

Die Variabilität des Wasser- und Stoffkreislaufes im Einzugsgebiet des Gardno-Sees (Insel Wollin, Nordwestpolen) in den Jahren 1996 bis 2005

Robert KOLANDER

9 Abbildungen und 1 Tabelle

Abstract

KOLANDER, R.: Variability of the water and material cycle in the Lake Gardno Drainage Basin from 1996 to 2005 (Wolin Island, northwestern Poland). – *Hercynia N. F.* 43 (2010): 189–201.

The variability of chemical composition in water circulation is described, based on nine years of research in young glacial forested experimental catchment on the Polish Baltic coast. The research is summed up in a diagram showing variations in mineralisation and chemical composition of the water cycle system. There are three specific hydrochemical groups in the coastal area. The first one consists of three elements which are directly related – precipitation, throughfall and stemflow. This group represents spheres that are strongly influenced by atmospheric deposition (anthropogenic immissions and sea aerosols). Because of the low mineralisation and insufficient buffer system (which works only in the vegetation season) in this group are characteristic seasonal fluctuations and low pH values. The second group represents the throughflow and determines the processes at the boundary of the atmosphere and biosphere to the lithosphere. The third group represents the lithosphere and consists of the surface water and two groundwater levels. Their chemistry is mainly characterised by long-term chemical denudation processes in sediments rather than the atmospheric delivery. This group has high mineralisation rates and neutral to alkaline pH values, that means a high buffering capacity for acids. Environmental monitoring will be continued in the area.

Key words: water cycle system, transformation of precipitation, mineralisation, throughfall, stemflow

1 Einleitung

Die vorliegende Untersuchung beschreibt die Variabilität des Wasser- und Stoffkreislaufes in einem Kleineinzugsgebiet des Gardno-Sees am Beispiel ausgewählter chemischer Indikatoren. Das Gebiet liegt auf der Insel Wollin an der polnischen Ostseeküste. Es steht unter maritimem Einfluss und ist mit Wald bestockt. Die Daten wurden im Rahmen eines integrierten, ökosystemaren Umweltmonitorings erhoben, das sich an Pionierarbeiten im Hubbard Brook Experiment Forest (New Hampshire) anlehnt (siehe HART 1966; BORMANN & LIKENS 1966; JOHNSON et al. 1966, LIKENS et al. 1966, 1970).

Die Ergebnisse werden vor allem bezüglich der Zusammenhänge zwischen den Teilgliedern des Wasserkreislaufes sowie den chemischen Parametern (pH-Werte, Leitfähigkeit, Haupt-Ionen) diskutiert. Im Zusammenhang damit erfolgt die Betrachtung mehrerer Kenngrößen (Niederschlag, Kronentraufe, Stammablauf, Oberflächenabfluss) sowie qualitativer Parameter von oberirdischen Gewässern und zwei Grundwasserstockwerken. Das Ziel ist eine modellhafte Darstellung der Prozessabläufe, ihrer Steuerfaktoren sowie der Stoffhaushaltsdynamik.

2 Das Untersuchungsgebiet

Die Umweltmonitoringstation wurde 1996 auf der Insel Wollin (265 km²) eingerichtet und von der Adam-Mickiewicz-Universität in Poznań betreut. Zu ihren Aufgaben gehört die Langzeit-Beobachtung ausgewählter Prozesse und Strukturen von Geoökosystemen in einem Areal von hohem ökologischen Wert und geringer anthropogener Beeinflussung.

Die Station liegt im Bereich einer Stauchendmoräne im Einzugsgebiet des Gardno-Sees (Abb. 1, 2). Das Relief und die übrigen landschaftlichen Gegebenheiten sind vielgestaltig (MARSZ 1967). Prägend ist der glaziale Formenschatz (Endmoräne der Nordrügenger Staffel, ca. 12 800 BP), der die Insel von Süd nach Nordost als Höhenzug durchschneidet. Die Moränen bestehen aus stark gestörtem Gletschermaterial, in das präquartäre Sedimente wie Kreideablagerungen integriert sind (BORÓWKA et al. 2004). Am südöstlichen Teil der Wolliner Moräne liegt eine Sanderfläche (Dargebanzer Flachland, 20 – 40 m ü. NN). Zu den jüngsten Sedimenten der Insel gehören zwei holozäne Nehrungen (Swine-Pforte und Dievenow-Nehrung) sowie ein ausgedehntes Moorgebiet (Swine-Rückseitendelta, Halbinsel Rów). Auf der Insel Wollin haben sich bisher keine reifen Flusssysteme entwickelt. Man findet hier nur kleine Bäche (Lewińska Struga) und eine Anzahl postglazialer Seen. Der Gardno-See befindet sich im Norden der Insel. Eine wichtige Rolle in der Gesamtwasserbilanz spielt auch ein Netz von Drainagegräben (Codram-Senkung), das die Moränensedimente von der Mitte der Insel entwässert und den Grundwasserabfluss in nordöstliche Richtung ablenkt (CHOISKI et al. 1978).

Mit der Einrichtung eines Nationalparks auf der Insel Wollin im Jahre 1960 wurde dem besonderen ökologischen Wert der Landschaft Rechnung getragen. Der Wolliner Nationalpark umfasst den zentralen Teil

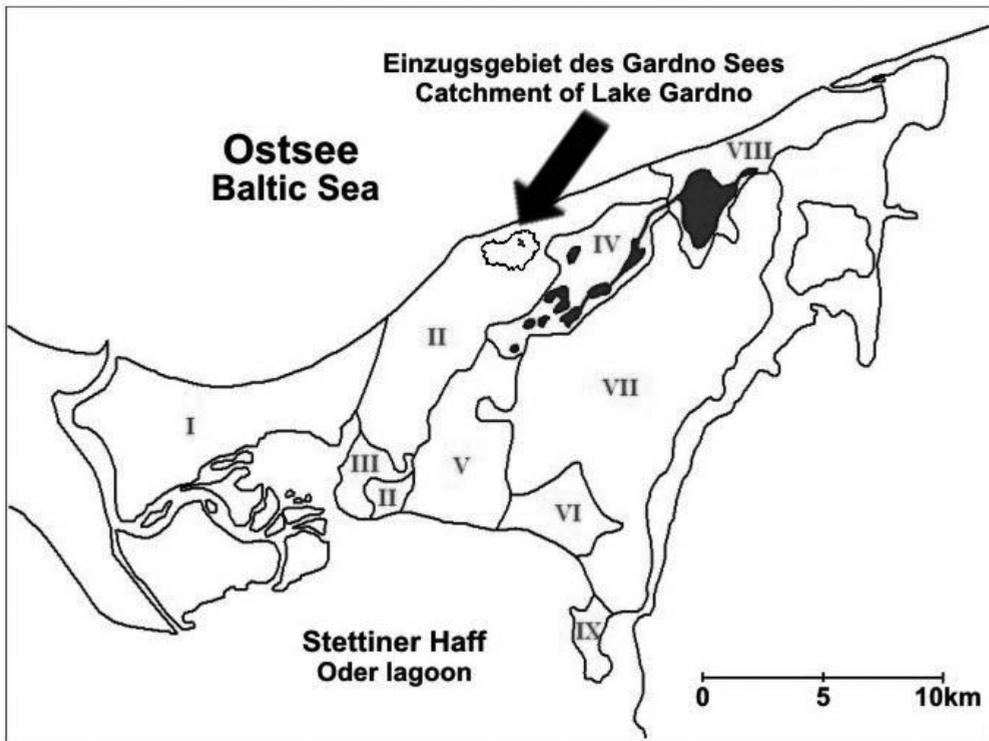


Abb. 1 Einzugsgebiet des Gardno-Sees auf der Insel Wollin vor dem Hintergrund der Physisch-geographischen Regionen (Nordwestpolen): I. Swine-Pforte, II. Wolliner Höhenzug, III. Lebbin-Kalkofen-Hügel, IV. Wolliner Seenplatte, V. Dargebanzer Flachland, VI. Mokrazz-Gebirge, VII. Codram-Senkung, VIII. Dievenow-Nehrung, IX. Halbinsel Rów (MARSZ 1967).

Fig. 1 The catchment of Lake Gardno (Wollin Island) and physico-geographical regions (northwestern Poland): I. Swina Gate, II. Wolinian Range, III. Lubin-Wapnica Hills, IV. Wolinian Lake District, V. Dargobadzian Plain, VI. Mokrzyzan Mountains, VII. Kodrabian Depression, VIII. Dziwna Sand-Bar, IX. Row Peninsula (MARSZ 1967).

der Insel, zu dem das Einzugsgebiet des Gardno-Sees gehört, vor allem aber die Przytorsk-Nehrung (Swine-Pforte), zudem das Swine-Rückseitendelta mit Moorsedimenten, ein Streifen Küstengewässer und das Stettiner Haff. 28 Prozent der Landökosysteme der Insel liegen in den Grenzen des Nationalparks.

Auf der Insel Wollin haben sich während der postglazialen Pedogenese überwiegend Podsole entwickelt (BOROWIEC 1994). Sehr selten trifft man auf Braunerden. Am Rande des Kliffs befindet sich ein Boden, der auf Polnisch „naspa przyklifowa“ genannt wird (PRUSINKIEWICZ 1971). Dieser mit äolischen Sedimenten angereicherte und völlig veränderte ehemalige Podsol hat bis heute keinen Eingang in die internationalen Bodenklassifikation gefunden.

Auf Grund ihrer Lage wird die Insel Wollin dem ozeanisch-maritimen Klimatyp (ROMER 1949, PRAWDZIC 1961, 1963, OKOŁOWICZ 1973, Woś 1993) bzw. der westpommerschen Klimaregion zugeordnet (Wo 1993). Charakteristisch ist der ausgeglichene Jahresverlauf der Temperatur (Jahresdurchschnitt 8,5 °C).



Abb. 2 Blick auf den Gardno-See (Insel Wollin).

Fig. 2 View of the Lake Gardno (Wolin Island).

Die Insel ist in eine maritime und eine binnenländische Vegetation zweigeteilt (PIOTROWSKA 1994). Die Nachbarschaft der Ostsee und des Stettiners Haffs bereichert die Flora. Es kommen hier einige für die Gegend ungewöhnliche Arten vor. Erwähnenswert hinsichtlich der Vegetation sind u. a. das Carici-Fagetum balticum und das Luzulo pilosae-Fagetum.

Die dominierende Reliefform im Wolliner Nationalpark und der gesamten Insel ist die Stauchmoräne mit dem Wolliner Höhenzug (polnisch: Pasma Wolińskie) und den Lebbin-Kalkofen-Hügeln (Pagorki Lubińsko-Wapnickie) (MARSZ 1967). Hier hat die Insel ihren höchsten Punkt (Grzywacz, 115,4 m ü. NN).

Das Gebiet ist vor allem mit Buchen-, Eichen- und Weißbuchenwäldern bedeckt. Selten findet man hier Kiefern-mischwälder vor.

Das Einzugsgebiet des Gardno-Sees umfasst 265 ha. Es hat keinen oberirdischen Abfluss. Im nordöstlichen Teil, ca. 200 m von der Ostsee entfernt, befindet sich der 2,1 ha große und 6,9 m tiefe Gardno-See. Sein Wasserspiegel liegt 16,9 m ü. NN. Der See ist durch Verlandungsprozesse gekennzeichnet.

Die Höheunterschiede im Einzugsgebiet erreichen 98,5 m. Das Einzugsgebiet ist mit Wald bedeckt. Hier findet man vor allem, repräsentativ für diesen Relieftyp, Buchenwälder. Selten sind die Wälder mit Kiefern, Eichen und Fichten durchmisch.

Das Substrat wird durch sehr gut durchlässige Feinsande gebildet. Auf den Sanden haben sich fast nur Podsole entwickelt. Sehr selten findet man hier Braunerde auf Flächen, die ehemals von Eichenwäldern bedeckt waren.

3 Umweltbeobachtung und Untersuchungsmethodik

Das Monitoring-System im Einzugsgebiet des Gardno-Sees umfasst ausgewählte Bestandteile der Umwelt. Untersucht werden Aspekte bzw. Teile der Atmosphäre, Biosphäre, Lithosphäre (Pedosphäre), Hydrosphäre und der Hangesedimente (KOLANDER 1997). Das Monitoring zum Wasserkreislauf bezieht sich vor allem auf die räumliche und zeitliche Variabilität der Wasserqualität und Wassermenge (KOSTRZEWSKI et al. 1999, 2001, 2002, 2004, 2007). Das Konzept sowie die Messmethoden folgen den Standards geökosystemarer Studien (KOSTRZEWSKI 1994, BREUER et al. 1998).

Im östlichen Teil des Pasma Wolińskie befindet sich eine zum Wolliner Nationalpark gehörende Wetterstation, die seit 1986 Wetterbeobachtungen nach den Vorgaben des Polnischen Wetterdienstes (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – IMGW) durchführt. Zur Verfügung stehen ferner zwei in den Jahren 2006 bzw. 2008 neu installierte automatische Wetterstationen – eine im Einzugsgebiet und eine weitere in der Nähe des Kliffrandes in Biała Góra (4 km westlich des Untersuchungsgebietes). Die nächste IMGW-Wetterstation befindet sich in Świnoujście, 20 km westlich vom Einzugsgebiet.

Im nordöstlichen Teil des Einzugsgebietes befindet sich eine Testfläche unter Wald, die repräsentativ für das *Luzulo pilosae*-Fagetum im Moränenbereich ist (Abb. 3). Auf dieser 250 m² Waldtestfläche wurden die Kronentraufe, der Stammablauf und das Bodenwasser untersucht. Hierfür wurden zehn Kronentraufesammler mit 200 cm² Einlauffläche, die durch ein chemisch neutrales Netz geschützt sind, verwendet. Darüber hinaus wurden Stammablaufsammler an drei Buchen installiert. Der Niederschlag wurde über eine spiralförmige Rinne in einem Sammler am Stammfuß aufgefangen (Abb. 4).

Ein weiterer Untersuchungspunkt befand sich auf einem 120 m langen Hang, der zwischen der Waldtestfläche und dem Gardno-See liegt. Das Bodenwasser wurde am Hangfuß in drei verschiedenen Tiefen (30, 60, 210 cm) über ein Rinnensystem gesammelt. Um weitere Glieder des Wasserkreislaufs zu beobachten, wurden Messungen im See und im Grundwasserhorizont durchgeführt. Die Probenahme im Gardno-See erfolgte am tiefsten Punkt des Sees in einer Wassertiefe von 0,5 m. Der Chemismus des Gewässers zeigt die lang andauernden Wirkungen des Einflusses des Grundwassers, des Bodenwassers und der Niederschläge an. Das Grundwasser wurde 40 m vom Seeufer entfernt, in zwei verschiedenen Tiefen, entnommen und anschließend untersucht. Im Jahre 2006 wurde das Monitoringsystem im Einzugsgebiet des Gardno-Sees erweitert und automatisiert. Die Erweiterung ermöglichte die kontinuierliche Erfassung von Wasserhaushaltsgrößen. Verschiedene Parameter (Wassermenge, meteorologische Eigenschaften) wurden vollautomatisch erfasst und waren als Datensätze abrufbar.

Die Wassersammelproben für die chemischen Analysen wurden einmal im Monat entnommen. Der pH-Wert und die Leitfähigkeit wurden vor Ort mit dem Gerät CX 742 Elmetron bestimmt. Die Wasserproben wurden vom hydrochemischen Labor der Geoökologischen Station der Adam-Mickiewicz-Universität in Storkowo (Frau Dr. G. Szpikowska) analysiert (Tab. 1). Die Analysen umfassten folgende Ionen: HCO₃⁻, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄⁻³, Na⁺, K⁺, Mg⁺², Fe⁺³, Mn⁺², Zn⁺². Außerdem wurde SiO₂ analysiert.

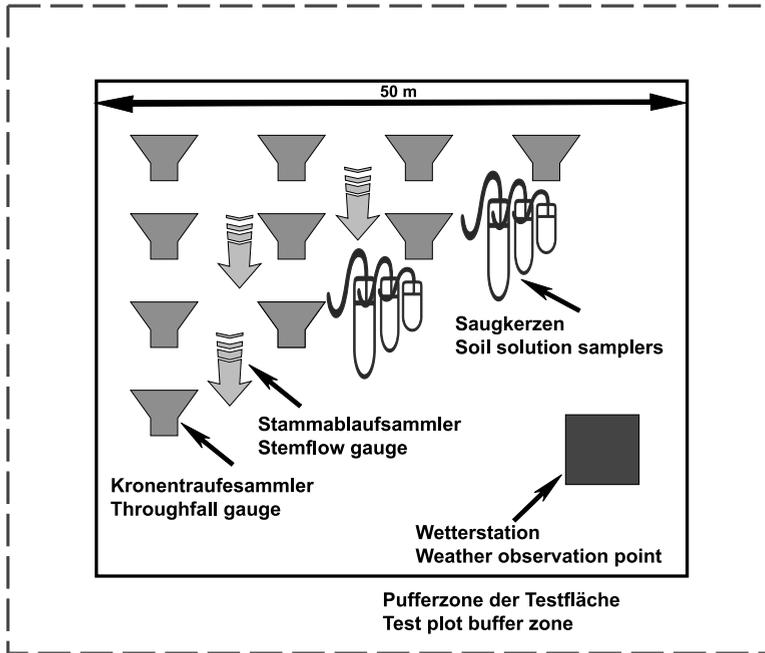


Abb. 3 Waldtestfläche zur Überwachung der Niederschlagstransformation. Einzugsgebiet des Gardno-Sees.

Fig. 3 Test field of precipitation delivery to the forest floor. Catchment of Lake Gardno.



Abb. 4 Stammablaufsammler. Waldtestfläche zur Überwachung der Niederschlagstransformation. Einzugsgebiet des Gardno-Sees.

Fig. 4 Stemflow gauge. Test field of precipitation delivery to the forest floor. Catchment of Lake Gardno.

Tab. 1 Methoden der hydrochemischen Laboranalytik und bearbeitete Parameter.

Tab. 1 Hydrochemical laboratory methods and analysed parameters.

Methode, Gerät	Bestimmung
Flammen-Atomemissionsspektrometrie, Spektra 20 plus Varian	Na ⁺ , K ⁺
Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie, Spektra 20 plus Varian	Mg ²⁺ , Fe ³⁺ , Mn ²⁺ , Zn ²⁺
Ionenchromatographie, Dionex	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
Spektrophotometrie, Spekol 1100	NH ₄ ⁺ , PO ₄ ³⁻ , SiO ₂
Alkalimetrische Titration	HCO ₃ ⁻
Komplexometrische Titration mit EDTA	Ca ²⁺

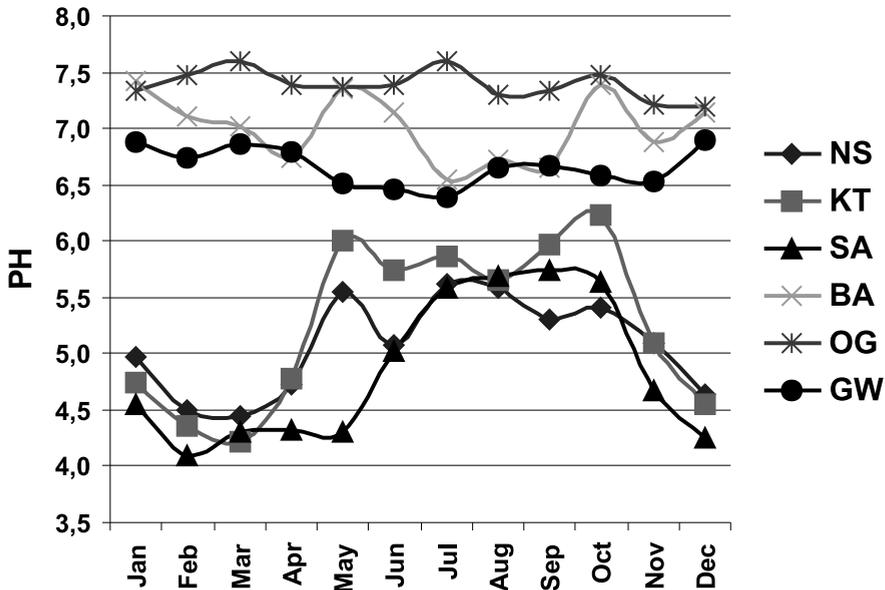


Abb. 5 Veränderung des pH-Wertes im Wasserkreislauf im Jahresgang (Einzugsgebiet des Gardno-Sees). Monatsdurchschnitt 1997 – 2005. NS = Niederschlag ($\sigma = 0,54$), KT = Kronentraufe ($\sigma = 1,00$), SA = Stammablauf ($\sigma = 0,66$), BA = Bodenabfluss Hänge ($\sigma = 0,41$), OG = oberirdische Gewässer ($\sigma = 0,22$), GW = Grundwasser-I-Niveau ($\sigma = 0,37$).

Fig. 5 Variability of pH in the water circulation of the Lake Gardno catchment. Monthly average (years 1997 – 2005): NS = precipitation (SD = 0,54), KT = throughfall (SD = 1,00), SA = stemflow (SD = 0,66), BA = throughflow (SD = 0,41), OG = surface water (SD = 0,22), GW = groundwater-I level (SD = 0,37).

Mit den Analysen der quantitativen und qualitativen Dynamik der Ionenkonzentrationen sowie der Zusammensetzung der Wasserhaushaltsglieder wird die Beschreibung der Veränderlichkeit des Chemismus im Wasserkreislauf des Einzugsgebietes des Gardno-Sees möglich.

4 Diskussion

Die folgenden Ausführungen basieren auf den Monatsmittelwerten der Jahre 1997 – 2005. Der Vergleich der durchschnittlichen pH-Werte der verschiedenen Glieder des Wasserkreislaufs zeigt eine bestimmte Regelmäßigkeit (Abb. 5). Der pH-Wert im Niederschlag, in der Kronentraufe und im Stammablauf hängt von der Vegetationsperiode und der Luftverschmutzung im Winter ab. Die höchsten Werte findet man in der Vegetationsperiode, wenn die Auskämmung durch die Assimilationsorgane sehr intensiv ist. Der pH-Wert in der Kronentraufe liegt in dieser Periode um 0,8 höher als im Niederschlag. Während der Vegetationsperiode finden Neutralisationsprozesse in der Kronentraufe statt (Abb. 6).

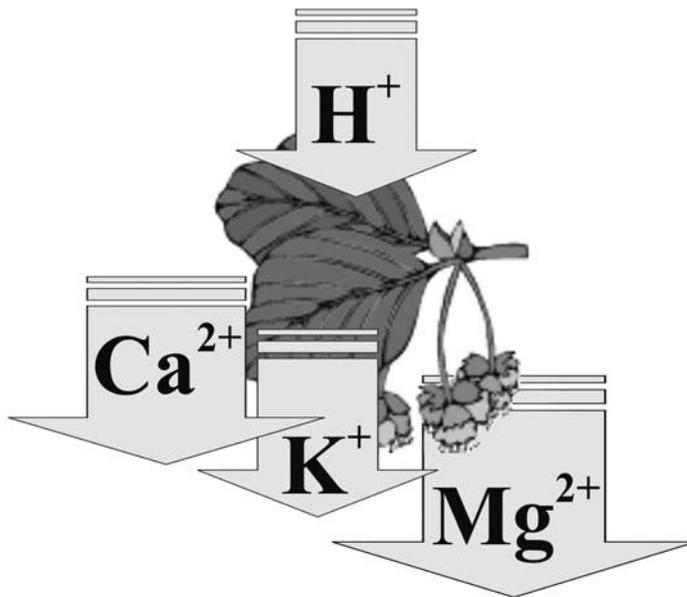


Abb. 6 Ionenaustausch zwischen Niederschlagswasser und Assimilationsorganen.

Fig. 6 Chemical replaceable reaction between precipitation and assimilation organs.

Der Niederschlag, der durch die Baumkronen bis zum Waldboden durchdringt, erreicht einen maximalen pH-Wert von 6,2. Außerhalb der Vegetationsperiode hat die Luftverschmutzung die größte Bedeutung für die Höhe des pH-Wertes. Staubablagerungen auf den Pflanzen werden durch den Niederschlag zum Waldboden transportiert. SO_2 - und NO_x -Verbindungen lösen sich im Niederschlagswasser und bilden Säuren. Im Winter, wenn der Niederschlag besonders sauer ist, erreichen die pH-Werte am Waldboden nur 4,1.

Eine geringere Variabilität und höhere absolute pH-Werte beobachtet man in den oberirdischen Gewässern, im Grundwasser und im Bodenabfluss. Carbonate haben eine herausragende Bedeutung für ökosystemare Prozesse. In den meisten Oberflächengewässern ist das Carbonation das wichtigste Kation. Es kommt meist in Konzentrationen von mehreren 100 mg l^{-1} vor. Carbonate regulieren den pH-Wert im Wasser und bilden in den Gewässern ein natürliches Puffersystem. Sie gelangen durch CO_2 -Absorptionsprozesse aus der Atmosphäre, indirekt durch Photosynthese (durch Verringerung der CO_2 -Gehalte im Wasser und dadurch relativer Anstieg des Partialdruckes aus der Atmosphäre). Außer den biogenen Quellen sind im Einzugsgebiet des Gardno-Sees die häufig in der Wolliner Stauchmoräne vorhandenen Reste älterer Sedimente, wie kreidezeitliche Kreide und Mergel, eine wichtige mineralische Quelle von HCO_3^- und

Ca^{2+} . Wegen der chemischen Verwitterung beobachtet man hohe Konzentrationen von HCO_3^- und Ca^{2+} in den oberirdischen Gewässern, im Grundwasser und im Bodenabfluss. Die pH-Werte im Gardno-See schwanken geringfügig zwischen 7,2 und 7,6, was zeigt, dass das Gewässer über eine hohe Pufferkapazität verfügt. Grundwasser und Bodenabfluss weisen nur unbedeutend niedrigere pH-Werte auf als der Gardno-See. Dies zeigt, dass die drei Wasserkreislaufglieder in diesem Gebiet eng miteinander verknüpft sind. Eine Änderung des pH-Wertes in einem Glied spiegelt sich auch in den Übrigen wider. Große saisonale Schwankungen des pH-Wertes im Niederschlag, der Kronentraufe und dem Stammablauf verursachen keine Änderung des pH-Wertes in den oberirdischen Gewässern, im Grundwasser und im Bodenabfluss.

Bei der Betrachtung der elektrischen Leitfähigkeit zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie beim pH-Wert (Abb. 7). Im Niederschlag, in der Kronentraufe und im Stammablauf sind die geringsten Leitfähigkeiten zu beobachten. Sie liegen in einer Größenordnung von ca. 10 bis 30 μScm^{-1} . Diese können im Winter höher sein. Die Leitfähigkeit in den oberirdischen Gewässern und im Grundwasser schwankt im Jahr geringfügig zwischen 310 – 370 μScm^{-1} . Die Leitfähigkeit im Bodenabfluss variiert stärker und liegt zwischen 150 – 320 μScm^{-1} . Dies ist von der Höhe des Niederschlags abhängig. Die niedrigsten Werte wurden in den Monaten August bis Oktober und die höchsten im Januar festgestellt.

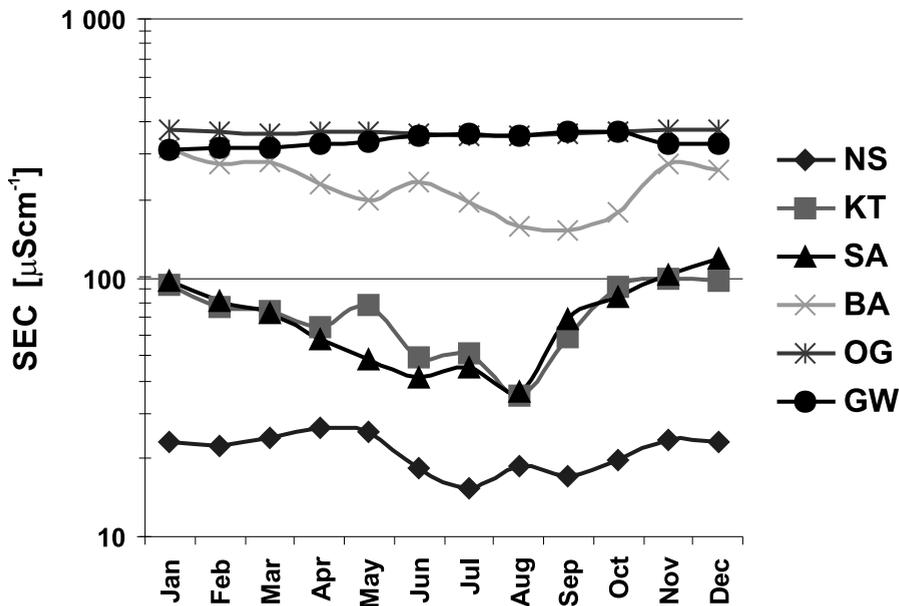


Abb. 7 Veränderlichkeit der elektrischen Leitfähigkeit im Wasserkreislauf im Einzugsgebiet des Gardno-Sees. Monatsdurchschnitt für den Zeitraum von 1997 – 2005. NS = Niederschlag ($\sigma = 6,3$), KT = Kronentraufe ($\sigma = 28,7$), SA = Stammablauf ($\sigma = 42,9$), BA = Bodenabfluss Hänge ($\sigma = 101,9$), OG = Oberirdische Gewässer ($\sigma = 19,9$), GW = Grundwasser-I-Niveau ($\sigma = 16,1$).

Fig. 7 Variability of electrical conductivity in the water circulation of the Lake Gardno catchment. Monthly average 1997 – 2005. NS = precipitation (SD = 6,3), KT = throughfall (SD = 28,7), SA = stemflow (SD = 42,9), BA = throughflow (SD = 101,9), OG = surface water (SD = 19,9), GW = groundwater-I level (SD = 16,1).

Chlor und Natrium sind die wichtigsten gelösten Stoffe im Wasserkreislauf aller terrestrischen und limnischen Ökosysteme. Die Natrium- und Chlorid-Ionen bilden auch die wichtigsten Meersalze. Da die Aerosole aus dem Meer die Mehrzahl der Kondensationskerne maritim generierter Niederschläge bilden, haben diese Ionen wegen erhöhter Konzentrationen eine noch größere Bedeutung in Ökosystemen unter

maritimen Einfluss. Der Salzgehalt der Pommerschen Bucht beträgt durchschnittlich 5 ‰, und die elektrische Leitfähigkeit 9.700 mS cm^{-1} . 60 Prozent der Winde in diesem Gebiet kommen aus westlichen bzw. nordwestlichen Richtungen. Damit gelangen maritime Aerosole direkt in das Ökosystem des Gardno-Sees und dessen Wasserkreislauf. Die Konzentration der Chlorid- und Natrium-Ionen im Wasserkreislauf des Gardno-See-Einzugsgebietes sind durchschnittlich zwei- bis dreimal höher als in Gebieten Mittelpolens oder Mitteldeutschlands (AG-DEPOSITION DER ÖKOSYSTEMFORSCHUNGSZENTREN 1994, JANSEN & MARTIN 1995). Extrem erhöhte Konzentrationen von Cl^- und Na^+ (aber auch Mg^{+2} , K^+ , Mn^{+2} und SO_4^{-2}) treten während Stürmen auf, wenn große Mengen von Aerosolen aus dem Meer auf die Insel gelangen. Hohe Windgeschwindigkeit und Brandung multiplizieren Prozesse wie Schaumbildung, Aufreißen der Meeresoberfläche und Aufstieg von im Meereswasser gelösten atmosphärischen Gasen. Extrem erhöhte Ionenfrachten an Meeres aerosolen im Niederschlag, in der Kronentraufe und im Stammablauf sind charakteristisch für die Jahreszeiten mit starken Stürmen, wie sie sich im Herbst 1997 und Frühjahr 1998 und 1999 ereigneten. Der maximale Wert des Eintrages an maritimen Ionen fand im September 1997 statt. In diesem Monat sind in der Kronentraufe 68 % der jährlichen Ionenfracht von Chlor, 63 % von Natrium, 43 % von Magnesium, 41 % von Mangan und 24 % der Sulfate gemessen worden. Vergleichsdaten liegen z. B. aus Westirland vor, wo während zweier Wochen starker Winterstürme 45 % der jährlichen Ionenfracht von Natrium in Waldböden eingetragen wurde (FARRELL et al. 1998).

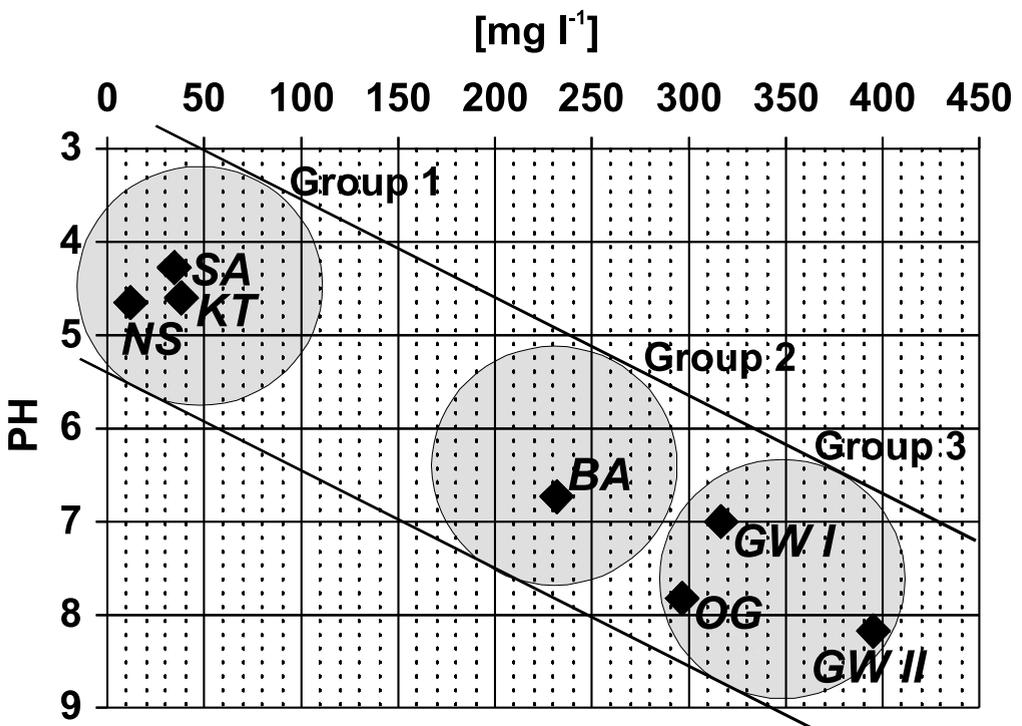


Abb. 8 Hydrochemischen Gruppe des Wasserkreislaufes im Einzugsgebiet des Gardno-Sees. NS = Niederschlag, KT = Kronentraufe, SA = Stammablauf, BA = Bodenabfluss Hänge, OG = Oberirdische Gewässer, GW I = Grundwasser-I-Niveau, GW II = Grundwasser-II-Niveau.

Fig. 8 Hydrochemical groups of water circulation in the Lake Gardno catchment. NS = precipitation, KT = throughfall, SA = stemflow, BA = throughflow, OG = surface water, GW I = groundwater-I level, GW II = groundwater-II level.

Die einzelnen Glieder des Wasserkreislaufs können drei verschiedenen chemischen Gruppen zugeordnet werden (Abb. 8). Die erste Gruppe besteht aus drei Elementen, die in direktem Zusammenhang stehen – Niederschlag, Kronentraufe und Stammablauf. Diese Gruppe repräsentiert die atmosphärischen und biosphärischen Bereiche, welche stark vom atmosphärischen Eintrag beeinflusst sind (z.B. anthropogene Immissionen oder Meeresaerosole). Wegen der geringen Mineralisation und des ungenügenden Puffersystems (wirkt nur in Vegetationsperiode [Abb. 6]) sind für diese Teile des Wasserkreislaufs auch kurzfristige, große und saisonale Schwankungen sowie niedrige pH-Werte charakteristisch. Die zweite Gruppe repräsentiert den Bodenabfluss auf Hängen. Diese Gruppe, die die Prozesse an der Grenze der Atmosphäre und Biosphäre zur Lithosphäre bestimmt, bildet das Bindeglied zwischen Gruppe 1 und 3, wobei die Zusammenhänge zwischen Gruppe 1 und 3 oft auch direkt sind. Die dritte Gruppe besteht aus drei Wasserkreislaufgliedern, dem oberirdischen Gewässer und zwei Grundwasserstockwerken. Diese Gruppe repräsentiert die Lithosphäre. Ihr Chemismus wird überwiegend von längerfristigen (mindestens seit der Weichsel-Eiszeit) chemischen Verwitterungsprozessen in Sedimenten und weniger durch den atmosphärischen Eintrag geprägt. Diese Gruppe weist stark mineralisierte Wässer und neutrale bis alkalische pH-Werte auf. Aufgrund ihrer hohen Pufferkapazität sind die oberirdischen Gewässer und das Grundwasser in der Lage, schädliche Immissionen zu absorbieren.

5 Zusammenfassung

KOLANDER, R.: Die Variabilität des Wasser- und Stoffkreislaufes im Einzugsgebiet des Gardno-Sees (Insel Wollin, Nordwestpolen) in den Jahren 1996 bis 2005. – *Hercynia N. F.* **43** (2010): 189–201.

Auf Basis neunjähriger Untersuchungen in diesem Gebiet kann der Wasserkreislauf qualitativ beschrieben werden (Abb. 9). Der Niederschlag hat die geringste Lösungsfracht ($14,5 \text{ mg l}^{-1}$). Einen bedeutenden Anteil haben maritimes Cl^- und Na^+ , auf sie entfallen ca. 20 % der gelösten Substanzen. SO_4^{2-} und NO_3^- stellen ca. 45 % der Lösungsfracht. Sie stammen größtenteils aus anthropogenen Quellen, SO_4^{2-} aber auch aus maritimen Aerosolen (KOLANDER 2007). Kronentraufe und Stammablauf weisen dreifach erhöhte Werte im Vergleich zum Niederschlag auf.

Hierfür verantwortlich sind die Interceptionsverdunstung (ca. 40 %), Abpülungsprozesse von Pflanzenoberflächen und die Ionenabgabe der Blätter. In der Bodenlösung liegt die Konzentration der meisten Ionen über der des Niederschlags. Eine Ausnahme hiervon bildet z. B. Zn^{2+} .

Die Wasserinhaltsstoffe in der Kronentraufe und im Stammablauf sind stärker differenziert als im Niederschlag. Einen sehr großen Anteil haben hier die maritimen Ionen wie Cl^- und Na^+ sowie teilweise Mg^{+2} und Mn^{+2} . Es steigt die Bedeutung der Makronährstoffe K^+ und PO_4^{3-} sowie teilweise von Mg^{+2} und Mn^{+2} . Das Zusammenwirken von Klima und Sedimenten sowie der Kontakt des Wassers mit dem Boden sind maßgeblich für die Verwitterungsprozesse. Die Lösungsfracht derjenigen Wasserkreislaufglieder, die Kontakt mit der Lithosphäre haben, ist deutlich erhöht (bis ca. 300 mg l^{-1}). Diese stammen zum großen Teil aus den kalkhaltigen Glazialsedimenten. Die Ca^{+2} -Ionen stellen 34 bis 44 % der Fracht, die HCO_3^- -Ionen 28 bis 40 %. Bei Durchsickerung in tiefer gelegene Schichten erhöht sich die Lösungsfracht weiter.

Prozentual steigt der Anteil der vertikal leicht verlagerbaren Ionen Cl^- und Na^+ . Der hohe Anteil von SO_4^{2-} stammt wiederum aus kreidezeitlichen Glazialsedimenten.

Die hydrologischen Daten belegen eine gute Umweltqualität. Im Winter weist das Niederschlagswasser leicht saure Werte auf, bedingt durch die höhere Immission von SO_2 und NO_x . Das ist aber typisch für diese geografische Lage. Die niedrigen pH-Werte der Niederschläge wirken sich nicht deutlich auf die übrigen Wasserhaushaltsglieder aus – deren pH-Werte bleiben stabil. Der Protonenanteil von 7 % im Niederschlag führt zu geringen Lösungsfrachten H^+ , nämlich $104,8 \text{ g ha}^{-1}$ außerhalb der Vegetationsperiode und nur $6,4 \text{ g ha}^{-1}$ während der Vegetationsperiode, wenn die Aufnahme durch Pflanzen stattfindet.

Das Umweltmonitoring wird in diesem Gebiet fortgeführt. So können nachteilige Veränderungen der Umweltbedingungen möglichst früh erkannt und ggf. Schutzmaßnahmen eingeleitet werden.

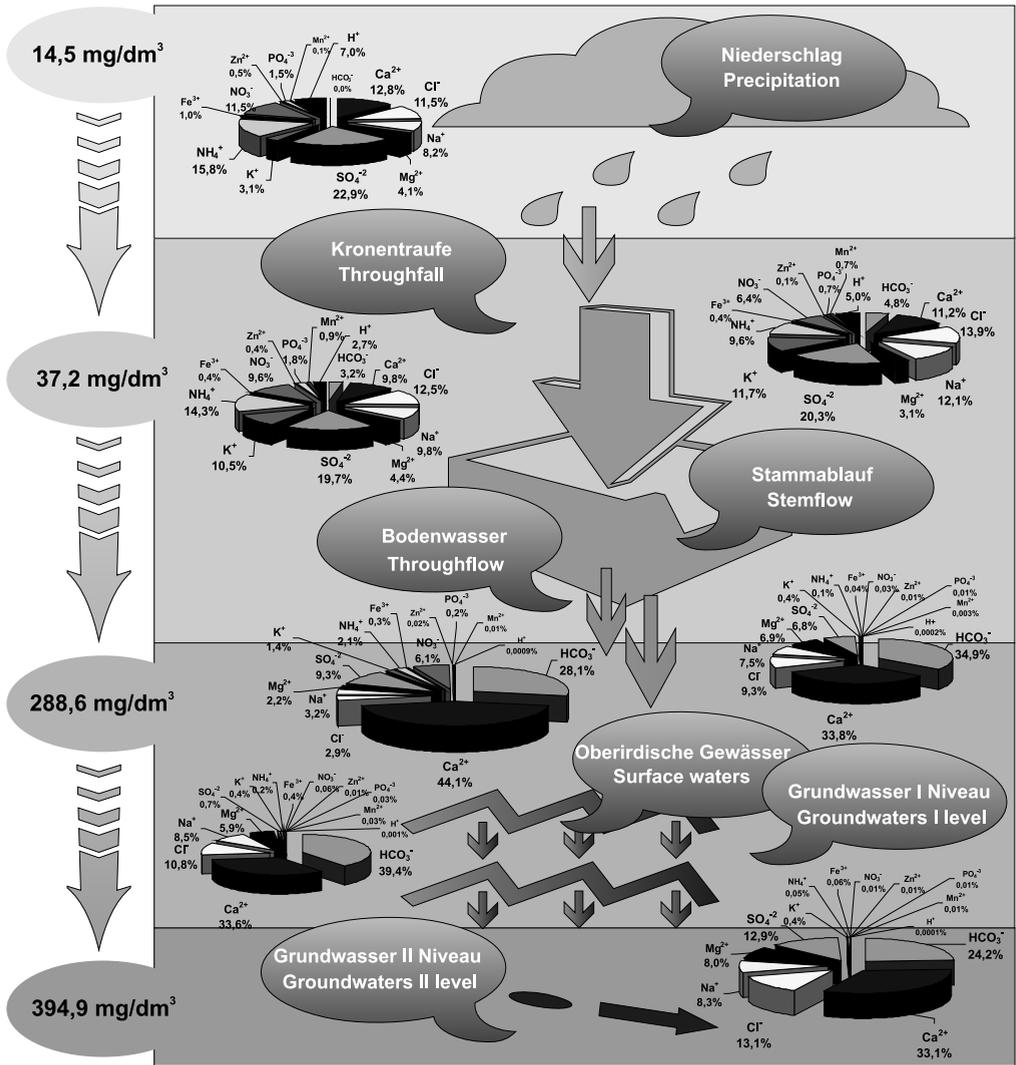


Abb. 9 Wasserkreislauf im Einzugsgebiet des Gardno-Sees. Mineralisation und Ionenanteil für die Jahre 1997 bis 2005.

Fig. 9 System of water circulation in the Lake Gardno catchment. Mineralisation and chemical composition of waters for the period 1997 – 2005.

6 Literaturverzeichnis

ARBEITSGRUPPE DEPOSITION DER ÖKOSYSTEMFORSCHUNGSZENTREN (Ed.) (1994): Gemeinsames Konzept der langfristigen Erfassung von Stofftransporten zwischen terrestrischen Ökosystemen und der Atmosphäre. – Workshop der AG Deposition der Ökosystemforschungszentren im Schloß Nienover, Solling, 24.2. – 27.2.94; Protokoll. Göttingen: Selbstverlag, Forschungszentrum Waldökosysteme, Univ. Göttingen, 74 S.

BORMANN, F. H. & LIKENS G. E. (1966): Comparative nutrient losses in solution and in particulate matter from an undisturbed northern hardwood ecosystem. – *Bull. Ecol. Soc. Amer.* **47** (3): 115–125.

- BREUER, M.; HINGST, R.; HÖRMANN, G.; IRMLER, U.; MÜLLER, F.; REICHE, E.W.; SCHAEFER, W.; SCHAUERTE U.; SCHIMMING, C.; SCHRAUTZER, J.; WELLBROOK, N. (1998): Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Ergebnisse integrativer Langzeitauswertung in einem Buchenwald. – *Christiana Albertina* **47**: 155–166.
- BOROWIEC, S. (1994): Wyniki i perspektywy badań gleboznawczych na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. – In: KOSTRZEWSKI, A. (Ed.): Stan i perspektywy badań naukowych na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. – WPN, Międzyzdroje. **1**: 25–39.
- BORÓWKA, R.; FRIEDRICH, S.; HESSE, T.; JASNOWSKA, J.; KOCHANOWSKA, R.; OPCHOWSKI, M.; STANECKA, E.; ZYSKA, W. (2004): *Natur Westpommerns. – Oficyna in Plus, Szczecin.*
- CHOISKI, A.; KOWALSKI, G.; ŚWIRKO, A. (1978): Stosunki wodne wyspy Wolin. – In: KOSTRZEWSKI, A. (Ed.): *Studia z geografii fizycznej i ekonomicznej wyspy Wolin. – SKNG, UAM, Poznań*, **1**: 78–94.
- FARRELL, E. P.; VAN DEN BEUKEN, R.; BOYLE, G. M.; CUMMINIS, T.; AHERNE, J. (1998): Interception of Sea salt by coniferous and broadleaved woodland in a maritime environment in western Ireland. – *Chemosphere* **36** (4–5): 985–987.
- JANSEN, M.; MARTIN, P. G. (1995): Anwendung des Bestandessimulationsmodells TREEDYN3 auf die Fichten-Versuchsfläche Solling F1. – *Ber. Forsch.zentrums Waldökosysteme, Selbstverlag Forschungszentrum Waldökosysteme, Univ. Göttingen, Reihe B* **45**: 1–81.
- HART, G. E. J. (1966): Forest cutting to increase streamflow in the White Mountains. – *New Hampshire Forest Notes* **89**: 6–9.
- JOHNSON, N. M.; LIKENS, G. E.; BORMANN F. H.; PIERCE, R. S. (1966): Bulk chemical changes and rate of chemical weathering in central New Hampshire. – *Trans. Amer. Geophys. Union* **47**: 83–84.
- KOLANDER, R. (1997): Współczesny system denudacyjny zlewni jeziora Gardno – założenia realizacji programu pomiarowego. – *Seminarium: Ochrona Środowiska Przyrodniczego Wolińskiego Parku Narodowego. Funkcje i Zadania – Plan Ochrony Parku. Grodno 16. – 17.10.97, Wyd. Arch. Państw. „Dokument”, Szczecin*: 57–58.
- KOLANDER, R. (2000): Present-day Denudation System of The Gardno Lake Catchment – Assumptions. – *Soil Transformation in Ecosystems Threatened by Erosion. International Conference. Szczecin, 30.08. – 01.09.2000. Excursion Guide & Abstracts* **1**: 99–100.
- KOLANDER, R. (2003): Delivery of Dissolved Matter to the Floor of a *Luzulo pilosae* Fagetum Forest Community in the Catchment of Lake Gardno (North-Western Poland, Wolin Island). – *Regional Geomorphology Conference Mexico 2003. Geomorphic Hazards: Towards the Prevention of Disasters. Mexico City, 27.10. – 02.11.2003. 1*: 1–144.
- KOLANDER, R. (2007): Wpływ ponadprzeciętnych warunków anemometrycznych na kształtowanie się składu chemicznego opadu podkoronowego w zlewni jeziora Gardno na wyspie Wolin. – In: KOSTRZEWSKI, A. & SZPIKOWSKI, J. (Ed.): *Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych. Procesy ekstremalne w środowisku geograficznym. – Bogucki Wyd. Nauk., Poznań*, **4**: 309–315.
- KOSTRZEWSKI, A. (1994): *Stacja Bazowa Storkowo. – Bib. Monit. Środ., Warszawa.*
- MARSZ, A. (1967): Próba regionalizacji fizyczno-geograficznej wyspy Wolin. – *Bad. Fiz. n. Pol Zach. Poznań* **17**: 11–34.
- KOSTRZEWSKI, A.; KOLANDER, R.; SZPIKOWSKI, J. (1999): Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. – In: LANDSBERG-UCZCIWEK, M. (Ed.): *Raport o stanie środowiska w województwie Zachodniopomorskim w latach 1997–1998. IOŚ. – WIOŚ Szczecin, Biblioteka Monitoringu, Szczecin. 1*: 177–190.
- KOSTRZEWSKI, A.; KOLANDER, R.; SZPIKOWSKI, J. (2001): Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na terenie województwa zachodniopomorskiego w latach 1999–2000. – In: LANDSBERG-UCZCIWEK, M. (Ed.): *Raport o stanie środowiska w Województwie Zachodniopomorskim w roku 2000. IOŚ. – WIOŚ Szczecin, Biblioteka Monitoringu, Szczecin. 2*: 135–148.
- KOSTRZEWSKI, A.; KOLANDER, R.; SZPIKOWSKI, J. (2002): Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na terenie województwa zachodniopomorskiego w roku 2001. – In: LANDSBERG-UCZCIWEK, M. (Ed.): *Raport o stanie środowiska w Województwie Zachodniopomorskim w roku 2001. IOŚ, WIOŚ Szczecin, Biblioteka Monitoringu, Szczecin. 3*: 151–166.
- KOSTRZEWSKI, A.; KOLANDER, R.; SZPIKOWSKI, J. (2004): Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na terenie województwa zachodniopomorskiego w latach 2002–2003. – In: LANDSBERG-UCZCIWEK, M. (Ed.): *Raport o stanie środowiska w Województwie Zachodniopomorskim w latach 2002–2003. IOŚ, WIOŚ Szczecin, Biblioteka Monitoringu, Szczecin. 4*: 280–288.
- KOSTRZEWSKI, A.; KOLANDER, R.; SZPIKOWSKI, J. (2007): Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. – In: LANDSBERG-UCZCIWEK, M. (Ed.): *Raport o stanie środowiska w Województwie Zachodniopomorskim w latach 2004–2005. IOŚ, WIOŚ Szczecin, Biblioteka Monitoringu, Szczecin. 5*: 198–222.
- LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; JOHNSON, N. M.; PIERCE R. S. (1966): The cation budget for a small forested ecosystem. – *Bull. Ecol. Soc. Amer.* **47** (3): 105–115.
- LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; JOHNSON, N. M.; FISHER, D. W.; PIERCE R. S. (1970): Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. – *Ecol. Monogr.* **40**: 23–47.

- OKOŁOWICZ, W. (1973): Regiony klimatyczne. – Narodowy Atlas Polski. Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk.
- PIOTROWSKA, H. (1994): Aktywna ochrona zasobów roślinnych Wolińskiego Parku Narodowego w świetle naturalnej antropogenicznej historii lasów wyspy Wolin. – In: KOSTRZEWSKI, A. (Ed.): Klify. Międzyzdroje. 1: 63–77.
- PRUSINKIEWICZ, Z. (1971): Nasy przyklifowe – nowy typ gleb morskiego pobrzeża. – Zesz. Nauk. UMK, Geogr. 26 (8): 133–157.
- PRAWDZIC, K. (1961): Klimat województwa szczecińskiego w świetle potrzeb rolnictwa. – Wyd. Urz. Woj., Szczecin
- PRAWDZIC, K. (1963): Klimat Basenu Szczecińskiego. – Bad. Fizjogr. n. Pol. Zach. 9: 61–131.
- ROMER, E. (1949): Regiony klimatyczne Polski. – Prace Wrocł. Tow. Nauk. Ser. B, Wrocław. 16: 1–28.
- WOLDSTED, P.; DUPHORN, K. (1974): Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. – 3. Aufl., Koehler, Stuttgart.
- WOŚ, A. (1993): Regiony klimatyczne Polski w świetle częstości występowania różnych typów pogody. – Zesz. Inst. Geogr. i Przestrz. Zagospod. PAN, 19. – Bogucki Wyd. Nauk, Warszawa.

Manuskript angenommen. 30. September 2010

Anschrift des Autors:

Dr. Robert Kolander

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften

Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle (Saale)

E-mail: robert.kolander@geo.uni-halle.de

BAUMANN, K. (2009): Entwicklung der Moorvegetation im Nationalpark Harz. – Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz 4, 244 S. – (ohne ISBN) – Schutzgebühr: 20,00 Euro.

Während die vorangegangenen drei Bände der Schriftenreihe Tagungsberichte zu drei verschiedenen Themenschwerpunkten sind, widmet sich der vorliegende vierte Band monografisch den Mooren des Harzes. Deren Erforschung reicht bis in die zwanziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück. Die Intensität der Beschäftigung mit den Mooren im Harz ist darüber hinaus – bezogen auf die deutschen Mittelgebirge – einmalig, wobei nicht zuletzt die große Zahl der Moore sowie ihre morphologische Vielfalt ein vielversprechendes Betätigungsfeld liefern. Während die Moore des Westharzes bereits bis 1990 sehr gut erforscht waren (u.a. JENSEN 1987, 1990: Die Moore des Hochharzes. Allgemeiner und Spezieller Teil), fehlten entsprechend detaillierte Untersuchungen im Brockengebiet auf DDR-Seite, da das Gelände als Grenzgebiet bis Ende 1989 nicht zugänglich war.

Anliegen der umfangreichen Arbeit, die von der Nationalparkverwaltung in Auftrag gegeben wurde, war nicht nur die Inventarisierung, insbesondere der in dem zur damaligen DDR gehörenden Teil des Hochharzes, sondern außerdem ein Vergleich zu den Befunden, die von Jensen zwischen 1969 und 1975 erbracht worden waren. Somit liefert die Arbeit zugleich Daten darüber, inwieweit sich Veränderungen in einzelnen Gebieten vollzogen haben. Diese sind umso wertvoller, als durch den weitgehenden Ausschluss menschlicher Tätigkeit im Gebiet selbst mit den nachweisbaren Veränderungen umso besser Aussagen über Ferneinträge oder verändertes Witterungsgeschehen getroffen werden können.

In den kurzen Ausführungen zum Untersuchungsgebiet und den Methoden werden u. a. die bei den Erhebungen unterschiedenen Moortypen kurz charakterisiert. Hierzu gehören soligene Hangmoore, die vor allem auf sachsen-anhaltischer Seite besonders vielfältig in Vegetation und Struktur vertreten sind, Hanghochmoore (soli-ombrogene Hangmoore), exzentrische Hochmoore, Gipfel- und Kammmoore), Sattelmoores sowie Komplexmoore. Insgesamt wurden zwischen 2006 und 2009 38 Moore flächendeckend vegetationskundlich erfasst, wobei 47 Kartiereinheiten verwendet wurden. Die detaillierte Erfassung der Moorvegetation spiegelt sich in der feinen Differenzierung der vier Haupt-Moorvegetationseinheiten in insgesamt 29 Subassoziationen und Varianten wider (*Carex rostrata*-Gesellschaft, *Molinia caerulea*-Dominanzbestand, *Eriophorum angustifolium*-Gesellschaft, *Sphagnetum magellanicum*). Die Vegetationseinheiten werden in einem eigenen Kapitel ebenfalls kurz charakterisiert.

Den Hauptteil des Buches nehmen ausführliche Beschreibungen der einzelnen Moore ein, wobei eine konsequente Gliederung in einen allgemeinen Teil, in einen Abschnitt zu „Vegetation, Moorkomplexen und Entwicklungstendenz“ sowie zur Flora den Vergleich zwischen den einzelnen Mooren wesentlich erleichtert. Der „allgemeine“ Abschnitt enthält Informationen zur Lage, zum Moortyp und zur Moortiefe, zur Entstehung, Hydrografie und zu Nutzungen und Beeinträchtigungen. Die floristischen Aspekte beschränken sich auf Angaben zu ausgewählten, besonders seltenen Arten in den Harzer Mooren. Diese wurden flächenscharf erfasst (*Betula nana*, *Carex limosa*, *C. pauciflora*, *C. lasiocarpa*, *C. vaginata*, *Erica tetralix*). Zu jedem Moor gibt es einzelne farbige Vegetationskarten, tabellarische Übersichten zur Flächenbilanz der Pflanzengesellschaften und Moorkomplexe sowie meist mehrere Detail- und Übersichtsfotos. Zusätzlich enthält die Arbeit als Beilagen eine Vegetationstabelle mit Aufnahmen aus wachsenden Moorbereichen und den daraus abgeleiteten Kartierschlüssel der einzelnen Vegetationseinheiten. Auf drei Kartenbeilagen (1 : 15 000) sind die Vegetation der untersuchten Moore in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt sowie die Moorkomplexe der niedersächsischen Moore dargestellt.

In einem zusammenfassenden Kapitel befinden sich u. a. Übersichtstabellen mit den Flächenbilanzen der wichtigsten Vegetationseinheiten aller und der Flächenbilanzen der Moorkomplexe der untersuchten niedersächsischen Moore. Eine Übersicht über Vegetationsveränderungen in den niedersächsischen Mooren, untergliedert in regressiv und progressive Prozesse, zeigt, dass beispielsweise die Zunahme von Fichten fast in allen untersuchten Mooren zu beobachten ist. Immerhin konnte aber auch in sieben von 26 Mooren zumindest punktuell Moornachstum festgestellt werden.

Das Literaturverzeichnis (63 Quellen) beschließt die Arbeit. Leider wurde auf ein Register verzichtet.

Der Wert solcher hier vorgestellter ausführlicher und vergleichender Untersuchungen kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. Zum einen ermöglicht die Arbeit bereits interessante und wichtige Vergleiche anhand zurückliegend in Niedersachsen erhobener Daten und liefert gleichzeitig Ausgangsdaten für die Beurteilung von weiteren Entwicklungen dort und für erste Vergleiche in Sachsen-Anhalt. Wichtige Grundlage hierfür bilden u. a. auch die in vier Mooren angelegten 80 Dauerbeobachtungsflächen. Die Arbeit sollte dazu anregen, in ähnlich aufschlussreicher Art die sensiblen Moorlebensräume ebenfalls in anderen Gegenden zu dokumentieren.

Das Buch kann gegen eine Schutzgebühr über die Nationalparkverwaltung bezogen werden.

Anselm KRUMBIEGEL, Halle (Saale)

HANSPACH, D. & PORADA, H. T. (Hrsg.) (2008): Großenhainer Pflege. Eine landeskundliche Bestandsaufnahme im Raum Großenhain und Radeburg. Landschaften in Deutschland, Bd. 70. – XIX, 397 S., 80 Abb., 2 Faltkarten. – Böhlau Verlag, Köln, Weimar, Wien. – ISBN 978-3-412-09706-6 – Preis: 29,90 Euro.

Die informative Reihe „Landschaften in Deutschland – Werte der deutschen Heimat“ ist wieder um einen Band bereichert worden, der eine Landschaft behandelt, die überregional wahrscheinlich nur relativ wenigen ein Begriff ist. Allein der Umfang des Buches deutet allerdings darauf hin, dass auch hier Natur und Kultur einiges zu bieten haben. Darüber hinaus schließt der Band eine Bearbeitungslücke, denn er behandelt ein Gebiet, das an mehrere Landschaftsräume direkt angrenzt, die in früher erschienenen Bänden bereits vorgestellt wurden: „Löbnitz und Moritzburger Teichlandschaft“ im Süden (Bd. 22, 2. Aufl. 1975), „Elbtal und Löbhügelland bei Meißen“ im Westen (Bd. 32, 2. Aufl. 1982) und „Der Schraden“ im Norden (Bd. 63, 2. Aufl. 2005).

Fortsetzung S. 318