteichen) diese Standorte für Torfmoose und andere seltene und schutzwürdige Arten überbaut und zerstört werden (LIENENBECKER et LINDENSCHMIDT 1986). Langfristig lassen sich diese Standorte nur erhalten, wenn diese Beeinträchtigungen gestoppt werden können; gleichzeitig sollten einige Bereiche von aufwachsenden Gehölzen freigestellt werden (WITTIG 1999).

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Untersuchungen im Riesenbecker Osning belegen eine sand-oligotrophe Quellmoorvegetation auch auf stark versauerten und durch N-Einträge belasteten Standorten in Nordwest-Deutschland. Zwar nimmt der Reichtum an Caricion-Arten und die *Sphagnum*-Diversität mit sinkendem Grundwasserstand und steigender Gewässerbelastung in den Quellmooren deutlich ab und weist damit auf mögliche Grenzen für eine Gefährdung bei weiterer Standortveränderung hin. Unter der extrem hohen Belastungssituation im Riesenbecker Osning (LETHMATE et al. 2002) ist es umso bemerkenswerter, daß sich zahlreiche typische Arten oligotropher Kleinseggenriede offensichtlich bis heute haben halten können. Ein weiterer Verlust an Diversität ist jedoch auch hier zu erwarten (vgl. BEIERKUHNEIN und GOLLAN 1999). In dieser Situation befinden sich die Standorte 'De Steinhügel' und 'Schliepmühlken', während am 'Osterhacken' zum Teil noch die typische Artenkombination eines nördlichen Caricetum fuscae polytrichetosum vorherrscht und der Prozeß einer Artenverschiebung von oligotrophen zu mesotrophen Beständen erst begonnen hat. Besonders augenscheinlich werden standörtliche Unterschiede bei den oft aspektbestimmenden *Sphagnum*-Arten, welche in den Quellfluren des Riesenbecker Osning allgemein verbreitet sind.

Neben der Höhe des Grundwasserstandes, der Überschattung und der N-Einträge wirken auch die Metallkonzentrationen modifizierend auf den Prozeß des Artenwechsels, indem beispielsweise *Sphagnum fallax* als relativ anspruchsloses Torfmoos in versauerten und schwermetallbelasteten Quellmooren die anderen Torfmoose verdrängt (BEIERKUHNEIN 1995). Nach den vorliegenden Ergebnissen spielt für das Verschwinden der Caricion-Arten, die nach WEBER (1995) und OBERDORFER (2001) ähnlich anspruchslos eingestuft werden wie die Torfmoose, in diesem Prozeß offensichtlich weniger die erhöhten Metallkonzentrationen, als vielmehr die Höhe des Grundwasserstandes, aber auch die Eutrophierung und die Konkurrenz um Licht eine wichtige Rolle (WITTIG 1999). Wo tatsächlich die Belastungsgrenze der Kleinseggenriede im atlantisch geprägten, nordwestdeutschen Tiefland liegt, kann mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden. Hervorzuheben bleibt jedoch, daß die hydrochemischen Kenngrößen im Riesenbecker Osning deutlich höher liegen als in südlicheren und höher gelegenen Mittelgebirgen (HINTERLANG 1992, BEIERKUHNEIN 1994). Möglicherweise sind es weniger die Versauerung und die damit in Verbindung stehenden hohen Schwermetallgehalte der Quellwässer (BEIERKUHNEIN 1995), sondern die Lebensstrategien von *S. fallax* (hohe Wachstumsrate, hohe Nährstoffaufnahme, hohe Nettomineralisation) und anderen nitrophileren Arten (z.B. *Juncus acutiflorus*), die es diesen Arten ermöglichen, die anthropogen erhöhten atmosphärischen N-Einträge zu nutzen und weniger wuchskräftige, streßtolerante Arten zu verdrängen (LÜTKE TWENHÖWEN 1992b, POTT et REMY 2000). Hierzu sind langfristige geobotanische Untersuchungen in Dauerbeobachtungsflächen ebenso notwendig wie geoökologische Untersuchungen zu den hydrochemischen Kenngrößen der entsprechenden Quellmoore. Mit der vorliegenden Studie werden die Grundlagen für ein solches Monitoring-System zur räumlichen Beurteilung der aktuellen Gefährdung dieser Quellmoore im Kontext kritischer Belastungsgrenzen gelegt.

7 ZUSAMMENFASSUNG

POLLMANN, W.; LETHMATE, J.: Oligotrophie in einer eutrophen Umwelt: Zur synsystematischen Umgrenzung und standörtlichen Gefährdung sand-oligotropher Quellfluren im Teutoburger Wald (NW-Deutschland). – *Hercynia N.F.* 35 (2002): 157-179.

Im Riesenbecker Osning wurden Untersuchungen zur Vergesellschaftung und zum Standort der Quellfluren nährstoffarmer Sandböden durchgeführt. In Bezug auf ihre Nährstoffversorgung und hydrochemischen Charakteristika wird die überwiegende Zahl der Quellfluren als oligotrophente, produktionschwache Gesellschaften ausgewiesen. Im Gebiet werden vier Gesellschaften unterschieden (Caricetum fuscae, *Juncus acutiflorus*-Gesellschaft, *Molinia caerulea*-*Betula pubescens*-Gesellschaft, Carici elongatae-Alnetum) und ihre Ausprägungen beschrieben. Mit dieser Arbeit soll eine Lücke in der aktuellen Bearbeitung zur Umgrenzung, Trophiedifferenzierung und Gefährdung im Kontext kritischer Belas-

tungsgrenzen für amphibische Stillgewässer auf Sandböden im pufferungsschwachen und immissionsbelasteten Riesenbecker Osning geschlossen werden.

Das sand-oligotrophe Caricetum fuscae, das über zahlreiche gemeinsame Differentialarten mit der *Molinia caerulea*-*Betula pendula*-Gesellschaft verfügt, wird erstmals auch als Subassoziation von *Polytrichum commune* in Nordwest-Deutschland abgeteilt. Die *Juncus acutiflorus*-Gesellschaft bildet eine an *Sphagnum*-Arten verarmte Dominanzgesellschaft des Caricion fuscae. Torfmoosreiche Pfeifengras-Birkenbruchwälder können sich immer dann etablieren, wenn Entwässerungen noch gerade waldfähige Grenzstandorte entstehen ließen. Erlenbruchwälder sind im Gebiet an Quellwässer gebunden, die sich gegenüber den anderen Gesellschaften durch einen höheren Nährstoffgehalt und höhere pH-Werte auszeichnen. Sie finden sich in einer *Sphagnum*-reichen Ausbildung mit *Carex acutiformis* und charakterisieren mesotrophe Standortbedingungen.

Über hydrochemische Analysen der Quellwässer konnten nun für die oligotrophen Standorte sehr niedrige pH-Werte in Verbindung mit hohen Nitrat-, Sulfat-, Leicht- und Schwermetallbelastungen (z.B. $29.3 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, $38.1 \text{ mg SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$, $5.6 \text{ mg Al}^{3+} \text{ l}^{-1}$, $110.0 \text{ } \mu\text{g Pb}^{2+} \text{ l}^{-1}$) nachgewiesen werden. Die Vegetation reagiert darauf mit einem Artenverlust und einer Verschiebung im Arteninventar zur Dominanz einzelner nitrophilerer Arten. Wasserstandssenkungen und Melioration, Schwermetallanreicherung und die Eutrophierung der Standorte sind die hauptsächlichen Gefährdungsursachen für die Caricion-Gesellschaften. Besonders das *Sphagnum*-reiche Caricetum fuscae polytrichetosum der durchrieselten, sauren und torfigen Quellbereiche ist in seinem Bestand gefährdet. Diversitätsverluste, wie sie für silikatische Quellflurgesellschaften Süddeutschlands in belasteten Gebieten dokumentiert werden, zeichnen sich auch im Riesenbecker Osning zu uniformen Dominanzbeständen ab.

Nicht zuletzt werden mit dieser Untersuchung die Grundlagen für ein Monitoring-System im Riesenbecker Osning zur räumlichen Beurteilung der aktuellen Gefährdung dieser Biotope im Kontext kritischer Belastungsgrenzen gelegt. Zukünftige Untersuchungen können an den exakt lokalisierten Quellfluren Veränderungen im Stoffgehalt sowie Verschiebungen im Arteninventar dokumentieren.

8 DANKSAGUNG

Für die Nachbestimmung der Torfmoose (*Sphagnum* spp.) danken wir B. SIEG (Münster). Die Quellwässer wurden an den Instituten für Hygiene und Landschaftsökologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster analysiert, wofür wir uns recht herzlich bedanken. Für Hinweise bedanken wir uns bei Univ. Prof. Dr. C. BEIERKUHNLEIN (Bayreuth) und Dr. J. GEHRMANN (Recklinghausen). Weiterhin danken wir zwei hier nicht persönlich genannten Rezensenten für wertvolle Hinweise. Die Untersuchungen wurden zum Teil im Rahmen des vom Landschaftsverband Westfalen-Lippe finanziell geförderten Projektes „Geoökologisches Modellgebiet Riesenbecker Osning“ durchgeführt.

9 LITERATUR

- BAUMANN, K. (1996): Kleinseggenriede und ihre Kontaktgesellschaften im westlichen Unterharz (Sachsen-Anhalt). – *Tuexenia* **16**: 151-177.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1991): Räumliche Analyse der Stoffausträge aus Waldgebieten durch Untersuchung von Waldquellfluren. – *Die Erde* **122**: 291-315.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1994): Waldquellfluren im Frankenwald. Untersuchungen zur reaktiven Bioindikation. – *Bayreuther Forum Ökol.* **11**: 1-253.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1995): Auswirkungen saurer Quellwässer auf die Artenzusammensetzung von Waldquellfluren. – *Informationsber. Bayer. Landesamt Wasserwirtschaft* **3**: 175-182.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1999): Vegetation der Waldquellfluren im Frankenwald. – *Bayreuther Forum Ökol.* **71**: 155-172.
- BEIERKUHNLEIN, C.; DURKA, W. (1993): Beurteilung von Stoffausträgen immissionsbelasteter Waldökosysteme Nordostbayerns durch Quellwasseranalysen. – *Forstw. Cbl.* **112**: 225-239.

- BEIERKUHNEIN, C.; GOLLAN, T. (1999, Eds.): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa. – Bayreuther Forum Ökol. **71**: 256 S.
- BERGMEIER, E.; HÄRDITTE, W.; MIERWALD, U.; NOWAK, B.; PEPLER, C. (1990): Vorschläge zur syntaxonomischen Arbeitsweise in der Pflanzensoziologie. – Kieler Notizen z. Pflanzenkde. Schl.-Holstein u. Hamburg **20** (4): 92-103.
- BOBBINK, R.; HORNING, M.; ROELOFS, J.G.M. (1998): The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. – J. Ecol. **86**: 717-738.
- BRAND, J. (2000): Untersuchungen zur synsystematischen Umgrenzung und Untergliederung sowie zur standörtlichen und landschaftsräumlichen Bindung von Feuchtwäldern im nordwestdeutschen Tiefland. – Diss. Bot. **323**: 1-288.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. – Wien.
- DENZ, O. (1998): Monitoring waldricher Feuchtgebietsvegetation im Nordraum des Rheinischen Braunkohlenreviers 1986-1996. – Tuexenia **18**: 85-93.
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. – Stuttgart.
- DIERBEN, K.; DIERBEN, B. (2001): Moore. – In: POTT, R. (Ed.): Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. – Stuttgart.
- DÖRING-MEDERAKE, U. (1991): Feuchtwälder im nordwestdeutschen Tiefland: Gliederung, Ökologie, Schutz. – Scripta Geobot. **19**: 1-122.
- DURKA, W. (1994): Isotopenchemie des Nitrat, Nitratauswaschung, Wasserchemie und Vegetation von Waldquellen im Fichtelgebirge (NO-Bayern). – Bayreuther Forum Ökol. **10**: 1-197.
- DURKA, W.; SCHULZE, E.-D. (1992): Hydrochemie von Waldquellen des Fichtelgebirges. – Z. Umweltchem. Ökotox. **4** (4): 217-226.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. – Stuttgart.
- FIEDLER, K. (1984): Tektonik (Baugeschichte). – In: KLASSEN, H. (Ed.): Geologie des Osnabrücker Berglandes: 519-565. – Osnabrück.
- FRAHM, J.-P.; FREY, W. (1992): Moosflora. – Stuttgart.
- GRÜTTNER, A. (1987): Das Naturschutzgebiet „Briglirain“ bei Furtwangen (Mittlerer Schwarzwald). – Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. **62**: 161-271.
- HENDRICKS, A.; SPEETZEN, E. (1983): Der Osning-Sandstein im Teutoburger Wald und im Egge-Gebirge (NW-Deutschland) – ein maritimes Küstensediment aus der Unterkreide-Zeit. – Abh. Westf. Mus. Naturk. **45** (1): 1-11.
- HINTERLANG, D. (1992): Vegetationsökologie der Weichwasserquellgesellschaften zentraleuropäischer Mittelgebirge. – Crunoecia **1**: 5-117.
- HINZE, C.; MEYER, K.-D. (1984): Quartär. – In: KLASSEN, H. (Ed.): Geologie des Osnabrücker Berglandes: 499-518. – Osnabrück.
- JANIESCH, P. (1981): Ökophysiologische Untersuchungen an *Carex*-Arten aus Erlenbruchwäldern. Habil.-Schr. Univ. Münster: 123 S.
- KÄSTNER, M. (1942): Über einige Waldsumpfgesellschaften, ihre Herauslösung aus den Waldgesellschaften und ihre Neuordnung. – Beih. Bot. Cbl. **61B** (1/2): 137-207.
- KELLER, G. (1952): Die stratigraphisch-fazielle Entwicklung der marinen Unterkreide im nordwestlichen Teutoburger Wald. – Z. Deut. Geol. Ges. **104**: 474-498.
- LETHMATE, J.; WENDELER, M. (2000): Das chemische Klima des Riesenbecker Osning in den Messjahren 1988 und 1998. – Osnabr. Naturw. Mitt. **26**: 121-133.
- LETHMATE, J.; SCHNEIDER, K. (2001a): Der Teutoburger Wald als pufferungsschwacher Raum: Gewässerversauerung im Osning-Sandsteinzug. – Hercynia N.F. **34**: 161-170.
- LETHMATE, J.; SCHNEIDER, K. (2001b): Gewässerversauerung im Riesenbecker Osning. – GeKoAktuell **2**: 3-10. Geographische Kommission für Westfalen, Münster.
- LETHMATE, J.; EICKELMANN, B.; WÖRRINGER, T. (2002): Der nordrhein-westfälische Gülle-Belt und sein Einfluss auf die Deponate des Teutoburger Waldes. – Geoöko **23**: 61-75.
- LIENENBECKER, H.; LINDENSCHMIDT, M. (1986): Die Moorlilie (*Narthecium ossifragum*) im Teutoburger Wald bei Riesenbeck/Kreis Steinfurt. – Natur und Heimat **46**: 82-84.
- LÜTKE TWENHÖVEN, F. (1992a): Competition between two *Sphagnum* species under different deposition levels. – J. Bryology **17**: 71-80.
- LÜTKE TWENHÖVEN, F. (1992b): Untersuchungen zur Wirkung stickstoffhaltiger Niederschläge auf die Vegetation von Hochmooren. – Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schl.-Holstein u. Hamburg **44**: 1-172.
- MAST, R. (1999): Vegetationsökologische Untersuchungen der Feuchtwald-Gesellschaften im niedersächsischen Bergland. – Archiv Naturw. Diss. **8**: 1-283.
- MEESBURG, H.; RADEMACHER, P.; MEIWES, K.J. (1998): Stoffeintrag über atmogene Depositionen in verschiedene Ökosysteme Niedersachsens und deren Auswirkung. – Arbeitshefte Boden **1**: 67-77.

- MILL, M.O. (1978): Sphagnopsida. – In: SMITH, A.J.E. (Ed.): The moss flora of Britain and Ireland: 30-78. - Cambridge.
- MUTTERLOSE, J. (1995): Die Unterkreide-Aufschlüsse des Osning-Sandsteins (NW-Deutschland) - Ihre Fauna und Lithofazies. – Geologie und Paläontologie in Westfalen **36**: 3-85.
- OBERDORFER, E. (1938): Ein Beitrag zur Vegetationskunde des Nordschwarzwaldes. – Beitr. zur naturkundl. Forschung in Südwestdeutschland **3**: 149-270.
- OBERDORFER, E. (1992): *Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tx. 1943. – In: OBERDORFER, E. (Ed.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil IV. Wälder und Gebüsche. Textband: 24-32. - Jena.
- OBERDORFER, E. (2001, unter Mitarb. SCHWABE, A.; MÜLLER, T.): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. - Stuttgart.
- PHILIPPI, G. (1963): Zur Gliederung der Flachmoorgesellschaften des Südschwarzwaldes und der Hochvogesen. – Beitr. Naturkd. Forsch. Südwest-Deutschl. **22** (2): 113-135.
- PHILIPPI, G. (1992): *Caricetalia fuscae* Koch 1926 em. Nordhag. 1937. – In: OBERDORFER, E. (Ed.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil I. Fels- und Mauergesellschaften, alpine Fluren, Wasser-, Verlandungs- und Moorgesellschaften: 234-243. - Jena.
- POLLMANN, W. (2000): Die Buchenwaldgesellschaften im nordwestlichen Weserbergland. – Siedlung und Landschaft in Westfalen **29**: 1-126.
- POLLMANN, W. (2001): Zur synsystematischen und synökologischen Stellung der anspruchsvolleren Buchenwälder an ihrer Verbreitungsgrenze in Nordwest-Deutschland. – Tuexenia **21**: 3-38.
- POLLMANN, W.; LETHMATE, J. (2003): Zur Frage der Buche auf Sandböden in Nordwest-Deutschland: Ökologische Potenz von *Fagus sylvatica* L. unter extremen Standortbedingungen im Riesenbecker Osning. – Tuexenia **23** (im Druck).
- POTT, R. (1983): Die Vegetationsabfolgen unterschiedlicher Gewässertypen Nordwestdeutschlands und ihre Abhängigkeit vom Nährstoffgehalt des Wassers. – Phytocoenologia **11** (3): 307-430.
- POTT, R. (1995): Pflanzengesellschaften Deutschlands. - Stuttgart.
- POTT, R. (2000, Ed.): Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). – Abh. Westf. Mus. Naturk. Beiheft **62**: 1-397.
- POTT, R.; REMY, D. (2000): Gewässer des Binnenlandes. – In: POTT, R. (Ed.): Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. - Stuttgart.
- PROLINGHEUER, T.; KAPLAN, K. (1990): Zur Vergesellschaftung und zum Standort des Gagels (*Myrica gale* L.) in Westfalen. – Metelener Schriftenr. Naturschutz **1**: 39-57.
- PUST, J.; POTT, R. (1998): Gewässerentwicklung und -eutrophierung. Raum-Zeit-Dynamik am Beispiel des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“. – Naturschutz u. Landschaftsplanung **30**: 258-263.
- REICHELT, G.; WILMANN, O. (1973): Vegetationsgeographie. - Braunschweig.
- RIECKEN, U.; RIES, U.; SSYMANK, A. (1994): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik Deutschland. – Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz **41**: 1-184.
- RUNGE, F. (1994): Die Pflanzengesellschaften Mitteleuropas. - Münster.
- SCHMIDT, C. (1992): Bemerkenswerte Moosfunde in Westfalen und angrenzenden Gebieten. – Flor. Rundbriefe **26** (2): 125-136.
- SEEDORF, H.H.; MEYER, H.H. (1992): Landeskunde Niedersachsen Band 2. Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. - Neumünster.
- SEIBERT, P. (1992): *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. Et al. 1939. - In: OBERDORFER, E. (Ed.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil IV. Wälder und Gebüsche: Textband: 53-80. - Jena.
- SOLGA, A. (2000): Die Moosflora auf Osningssandstein im nordwestlichen Teutoburger Wald. – Osnabrücker Naturw. Mitt. **26**: 87-108.
- SPEETZEN, E. (1993): Aufbau und Mächtigkeit der Grundmoränen in der Westfälischen Bucht und ihre Beziehung zu Eisvorstößen. – In: SKUPIN, K.; SPEETZEN, E.; ZANDSTRA, J.G. (Eds.): Die Eiszeit in Nordwestdeutschland. Zur Vereisungsgeschichte der Westfälischen Bucht und angrenzender Gebiete: 13-19. - Münster.
- THIERMANN, A. (1970): Erläuterungen zu Blatt 3711 Bevergern. Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000.
- ULRICH, B. (1986): Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. – Forstw. Cbl. **105**: 421-435.
- VERBÜCHELN, G.; HINTERLANG, D.; PARDEY, A.; POTT, R.; RAABE, U.; VAN DE WEYER, K. (1995): Rote Liste der Pflanzengesellschaften in Nordrhein-Westfalen. – Schriftenr. Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung Forsten **5**: 1-318.
- WÄCHTER, H.J. (1994): Zur Ausbildung *Sphagnum*-reicher Quellfluren im Teutoburger Wald. – Ber. Naturw. Verein Bielefeld u. Umgegend **35**: 351-398.
- WASSEN, M.J.; JOOSTEN, J.H.J. (1996): In search of a hydrological explanation for vegetation changes along a fen gradient in the Biebrza upper basin (Poland). – Vegetatio **124**: 191-209.

- WEBER, H.E. (1978): Vegetation des Naturschutzgebietes Balksee und Randmoore (Kreis Cuxhaven). – Natursch. Landschaftspf. Nieders. **9**: 1-168.
- WEBER, H.E. (1995): Flora von Südwest-Niedersachsen und dem benachbarten Westfalen. - Osnabrück.
- WERNER, B.; HENZE, C.-H.; NAGEL, H.-D. (1999): Critical loads für den Stickstoffeintrag. – In: NAGEL, H.-D.; GREGOR, H.-D. (Eds.): Ökologische Belastungsgrenzen. Critical loads & levels: 80-110. - Berlin.
- WIEGLEB, G.; LEHMANN, A.; HAUSFELD, R. (1991): Die Erlenwälder im nordwestlichen Niedersachsen. Methodik der Aufnahme, floristisches Inventar und Gliederung nach strukturellen und floristischen Kriterien. – Tuexenia **11**: 309-343.
- WITTIG, B. (1999): Vegetationskundliche und ökologische Untersuchungen über nordwestdeutsche Kleinseggen-Sümpfe, insbesondere in Hinblick auf Gefährdung und Regenerationspotentiale. – Diss.Bot. **310**: 1-207.
- WITTIG, R. (1980): Die geschützten Moore und oligotrophen Gewässer der Westfälischen Bucht: Vegetation, Flora, botanische Schutzeffizienz und Pflegevorschläge. – Schriftenr. Landesanst. Ökologie, Landschaftsentw., Forstplanung Nordrhein-Westfalen **5**: 1-228.
- WITTIG, R. (1991): Birkenbruchwälder in Nordrhein-Westfalen: eine Literaturübersicht. – Geobot. Kolloq. **7**: 39-44.
- WITTIG, R.; DINTER, W. (1991): Die Erlenbruch- (*Alnion glutinosae*) und Hartholz-Auenwälder (*Alno-Ulmion*) in Nordrhein-Westfalen. – Geobot. Kolloq. **7**: 17-38.

Manuskript angenommen: 9. Oktober 2002

Anschrift der Autoren:

Dr. William Pollmann
Institut für Landschaftsökologie
Westfälische-Wilhelms-Universität Münster
Robert-Koch-Str. 28
D-48149 Münster
e-mail: pollmaw@uni-muenster.de

Prof. Dr. Jürgen Lethmate
Institut für Didaktik der Geographie
Westfälische-Wilhelms-Universität Münster
Robert-Koch-Str. 26
D-48149 Münster
e-mail: lethmat@uni-muenster.de

Görz, E.: Pflanzen bestimmen mit dem Computer. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 2001, CD-ROM. ISBN 3-8252-8168-X. Preis: 24,90 Euro.

Neben den zur naturwissenschaftlichen Arbeit meist ungeeigneten farbig illustrierten „Pflanzenführern“ stehen in der heutigen Zeit zur Pflanzenbestimmung zwei Arten von Bestimmungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die erste, traditionelle, sind sogenannte Bestimmungsschlüssel. Sie beruhen auf streng hierarchisch aufgebauten Entscheidungsbäumen, bei denen über die Bearbeitung einer Frage mit meist zwei oder drei Antwortalternativen zur nächsten weitergegangen wird.

Aus verschiedenen Gründen werden diese Schlüssel von interessierten Laien, aber auch von Studierenden als schwierig und unpraktisch empfunden, da der Bestimmungs- und Lernprozeß durch eine Reihe von Problemen erschwert wird. Durch die außerordentlich hohe Informationsdichte (zahlreiche Fachbegriffe und Abkürzungen) ist zur Beantwortung vieler Fragen bereits ein hohes Detailfachwissen erforderlich. Durch die Variabilität biologischer Merkmale müssen ihre Definitionen oft unscharf formuliert werden. Meist kann auch das Bestimmungsergebnis nicht selbständig überprüft werden und ein Irrtum oder ein fehlendes Merkmal (z. B. Früchte), auch nur an einem Entscheidungsknoten, führt zwangsläufig zum Mißerfolg.

Die zweite Möglichkeit sind datenbankbasierte digitale Bestimmungsmöglichkeiten, die die Möglichkeit bieten, einige der den dichotomen Schlüsseln eigenen Schwierigkeiten zu umgehen. Besonders viel versprechend sind die sogenannten „multi-access-keys“, die die Entscheidung für verschiedene Merkmalsausprägungen ohne vorgegebene Reihenfolge ermöglichen und bis zu einem gewissen Grade Irrtümer „tolerieren“ können. Durch zahlreiche Verknüpfungs- und Kontrollmöglichkeiten (Grafiken, Detailphotos, Definitionen) sind Benutzerfreundlichkeit und Lernmöglichkeiten erheblich steigerungsfähig.

Das hier zu besprechende Werk ist dieser Gruppe von Bestimmungsmöglichkeiten zuzuordnen.

Der Inhalt der CD-ROM ist nach Angabe des Verlages die Flora von Deutschland. Grundsätzlich seien alle in Deutschland wild vorkommenden Arten von Höheren Pflanzen sowie alle Nutzpflanzen und wichtige Zierpflanzen enthalten. Eine genaue Sippenzahl wird aber leider auch vom Autor nicht genannt.

Die CD-ROM ist leicht zu installieren, bedarf nur geringer technischer Voraussetzungen und kann auch direkt von der Diskette genutzt werden. Für die Pflanzenbestimmung am Computer kann zunächst aus 5 Bestimmungsfenstern (Farnpflanzen, Blütenpflanzen, schwierige Familien oder Gattungen, Familienschlüssel, Bestimmung bei bekannter Gattung) ausgewählt werden.

Hierin kann aus einer Reihe von Merkmalen zwischen Merkmalsstufen gewählt werden, die die Artenauswahl immer weiter einschränken, bis im Idealfall nur ein Name übrig bleibt. Ist das Ergebnis ein Gattungs- oder Familienname, kann durch Doppelklick in der entsprechenden Tabelle weitergearbeitet werden. Die Merkmalsstufen sind durch Zeichnungen illustriert, die zwar schematisch richtig, aber auffallend laienhaft, unsauber, unbeschriftet und lieblos wirken.

Benutzt man die Schlüssel probeweise, um z. B. eine bekannte Art „aus dem Gedächtnis“ zu bestimmen, fallen sehr schnell Unzulänglichkeiten auf. So setzt auch dieser Schlüssel umfangreiches botanisches Allgemeinwissen voraus, das aber im Gegensatz zu guten Bestimmungsbüchern in dem eher rudimentär zu nennenden Glossar, das darüber hinaus nicht programmtechnisch mit den erscheinenden Begriffen verknüpft ist, nicht vermittelt wird. Daraus resultierende Fehler, Irrtümer oder Auslassungen werden durchaus nicht generell toleriert, sondern führen bei wichtigeren Entscheidungsfragen genau wie bei dichotomen Schlüsseln zur falschen oder zu gar keiner Artenauswahl. Der Nutzer bemerkt die Kenntnislücke nur später oder gar nicht, da die durch Anklicken verbleibender Sippenamen erscheinenden Diagnosetexte großteils nur die gerade durchlaufenen Merkmalsstufen wiederholen und daher bei mehr als fünf Arten ohne zusätzliche Notizen schwer vergleichbar sind. In den gegebenen Bestimmungshilfen werden Begriffe benutzt, die im Glossar z. T. nicht erläutert werden. Der größte Mangel aber bleibt die fehlende Kontrollfunktion durch geeignete Abbildungen der Arten und ihrer sippenpezifischen Merkmale. Statt dessen wird im Literaturteil auf einen im selben Verlag erscheinenden Fotoband verwiesen, der mehr als das Dreifache der CD-ROM kostet.

Letztendlich sind sicher viele einfach zu bestimmende Sippen namentlich zu ermitteln. Die spärliche Nutzung der programmier-technischen Chancen, eine hypermediale Arbeits- und Lernumgebung zu schaffen, ermöglicht sicher den günstigen Ladenpreis, engt aber ungewollt den Nutzerkreis ein. So ist die CD-ROM dem fortgeschrittenen Floristen keine Hilfe beim Erkennen von Klein- und Unterarten und der Anfänger muß über Zusatzinformationen und Abbildungswerke verfügen, obwohl doch das gewählte Medium geradezu prädestiniert ist, hier eine Gesamtlösung anzubieten.

Erik WELK, Halle (Saale)