

Moorkunde mit Kopf, Herz und Hand

Ein neuer Schulversuch auf den Spuren Ferdinand Rütters

Susanne Bögeholz

Kurzfassung

Der Artikel nimmt seinen Ausgang in einer Exkursion mit Prof. Ferdinand RÜTHER, die zum Standardprogramm aller Lehramtsstudierenden an der Universität Bonn gehörte. Die RÜTHERsche Moorkunde folgte dem klassischen Motto „Lernen mit Kopf, Herz und Hand“. Auf den Spuren Ferdinand RÜTHERS wird eine kurze Einführung in den Lebensraum Moor gegeben. Auf die Darstellung ausgewählter ökologischer Fakten zu Mooren folgt die kritische Diskussion von zwei Standard-Schulversuchen zu Torfmoosen; die Versuche können gravierende Fehlvorstellungen zum Wasserhaushalt von Moorökosystemen provozieren („Kopf“). Es wird schließlich ein neuer Schulversuch präsentiert, der zur Vermeidung solcher Fehlvorstellungen den klassischen Weg der Erkenntnisgewinnung über Hypothesenbildung und quasi-experimentelle Überprüfung („Kopf“ und „Hand“) geht.

Jede biologiedidaktische Moorkunde wäre unvollständig, wenn sie nicht auch auf die ästhetischen Aspekte dieses einzigartigen Lebensraums eingehen würde („Herz“). Anhand von Daten einer empirischen Untersuchung zur Bewertung von Moorökosystemen durch Schülerinnen und Schüler wird abschließend gezeigt, wie wichtig und aktuell die „Bildung des Herzens“ in Zeiten der Bildung für Nachhaltige Entwicklung bleibt.

1 Einleitung

Alljährlich zog der gebürtige Ostwestfale Ferdinand RÜTHER mit seinen Bonner Studierenden zur Biologischen Station „Heiliges Meer“ bei Münster, die bis 1999 von Otto REHAGE geleitet wurde (Abb. 1). Auf diesen Exkursionen erfolgte eine eingehende Einführung in den Lebensraum „Moor“. Eine der didaktischen Devisen, die von RÜTHER im Gefolge Pestalozzis stets betont wurde, wird mit diesem Beitrag insbesondere aufgegriffen: *Lernen mit Kopf, Herz und Hand.*

Basierend auf einer knappen Übersicht über zentrale Komponenten des Sachwissens über Moorökosysteme folgt eine kritische Auseinandersetzung mit zwei „klassischen“ Schulversuchen zur Wasserhaltefähigkeit von Torfmoosen

und zu deren Fähigkeit, Wasser kapillar aufsteigen zu lassen. Bei der Vorbereitung eines Kurses zur Behandlung von Moorökosystemen im Biologieunterricht, der im Sommersemester 1998 in Zusammenarbeit mit dem Ökologie-Zentrum der Universität Kiel durchgeführt wurde, offenbarte sich allerdings ein wesentlicher Nachteil der Versuche. Die Versuche legen den Schluss nahe, Moore seien „feuchte“ Ökosysteme, weil Torf und Torfmoose das Wasser (a) nach Art eines Schwammes festhalten und (b) Grundwasser durch kapillaren Aufstieg „ansaugen“. Durch eine Ergänzung der klassischen Versuche durch einen in diesem Artikel erstmals dokumentierten Schulversuch lässt sich einer Entstehung der oben genannten Fehlvorstellungen jedoch entgegenwirken. Aktuelle Studien deuten darauf hin, dass gerade im Wissen um emotional-ästhetische Begründungsmöglichkeiten für den Moorschutz große Defizite bestehen (BARKMANN & BÖGEHOLZ, 1999; ABEN, 2000). Nach einer Betrachtung der Schulversuche unter dem Aspekt des Lernens mit Kopf und Hand, wird abschließend auf einige emotionale und ästhetische Komponenten einer zeitgemäßen Moorkunde im Biologieunterricht eingegangen.



Abb. 1: Unter Assistenz von O. REHAGE (rechts) schafft F. RÜTHER auf einer münsterländischen Landstraße einen *Beleg* für den Unterricht (Juni 1988).

Ein weiteres fachdidaktisches Motto, das RÜTHER den Studierenden des Lehramtes näher brachte, kann an dieser Stelle nur anekdotisch gestreift werden: „*Belege schaffen für den Unterricht!*“. Auch für dieses Motto stand RÜTHER mit seiner ganzen Person ein – und zwar nicht nur im Moor selbst, sondern auch in Wäldern, auf Feldwegen und gelegentlich mitten auf der Landstraße (Abb. 1).

2 Der Lebensraum Moor

2.1 Torf und Moor

Während in einem Sumpf die abgestorbenen Pflanzenteile vollständig abgebaut werden, erfolgt im Moor nur ein teilweiser Abbau der pflanzlichen Substanz; es bildet sich *Torf*. In der Botanik versteht man vereinfacht unter einem Moor eine Lagerstätte von Torf, die mit moortypischer Vegetation bedeckt ist (ELLENBERG, 1982). Nach *bodenkundlicher* Definition muss die Torflagerstätte mindestens 30 cm mächtig sein. Da sich die Pflanzengemeinschaften im Laufe

der Moorentwicklung ändern, besteht der Torf aus Schichten, die unterschiedliche Pflanzenreste enthalten (Abb. 2).



Abb. 2: Aus unterschiedlichen Pflanzenresten aufgebaute Torfschichten in einem Torfstich (stehend mit Kamera F. RÜTHER).

Der Torf kann in Mitteleuropa seit der letzten Eiszeit mehrere Meter mächtige Ablagerungen gebildet haben. In geologischen Zeiträumen stellen Moore wichtige globale Kohlenstoffsenken dar. Die Braun- und Steinkohlelagerstätten waren früher einmal „Moore“. Die sogenannten „Kohlenmoore“ verdanken ihre Entstehung der erdgeschichtlichen Umwandlung weitaus älterer Moore (bis zu 300 Mill. Jahren).

Didaktisch reduziert sind für Mitteleuropa zwei Hauptmoortypen zu unterscheiden: das *Niedermoor* (Flachmoor) und das *Hochmoor*. Niedermoore liegen oft in Senken oder Talniederungen und erheben sich nicht über die Umgebung. Niedermoore werden durch Grund- oder Oberflächenwasser feucht gehalten. Sie treten sowohl in nährstoffreichen als auch in nährstoffarmen Formen auf. Niedermoore tragen sehr unterschiedliche Vegetation, die vom Erlenbruchwald über das Seggenried bis zum Torfmoosrasen im Übergangsbereich zum Hochmoor reicht.

Hochmoore hingegen sind aufgewölbt und können sich bis zu mehrere Meter über die Umgebung erheben. Sie werden durch Regenwasser feucht gehalten. Hochmoore sind im natürlichen Zustand immer besonders nährstoffarm. Ihre Vegetation zeichnet sich durch Torfmoose (Gattung *Sphagnum*) und durch

Zwergsträucher aus der Familie der Heidekrautgewächse (*Ericaceae*) aus. Die vielleicht bekanntesten Gattungen typischer, wenngleich nicht streng auf Hochmoore begrenzte Gefäßpflanzen sind der Sonnentau (*Drosera*) und das Wollgras (*Eriophorum*). In ungestörten Hochmooren Nord- und Nordwestdeutschlands kommen kaum Bäume vor. Im Hinblick auf Gefäßpflanzen ist das Hochmoor insgesamt ein verhältnismäßig artenarmer Lebensraum. Allerdings kommen die Arten des Hochmoores kaum in der genutzten Kulturlandschaft vor. Auf der Landschaftsebene kann ein einigermaßen erhaltenes Hochmoor daher vergleichsweise viel zur Biodiversität beitragen.

Viele der Torfmoose können nur mit Hilfe des Mikroskops sicher bestimmt werden, daher wird an dieser Stelle lediglich auf zwei der wichtigsten Torfmoose hingewiesen. Das rötlich überlaufene *Sphagnum magellanicum* ist ein Torfmoos, das an der Entstehung der polsterartigen Erhebungen im Hochmoor, den Bulten, beteiligt ist. Das grüne *Sphagnum fallax* besitzt hingegen wesentlich lockerere Köpfe als *Sphagnum magellanicum*. In ungestörten Mooren ist *Sphagnum fallax* ein Moos der feuchtesten – häufig mit Wasser überstandenen – Stellen, den sogenannten Schlenken. Es findet sich auch häufig in aufgegebenen, nun wassergefüllten Torfstichen oder in wasserführenden Gräben.

2.2 Gefährdungen der Moore

Aufgrund langjähriger Konzessionen wird in Deutschland noch immer Torf abgebaut. Ökologisch gesehen bestehen die Hauptgefährdungen derzeit jedoch eher in der Eutrophierung der Moore und in den anhaltenden Folgen der Entwässerung. Die Entwässerung von Mooren ist die Vorstufe sowohl für Torfabbau als auch für eine landwirtschaftliche Nutzung. Die Gefährdung von Mooren durch Eutrophierung sei nachfolgend am Beispiel von *Sphagnum magellanicum* erläutert (zur Gefährdung durch Entwässerung siehe Abschnitt 2.3).

In nordwestdeutschen Hochmooren ist *Sphagnum magellanicum* diejenige Pflanzenart, die noch vor wenigen Jahrzehnten am meisten zur Torfbildung beitrug, da dieses Torfmoos besonders schlecht abgebaut wird. Die starken atmosphärischen Stickstoffeinträge der letzten Jahrzehnte führen hingegen zu einer Verdrängung des *Sphagnum magellanicum* durch andere, schneller wüchsige Torfmoosarten. Diese schneller wüchsigen Torfmoose werden jedoch auch schneller abgebaut – so schnell, dass das Moorwachstum zum Erliegen kommen kann. Auch das Vordringen von Bäumen auf bislang waldfreien Hochmoorflächen wird durch die Eutrophierung erleichtert. Bis auf Restbestände sind heute durch Abtorfung, Entwässerung und/oder landwirtschaftliche Nutzung fast alle Moore schwer geschädigt oder zerstört.

2.3 Wasser- und Kohlenstoffhaushalt von Hochmooren

Die Moorkunde teilt ein Hochmoor-Profil in drei Schichten ein: Die Vegetationsdecke – in Abb. 3a als Torfmoos-(*Sphagnum*-)Schicht gekennzeichnet – bildet die oberste Schicht. Darunter schließt sich der oberste Bodenhorizont eines Moores an, das Acrotelm, welches zumindest zeitweise wasserungesättigt ist. In dieser Schicht werden die abgestorbenen Pflanzenreste teilweise abgebaut. Da diese Bodenschicht nicht ständig wassergesättigt ist, steht für die Abbauprozesse der pflanzlichen Substanz hinreichend Sauerstoff zur Verfügung.

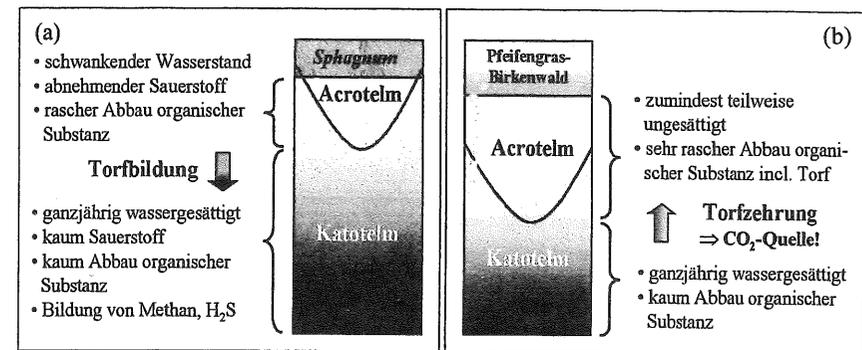


Abb. 3: (a) Hydrologische Bedingungen der Torfbildung; (b) Torfzehrung nach Entwässerung im Pfeifengras-Birkenwald-Stadium der Hochmoordegradation.

In der Tiefe, in der der Torfkörper ganzjährig wassergesättigt ist, beginnt die dritte Schicht, das Katotelm. Da hier kaum mehr Sauerstoff zur Verfügung steht, kommt der Abbau organischer Substanz weitgehend zum Erliegen. Es bilden sich Methan und Schwefelwasserstoff. Zum Aufbau von Torflagerstätten kommt es, wenn die Pflanzendecke mehr Biomasse produziert als im Acrotelm abgebaut wird. In diesem Zustand wird ein Hochmoor als „lebend“ bezeichnet. Lebende Moore wirken als Kohlenstoff-Senken. Sie legen damit CO₂ der Atmosphäre fest.

Durch den Druck der aufgebauten, teilweise wassergesättigten Torfschichten verdichtet sich der Torf des Katotelms zunehmend. Diese Verdichtung führt zu einer starken Verringerung der Wasserleitfähigkeit der unteren Torfschichten. Die vertikale Versickerung von Wasser aus dem aufgewölbten Torfkörper heraus ist daher ebenso wie jede horizontale Wasserbewegung in den verdichteten Schichten stark behindert. Der seitliche, oberflächennahe Wasserabfluss ist ebenfalls beeinträchtigt, da auch das Acrotelm als dichter Teppich halbzerstörter Pflanzenteile nur langsam von Wasser durchflossen werden

kann. Hydrologisch bilden Hochmoore daher einen lokalen, jahreszeitlich schwankenden „Grundwasser-Hügel“ (*ground water mound*) aus. Diese grundlegende Erklärung des Wasserhaushaltes von Hochmooren wurde vor fast genau 20 Jahren von INGRAM in einem Artikel in *Nature* vorgestellt (INGRAM, 1982).

Die unmittelbare Folge der Entwässerung eines Moores ist eine Senkung des Wasserspiegels im Moor. Der Teil des Moorkörpers, der zumindest zeitweilig nicht wassergesättigt ist, nimmt damit erheblich zu (Abb. 3b). Dies hat zur Folge, dass für die Abbauprozesse im Acrotelm mehr Zeit und mehr Sauerstoff zur Verfügung steht; es wird daher kaum neuer Torf gebildet. Zudem wird ein Teil des vorher wassergesättigten Torfes im Katotelm jetzt ebenfalls aeroben Abbauprozessen ausgesetzt. Torf wird nicht mehr aufgebaut, sondern abgebaut. Findet nach Entwässerung eine derartige „Torfzehrung“ statt, wirkt das Moor nicht mehr als Kohlenstoff-Senke, sondern als CO₂-Quelle.

Während die Torfzehrung zunächst unsichtbar ablaufen kann, ist die Veränderung der Vegetationszusammensetzung recht bald deutlich erkennbar. Auf Kosten der Torfmoos-Vegetation breiten sich zunächst meist verschiedene Heidekrautgewächse aus. Bei starker Entwässerung stellen sich nach einigen Jahren häufig artenarme Pfeifengras-Birkenwälder ein. Die seltenen und oft stark gefährdeten Tier- und Pflanzenarten nährstoffarmer Moore sind in diesen „degradierten“ Hochmooren nicht mehr zu finden.

3 Schulversuche zum Wasserhaushalt von Hochmooren

3.1 Zwei Standardschulversuche in der Kritik

Da der Wasserhaushalt von Moorökosystemen eine entscheidende Einflussgröße sowohl für Aspekte des Klimaschutzes wie des Arten- und Biotopschutzes darstellt, verdient der Wasserhaushalt ein hervorgehobenes fachdidaktisches Interesse. Einige Versuche zum Wasserhaushalt von *Torfmoosen* haben Eingang in das biologiedidaktische Standardrepertoire gefunden. Die folgend referierten Versuche zur Wasserkapazität von Torfmoosen und zu deren Wasserleitfähigkeit dürften vielen bekannt sein (z. B. dargestellt in PIEPENBROCK, 1982; VOGES, 1985; SCHNITZLER, 1997; den einfachsten, aber sehr eindrucksvollen „Versuch“ zur Wasserspeicherkapazität von Torfmoosen stellte auf Exkursionen F. RÜTHER am Heiligen Meer vor, siehe Abb. 4). Auf den ersten Blick bieten diese Versuche einen natürlichen Ausgangspunkt für die unterrichtliche Behandlung des Wasserhaushalts auch von *Moorökosystemen* an.



Abb. 4: F. RÜTHER demonstriert die Wasserspeicherkapazität von Torfmoosen: „Schüler sollen Staunen lernen“.

Versuch 1: Vermögen von Torfmoosen zur Wasserspeicherung

Einige Torfmoospflanzen werden in drei verschiedenen Zuständen gewogen: (a) die Moospflanzen sind nass, tropfen aber nicht mehr; (b) die nassen Pflanzen wurden einige Minuten zwischen Filterpapier gepresst; (c) die gepressten Pflanzen wurden einige Stunden in einer Schale auf der Heizung getrocknet. Ergebnis: Die Torfmoospflanzen können etwa das 20- bis 30-fache der eigenen Masse an Wasser aufnehmen. Als Erläuterung für die hohe Speicherkapazität wird das Vorkommen besonderer Wasserspeicherzellen (Hyalinzellen) in den Blättchen der Moose betont.

Versuch 2: Kapillarer Wasseraufstieg in Torfmoosen

In einem zweiten gängigen Versuch werden getrocknete Torfmoospflanzen in ein Becherglas gestellt, dessen Boden mit einer Tintenlösung bedeckt ist. Nach mehreren Minuten ist die Tintenlösung bereits deutlich an den Stämmchen emporgestiegen. Die Aufstiegsgeschwindigkeit ist artspezifisch und kann bei Torfmoosen mehrere cm pro Stunde erreichen. Die Wasserleitung in Torfmoosen findet hauptsächlich in einer eng am Stämmchen anliegenden Schicht aus Blättchen statt. In dieser Schicht entstehen viele, sehr enge Kapillarspalten, in denen die Tinte aufsteigt.

Diese verbreiteten Schulversuche können zur Ausbildung von Fehlvorstellungen über den Wasserhaushalt von Hochmoor-Ökosystemen führen. Die Ausbildung der Fehlvorstellungen kann sich aus dem Bemühen ergeben, das über die Physiologie der *Einzelpflanze* Erlernte für die Erklärung von Phänomenen auf der Ebene des *Ökosystems* anzuwenden.

Der Versuch zur Wasserkapazität legt zunächst nahe, dass Torfmoose „wie ein Schwamm“ funktionieren. Auch Schwämme können im Verhältnis zu ihrem Eigengewicht größere Mengen Wasser aufnehmen. Wird zudem noch im Laufe einer Exkursion ein wassergesättigtes Moospolster effektsicher ausgedrückt (vgl. Abb. 4), dürfte die Analogisierung von Torfmoosen und Schwamm sich weiter verfestigen. Der Versuch zum kapillaren Wasseraufstieg zeigt weiterhin, dass Torfmoose Wasser offenbar gegen die Wirkung der Schwerkraft nach oben „saugen“ können. Werden diese Ergebnisse mit dem Vorwissen kombiniert

- ◆ (Hoch-) Moore sind nass und
- ◆ (Hoch-) Moore bestehen aus Torf und Torfmoos,

wird die Entstehung der folgenden Fehlvorstellung zum Wasserhaushalt von Hochmoor-Ökosystemen geradezu provoziert:

Hochmoore sind nass, weil Torfmoose durch Kapillarkraft Grundwasser ansaugen und dieses dann wie ein Schwamm speichern. Die hohe Wasserspeicherung der Hochmoore beruht auf den dort lebenden Torfmoosen und deren besonderen Zellen (Hyalinzellen).

Der oben angeführte Fehlschluss beruht auf einem in der Ökologie häufig anzutreffenden Skalenproblem. Es ist nicht immer möglich, von den physiologischen Eigenschaften der vorherrschenden Organismen auf die Prozesse und Funktionsweisen des Ökosystems zu schließen. Die für die Physiologie der Einzelpflanze zutreffenden Beobachtungen provozieren in diesem Fall Fehlvorstellungen auf der Ebene des Wasserhaushaltes des gesamten Ökosystems.

Die Gefahr des aufgezeigten Fehlschlusses ist nicht nur abstrakt oder nur für Schülerinnen und Schüler gegeben. Einschlägige Unterrichtsmaterialien leiten standardmäßig „Folgerungen für den Lebensraum Moor“ oder zur „Rolle der Moose im Wasserhaushalt der Natur“ aus den ökophysiologischen Experimenten zum Wasserhaushalt von Moospflanzen ab (z. B. in Unterricht Biologie: VOGES, 1985; MOISL, 1988). Die Folgerungen werden zwar nicht explizit bis zum beschriebenen Fehlschluss getrieben; eine korrekte Darstellung des Wasserhaushalts von Hochmooren fehlt jedoch regelmäßig. Im Gegenteil, während der Niederschlag als Wasserquelle oft nicht abgebildet wird, finden sich beispielsweise in den einschlägigen Abbildungen vertikal nach oben weisende Pfeile, die als kapillarer Grundwasseraufstieg interpretiert werden können (z. B. in BISCHOFF, 1985). Die zentrale Bedeutung, die der Wasserhaushalt für den Schutz von Moorökosystemen spielt, erzeugt biologiedidaktischen Handlungsbedarf.

3.2 Hypothesenbildung und experimentelle Überprüfung anhand von Analogmodellen

Nachfolgend wird ein neu entwickelter experimenteller Zugang vorgestellt, der die ökophysiologischen Experimente um die Ökosystemdimension erweitert. Der experimentelle Zugang folgt dem klassischen Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung über Problemstellung, Hypothesenbildung, Überprüfung der Hypothesen und Interpretation der Ergebnisse. Es werden damit essenzielle Teile des „Algorithmus für die experimentelle Methode der Problembearbeitung“ (STAECK, 1998) aufgezeigt, die eine enge Verzahnung von Schulversuch und Modellvorstellung („Theorie“) gewährleisten.

Problemstellung

Warum sind Hochmoore eigentlich nasse Lebensräume? Auf den ersten Blick scheint diese Frage überraschend, nehmen wir es doch als gegeben hin, dass Moore und Sümpfe nasse Ökosysteme sind. Im Gegensatz zu anderen nassen Lebensräumen füllen Hochmoore jedoch nicht immer nur Geländevertiefungen, in denen sich abfließendes Oberflächenwasser oder Grundwasser allein aufgrund der Schwerkraft ansammelt. Hochmoore wölben sich über ihre unmittelbare Umgebung hinaus und müssten daher eigentlich tendenziell trockene Lebensräume sein.

Hypothesenbildung

Insbesondere, wenn in einer Unterrichtssequenz die o.a. Versuche durchgeführt wurden, sollte die wahrscheinliche Fehlvorstellung, „Hochmoore sind nass aufgrund des kapillaren Aufstiegs von Grundwasser sowie ihrer Schwammeigenschaften“ als eine *Hypothese* explizit gemacht werden. Diese Hypothese, die im Folgenden als *Grundwasserhypothese* bezeichnet wird (siehe Abb. 5a), kann ebenso wie mögliche Alternativhypothesen im Unterricht entwickelt werden. Bedeutungsvoll ist insbesondere die in Abb. 5b veranschaulichte Alternativhypothese: Das Hochmoor ist nass, weil es das Regenwasser wie ein Schwamm festhält, der verhindert, dass das Regenwasser schnell durch den Moorkörper nach unten versickern oder seitlich abfließen

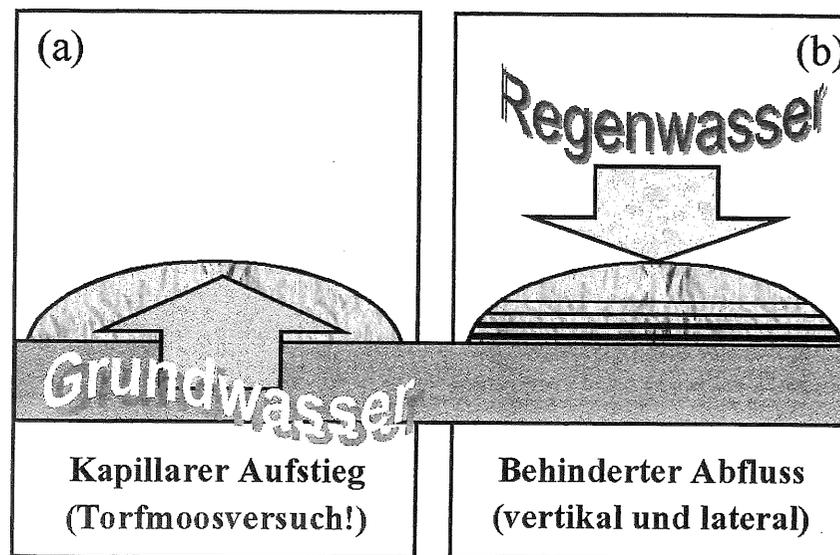


Abb. 5: (a) Grundwasserhypothese; (b) Regenwasserhypothese.

kann. Diese Hypothese wird nachfolgend *Regenwasserhypothese* genannt (vgl. fachwissenschaftliche Arbeit von INGRAM, 1982).

Die wesentlichen Aspekte beider Hypothesen lassen sich in Analogmodellen veranschaulichen, welche die Grundlagen für eine quasi-experimentelle Überprüfung der Hypothesen liefern. Das Hochmoor wird im Analogmodell durch einen Tafelschwamm¹ in einer Glasschale repräsentiert. Beim Modell zur Grundwasserhypothese wird seitlich neben den Schwamm in die Glasschale ein Liter Leitungswasser gegeben. Sowohl das Grundwasser im Boden unter Hochmooren als auch das Leitungswasser enthalten Hydrogencarbonat-Ionen. Da handelsübliche Tafelschwämme bei Weitem keinen so guten kapillaren Aufstieg zeigen wie Torfmoospflanzen, wird es notwendig sein, durch Niederdrücken des Schwammes dessen durchgehender Befeuchtung nachzuhelfen. Das Modell für die Regenwasserhypothese besteht ebenfalls aus einem Schwamm und einer Glasschale. Der Schwamm wird hierbei jedoch mit destilliertem Wasser „beregnet“, das praktisch keine Hydrogencarbonat-Ionen enthält. In dieser Hinsicht ist es dem Regenwasser chemisch ähnlich.

Die beiden Analogmodelle veranschaulichen – in maximal reduzierter Form – den jeweils entscheidenden Aspekt der beiden Hypothesen zum Wasserhaushalt von Hochmooren: Der Schwamm stellt jeweils den Moorkörper dar, der einmal mit hydrogencarbonat-haltigem „Grund“-Wasser versorgt wird und einmal mit praktisch hydrogencarbonat-freiem „Regen“-Wasser. Anhand dieser beiden Analogmodelle lässt sich nun eine quasi-experimentelle Überprüfung der Hypothesen vorbereiten.

Den „Moorkörper“-Schwämmen beider Modelle wird jeweils 5 ml Wasser entnommen. Mit Standardtests für die sogenannte Carbonathärte (z. B. Aquamerck® 8048) kann nun die Hydrogencarbonat-Konzentration der beiden Proben verglichen werden. Zu beiden Proben wird nach Anleitung eine Indikatorlösung gegeben. Hydrogencarbonat-haltiges Wasser führt beispielsweise bei Nutzung des Aquamerck-Tests zu einer intensiven Blaufärbung der Indikatorlösung. Die Konzentration wird bestimmt, indem eine Titrierlösung tropfenweise zu der Probe gegeben wird, bis die Farbe des Indikators nach rot-orange wechselt. Der Farbwechsel kündigt sich durch Graufärbung an. Der Verbrauch an Titrierlösung wird je nach Testverfahren in die Hydrogencarbonat-Konzentration umgerechnet.

¹ Noch geeigneter wäre eigentlich ein getrockneter Block aus einem Torfmoospolster; Naturschutzgründe sprechen gegen den Einsatz einer solchen Versuchsvariante.

Im „harten“ Kieler Leitungswasser, das dem Schwamm der Versuchsanordnung „Grundwasserhypothese“ entnommen wurde, liegt die Hydrogencarbonat-Konzentration bei ca. 4,5 mmol/l. Im „Regenwasser“ repräsentierenden destillierten Wasser ist die Hydrogencarbonat-Konzentration hingegen so gering, dass der Farbumschlag bereits beim ersten Tropfen zugegebener Titrierlösung erfolgt. Die Hydrogencarbonat-Konzentration lässt sich mit Aquamerck zu unter 0,4 mmol/l bestimmen.

Wir untersuchen nun eine dritte Wasserprobe, die aus einem „echten“ Hochmoor stammt (und die idealiter bei einer Exkursion in diesen Lebensraum gezogen wurde²). Der Indikator schlägt bereits bei einem Tropfen Titrierlösung um, die dem Hochmoorwasser zugefügt wird. Die Hydrogencarbonat-Konzentration liegt daher wie bei destilliertem Wasser bei unter 0,4 mmol/l.

Gefolgert werden kann nun: Die extrem niedrige Hydrogencarbonat-Konzentration von Hochmoor-Wasser steht *nicht* in Übereinstimmung mit der Grundwasserhypothese, da die Hydrogencarbonat-Konzentration sonst höher liegen müsste. Die Regenwasserhypothese wird hingegen durch das Ergebnis gestützt, da die niedrige Hydrogencarbonat-Konzentration eine chemische Ähnlichkeit des Hochmoorwassers und des Regenwassers darstellt. Diese Ähnlichkeit findet die einfachste Erklärung darin, dass Hochmoore vorwiegend von Regenwasser feucht gehaltene Lebensräume sind. Mit Hilfe eines Overheadprojektors und einer vorbereiteten Folie (siehe Abb. 6) kann der Versuch beispielsweise nach Durchführung in Gruppenarbeit zur Ergebnissicherung leicht von einer Schülergruppe demonstriert werden. Die runden Markierungen auf der Overheadfolie sind für die durchsichtigen Reaktionsgefäße für drei Proben (Grundwasser/Leitungswasser, Regenwasser/destilliertes Wasser, Hochmoorwasser) vorgesehen. Per Overheadprojektion kann zunächst die Blaufärbung durch die Zugabe der Indikatorlösung verfolgt werden und anschließend die Umfärbung nach rot-orange durch Hinzugabe der Titrierlösung.

Die Beobachtungen an den Analogmodellen können die alternativen Hypothesen über den Wasserhaushalt *realer* Hochmoor-Ökosysteme selbstverständlich nicht entscheiden – zudem weicht das verwendete Analogmodell in vielerlei Hinsicht von realen Moorökosystemen ab. Die tatsächliche Hydromechanik in Moorkörpern wird jedoch in zwei entscheidenden Aspekten getroffen:

² Zu Demonstrationszwecken wurde Hochmoorwasser aus dem zentralen Teil des Felmer Moores bei Kiel genutzt. Das Zentrum dieses teilweise abgetorfte und entwässerten Hochmoores weist (noch) typische Hochmoorvegetation auf.

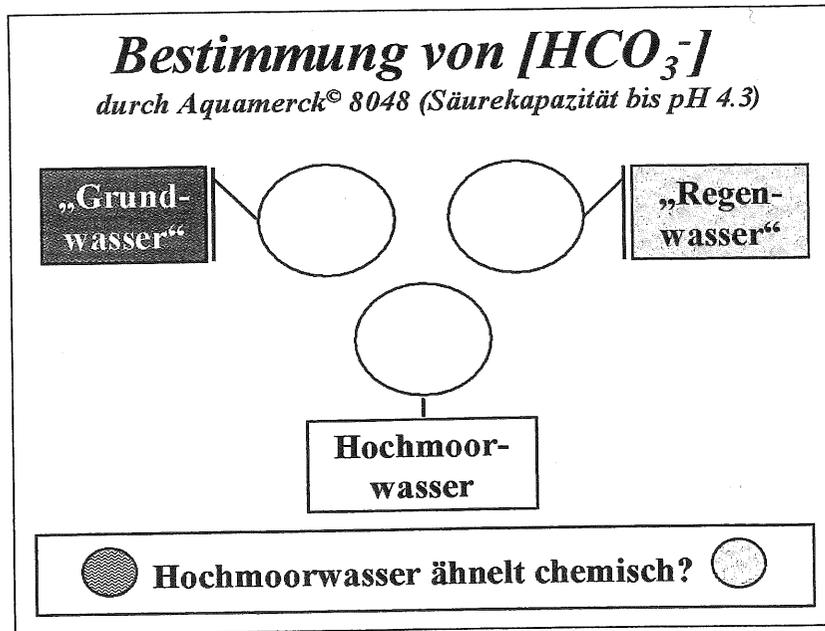


Abb. 6: Folie zur Overheadprojektion der Bestimmung der Hydrogencarbonat-Konzentration in Grund-, Regen- und Hochmoorwasser.

- (a) Der kapillare Wasseraufstieg stellt nicht den Prozess dar, der ein mehrere Meter aufgewölbtes Moor mit Wasser versorgt. Auch bei handelsüblichen Tafelschwämmen reicht der kapillare Wasseraufstieg nicht für eine Befeuchtung eines Schwammes aus, die es erlauben würde, eine 5 ml-Wasserprobe zu nehmen.
- (b) Ein künstlich stark mit Wasser befeuchteter Schwamm gibt noch längere Zeit nach der Befeuchtung Wasser ab. Genau dieses Verhalten tritt bei Hochmooren auf. Würde dessen Wasser jedoch durch Kapillarkräfte (technisch durch das Matrixpotenzial von Torf und Torfmoos) festgehalten, könnte es auch nicht teilweise „von allein“ wieder abfließen. Ebenso wie im Hochmoor hält sich ein großer Teil des zeitweise im Schwamm gehaltenen Wassers dort nur auf Grund einer verzögerten „Versickerung“ auf.

Als didaktischer Ertrag des beschriebenen Vorgehens lassen sich drei Punkte herauschälen:

1. Auch biologiedidaktische Schüler- und Demonstrationsversuche müssen die Implikationen von Skalenfragen berücksichtigen, da der Konzepttransfer vom Organismus auf das Ökosystem nicht immer möglich ist, sondern gelegentlich Fehlvorstellungen provoziert.
2. Im Falle des Wasserhaushalts von Moorökosystemen lässt sich mit einfachen Mitteln ein „Schwammversuch“ durchführen, der die ökophysiologischen Experimente mit Torfmoosen um Mechanismen auf der Ebene des Ökosystems ergänzt und der der Bildung von Fehlvorstellungen entgegenwirkt.
3. Stark reduzierte Analogmodelle können zur Veranschaulichung konkurrierender Hypothesen eingesetzt werden.

4 Wertschätzung von Moorökosystemen

4.1 Rolle affektiver Komponenten im Rahmen einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Wenn naturwissenschaftliche Bildung (*Scientific Literacy*; OECD/PISA, 1999) zur Orientierung und schließlich zur Handlungsfähigkeit in einer komplexen Welt mit konkurrierenden Deutungsmustern befähigen soll, darf sie sich nicht auf die noch so faszinierend dargebotene Präsentation von Faktenwissen beschränken. Im Rahmen der Diskussion um „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“ (DE HAAN & HARENBERG, 1999) werden die erforderlichen Fähigkeiten als *Gestaltungskompetenz* zusammengefasst. Gestaltungskompetenz setzt nun voraus, dass mögliche Instrumente und Ziele Nachhaltiger Entwicklung in ein reflektiertes Verhältnis gesetzt werden können. Die Vorbereitung von *rationalen* Gestaltungsentscheidungen beruht ihrerseits darauf, naturwissenschaftliche Fakten systematisch mit (inter-)subjektiven Werten und Normen zusammen zu bringen. Ökologische Gestaltungskompetenz benötigt daher *ökologische Bewertungskompetenz* (BÖGEHOLZ, 2001). Bezogen auf die Moorkunde bedeutet dies u. a., dass die Lernenden sich *ihrer eigenen* sowie der *potenziell möglichen* Ziele und Werthaltungen im Hinblick auf den Schutz von Moorökosystemen bewusst werden sollen. Solche Ziele sind etwa im Bundesnaturschutzgesetz aufgeführt (Erhaltung der Tier- und Pflanzenwelt, Nutzungsfähigkeit der Naturgüter etc.).

Nach dem verdienten Ende der „Katastrophenpädagogik“, die über emotionale Betroffenheit zu umweltgerechtem Verhalten animieren wollte, gerät in den vergangenen Jahren eine weitere pädagogische Konzeption unter verstärk-

ten Legitimationsdruck, die eine starke emotionale Komponente besitzt: die Pädagogik der Naturerfahrung (SCHAAR, 1995; DE HAAN & HARENBERG, 1999). Die positiv erlebte Begegnung mit Naturobjekten soll sowohl das biologische Wissen um schützenswerte Naturobjekte fördern als auch zur Steigerung der Wertschätzung von Natur und Umwelt beitragen. Sowohl für die Wirkung mehrtägiger sorgfältig geplanter Naturerfahrungsinstruktionen als auch für den generellen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit und der Wertschätzung von Naturerfahrung mit der Neigung zu „umweltgerechtem“ Handeln im Alltag liegen mittlerweile empirische Belege für Kinder und Jugendliche vor (z. B. BOGNER, 1998; BÖGEHOLZ, 1999). Die Bedeutung von Naturerfahrung ist für das *alltägliche Umwelthandeln* beispielsweise fast siebenmal so groß wie die Bedeutung des Umweltwissens; sie wird lediglich vom Einfluss durch das Elternhaus und die Freunde übertroffen (BÖGEHOLZ, 1999; BÖGEHOLZ, 2000a).

Bildung für Nachhaltige Entwicklung zielt jedoch mit der Gestaltungskompetenz gerade *nicht unmittelbar* auf eine Erhöhung der Neigung zur Mülltrennung, der Verwendung von Energiesparlampen oder der Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln (alltägliches Umwelthandeln). Auch für *kognitiv anspruchsvolles Umwelthandeln* im Rahmen Nachhaltiger Entwicklung erweist sich Naturerfahrung dennoch als bedeutsam. Dies wird am deutlichsten, wo ökologische Bewertungskompetenz gefragt ist, z. B. wenn die Entscheidung über verschiedene Planungsalternativen komplexe Umweltbewertungen erfordert.

Die für die Umweltbewertung zentrale Frage lautet „Wie wollen wir, unsere Kinder und die Menschen der Einen Welt jetzt und in Zukunft leben?“ Diese Frage stellt sich von Agenda 21-Prozessen bis hin zur „traditionellen“ Bauleitplanung. Stets muss ökologisches Sachwissen systematisch auf Umweltwerte bezogen werden. Umweltwerte sind Ausdruck werthafter Beziehung zu Naturobjekten. Um solche werthafter Beziehungen aufzubauen, ist Naturerfahrung jedoch eine kaum ersetzbare Voraussetzung! Ein Mangel an unmittelbaren Naturerfahrungen nimmt Heranwachsenden die Möglichkeit, auf der Basis eigener Erfahrung ihre individuellen Umweltwerte zu entwickeln. Nur wer aber seine/ihre eigenen Interessen und Werthaltungen gegenüber Naturobjekten kennt, kann diese reflektierend in Planungsprozesse einbringen. Naturerfahrung leistet damit einen einflussreichen Beitrag zur Ausbildung der affektiven Basis für Umweltbewertung und ökologische Urteilskompetenz.

Folglich erweist sich Naturerfahrung auch im Kontext anspruchsvollen Umwelthandelns als wichtiger Baustein, um Nachhaltige Entwicklung gestalten zu können.

Trotz einer Kombination affektiver und normativer Elemente wird hierbei keiner oberflächlichen Re-Moralisierung (vgl. APEL, 2001) oder einer unreflektierten Re-Emotionalisierung der Umweltbildung das Wort geredet. Die Ausbildung ökologischer Bewertungs- und Urteilskompetenzen erfordert ebenso solides Sachwissen wie die Fähigkeit, vor sich selbst und anderen rational Rechenschaft über die vorgenommenen Umweltbewertungen abgeben zu können. Mit dem Versuch einer expliziten Förderung ökologischer Bewertungskompetenzen hat eine Arbeitsgruppe am IPN im Rahmen des BLK-21 didaktisches Neuland betreten (BÖGEHOLZ, 2000b; BÖGEHOLZ, 2001).

4.2 Wertschätzung von Moorökosystemen durch Schülerinnen und Schüler

Im Rahmen einer Staatsexamensarbeit wurden Daten zur Wertschätzung von Moorökosystemen an 51 Kieler Schülerinnen und Schülern der 12. Jahrgangsstufe per Fragebogen erhoben (ABEN, 2000). Anhand der Ergebnisse der Fragebogenerhebung wurden vier Gruppen von Schülerinnen und Schülern gebildet, die sich hinsichtlich ihrer Wertorientierung unterscheiden. Mit je einer Person jeder Gruppe wurde ein vertiefendes Interview geführt.

Die Testpersonen wurden u. a. aufgefordert, „mögliche Bewertungskriterien für das Ökosystem Moor“ in ihrer Wichtigkeit auf einer Skala von 0 = unbedeutend bis 3 = sehr bedeutsam zu beurteilen. Vorgeschlagen wurden elf verschiedene Bewertungskriterien, von denen die drei Kriterien mit der höchsten und die zwei Kriterien mit der niedrigsten Beurteilung in Abbildung 7 dargestellt sind. Die am höchsten beurteilten Kriterien sind (Mittelwert)

- ◆ Vorkommen von Rote-Liste-Arten/gefährdeten Arten (2,82),
- ◆ Vorkommen charakteristischer Arten des Moores (2,65),
- ◆ Renaturierungsfähigkeit (definiert als Möglichkeit, ein gestörtes Gebiet in einen naturnahen Zustand zurückzusetzen; 2,35).

Die niedrigste Beurteilung erhielten

- ◆ Erholungswert der Fläche (1,02),
- ◆ Schönheit der Fläche (0,90).

Während die ersten drei Kriterien fast durchgängig für „bedeutsam“ oder „sehr bedeutsam“ gehalten wurden, wurden Erholungswert und Schönheit im Durchschnitt nur als „ein wenig bedeutend“ beurteilt. Ein ähnliches Bild zeigt sich, wenn nicht formal klingend nach „Bewertungskriterien“ gefragt wird, sondern danach, was die Schülerinnen und Schüler (selbst) an einem Moor für wertvoll erachten. Während die Mittelwerte für die Bedeutung von seltenen und spezialisierten Arten gleichfalls zwischen 2,73 und 2,77 liegen, schneiden

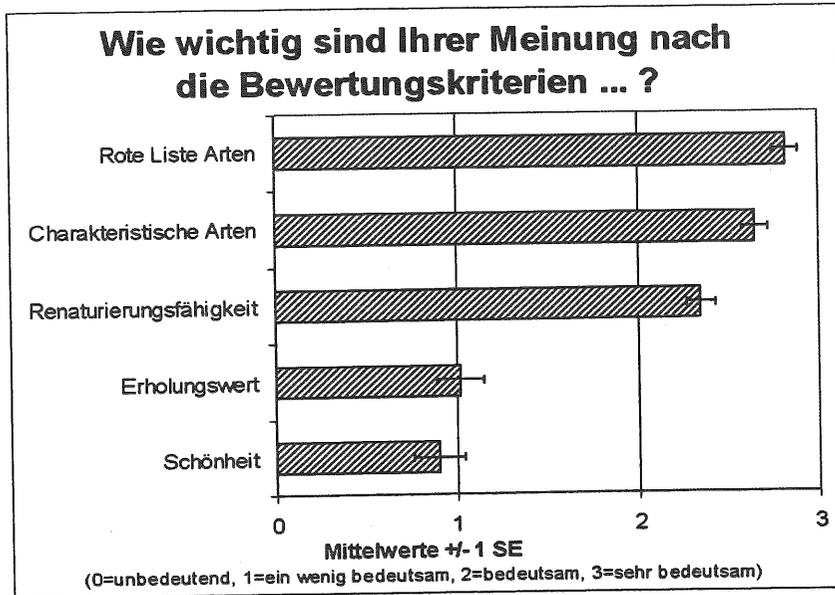


Abb. 7: Bedeutung ausgewählter Kriterien zur Bewertung von Moorökosystemen (Daten aus ABEN, 2000).

Erholungswert (1,31) und Schönheit (1,41) etwas besser als zuvor ab – aber immer noch weit „abgeschlagen“.

Die Auswertung der vertiefenden Interviews bestätigt die Interpretation, dass die Schülerinnen und Schüler die „subjektiven“ Momente der potenziellen Kriterien Schönheit und Erholungswert erkennen. Jedoch geben sie (a) „objektiv-biologischen“ Kriterien den Vorzug und schätzen (b) die „subjektiven“ Kriterien *im Rahmen formalisierter Bewertungsverfahren* nochmals geringer. Dass auch eine Moorbewertung anhand „objektiv-biologischer“ Kriterien irreduzibel subjektive Elemente beinhaltet, wird hingegen nicht gesehen.

5 Plädoyer für eine Moorkunde mit Kopf, Herz und Hand

Wer eine Bildungskonzeption für überholt hält, die auf der Integration eines Lernens mit „Kopf, Herz und Hand“ besteht, übersieht die unverminderte Bedeutung aller drei Aspekte.

Schülerhandeln im traditionellen naturwissenschaftlichen Unterricht erfolgt als Schülerversuch. Die Fähigkeit, das Experimentiergerät korrekt zu handhaben, besitzt dabei unmittelbar eine handwerkliche Komponente. Schülerversu-

che und die Arbeit an Modellen bilden zwei zentrale Säulen der Didaktik Ferdinand RÜTHERS, wie ich sie seit 1986 kennen und schätzen gelernt habe. Im geschilderten neuen Schülerversuch kommen diese beiden Säulen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses synergistisch zum Einsatz, da mit einem Analogmodell gearbeitet wird. Wie bei jedem Schülerversuch liegt das volle Potenzial unterrichtlichen Experimentierens auch hierbei nicht allein in der Vermittlung von Sachwissen, sondern ebenso im wissenschaftspropädeutischen Bereich. Die wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung beruht auf der Verzahnung von Theorie und Empirie, von Hypothese und Experiment – oder *von Kopf und Hand*.

Der Dreiklang von „Wissen, Bewerten, Handeln“, der anspruchsvolleren Ansätzen zur naturwissenschaftlichen Bildung wie einer Umweltbildung im Zeichen Nachhaltiger Entwicklung gleichermaßen zu Grunde liegt, verschiebt den Akzent von „Hand“ etwas. Nicht allein eine „handwerkliche“ Geschicklichkeit gilt es zu schulen, sondern Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler zu kompetentem Handeln in der modernen Gesellschaft. Auch dieses Handeln kann nicht allein kognitiv erlernt werden, sondern muss tätig eingeübt werden. Um weiterhin überhaupt zu einer „umweltgerechten“ Handlung zu gelangen, reichen jedoch Handlungskompetenzen im engeren Sinne nicht aus. Notwendigerweise müssen emotional gefärbte Motivationen hinzukommen.

Für anspruchsvolle Formen des Umwelthandelns bleibt ein Bezug auf werthaft-emotionale Faktoren ebenso unverzichtbar. Wie in der kurzen Diskussion zur Notwendigkeit affektiver Komponenten im Rahmen einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung gezeigt wurde, ist eine rationale Umweltbewertung ohne aktive Reflexion auf eigene und fremde Werthaltungen nicht möglich. Wer jedoch mangels eigener Erfahrungen nicht in der Lage ist, die Bedeutung einzuschätzen, die Naturobjekte für die Verwirklichung eigener oder fremder Werthaltungen besitzen, kann weder die eigenen Interessen umfassend vertreten noch den Anspruch fremder Interessen hinreichend beurteilen. Die Ergebnisse erster Untersuchungen (ABEN, 2000, siehe auch BARKMANN & BÖGEHOLZ, 1999) deuten darauf hin, dass im Wissen um emotionale und ästhetische Begründungsmöglichkeiten für den Moorschutz Defizite bestehen. Übungen in expliziter Umweltbewertung und Angebote zur reflektierten Naturerfahrung in Mooren können hierbei Abhilfe schaffen.

Werden Moore überhaupt zu einem etwas ausführlicher behandelten Gegenstand von Unterricht gemacht, sollte an einer Moorkunde mit Kopf, Herz und Hand kein Weg vorbei führen. Für die Vorbereitung eines solchen Unterrichts lohnt es sich, den Spuren Ferdinand RÜTHERS zu folgen.

Zitierte Literatur

- ABEN, S. (2000): Umweltbewertung am Beispiel von Moorökosystemen. I. Staatsexamensarbeit, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- APEL, H. (2001): Zukunft der Umweltbildung – aus der Sicht der allgemeinen Weiterbildung. Deutsche Gesellschaft für Umwelterziehung. DGU Nachrichten 23, 6-7.
- BARKMANN, J. & S. BÖGEHOLZ (1999): Ecosystem Assessment of Three Peatland Sites in Northern Germany as an Environmental Education Project. In: Case Studies in Environmental Education and Research. 5th auDes Conference, Zürich. <http://www.audes-conference.ethz.ch>.
- BISCHOFF, B. (1985): Torfnutzung gefährdet die Moore. Unterricht Biologie 9 (109), 34-38.
- BÖGEHOLZ, S. (1999): Qualitäten primärer Naturerfahrung und ihr Zusammenhang mit Umweltwissen und Umwelthandeln. Leske+Budrich, Opladen.
- BÖGEHOLZ, S. (2000a): Naturerfahrung: Ein Baustein der Bildung für Nachhaltige Entwicklung – Natur erleben und gestalten. Politische Ökologie, Sonderheft 12: Schnittmenge Mensch, 17-18.
- BÖGEHOLZ, S. (2000b): Entwicklung ökologischer Urteilskompetenz als zentrales Anliegen der Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Bd. 30. Parey, Berlin, 219.
- BÖGEHOLZ, S. (2001): Explizite Bewertung: Ein Ansatz zur Förderung ökologischer Urteilskompetenz im Unterricht. In: BAYRHUBER, H. et al.: Biowissenschaften in Schule und Öffentlichkeit, 66-69.
- BOGNER, F.X. (1998): The Influence of Short-Term Outdoor Ecology Education on Long-Term Variables of Environmental Perspective. The Journal of Environmental Education 29 (4), 17-29.
- DE HAAN, G. & D. HARENBERG (1999): Expertise „Förderprogramm Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“ verfasst für die Projektgruppe „Innovation im Bildungswesen“ der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung. Freie Universität Berlin.
- ELLENBERG, H. (1982): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. – 3. verb. Aufl. Ulmer, Stuttgart.
- INGRAM, H.A.P. (1982): Size and Shape in Raised Mire Ecosystems: a Geophysical Model. Nature 297, 300-303.
- MOISL, F. (1988): Experimente. Unterricht Biologie 12 (132), 4-13.
- OECD/PISA (1999): Measuring Student Knowledge and Skills – A New Framework for Assessment. OECD Publications, Paris.
- PIEPENBROCK, C. (1982): Moose – Erstaunliche Pflanzen! Unterricht Biologie 6 (71), 17-21.
- RÜTHER, F. (1994): Kleiner Naturführer Costa Blanca. Moll-Verlag, Benissa/Alicante (Spanien).
- SCHAAR, K. (1995): Durch Naturerlebnisse zum Naturschutz? Über den Zugang von Kindern zu ihrer natürlichen Umwelt. Die Deutsche Schule 87 (4), 509-516.
- SCHNITZLER, H. (1997): Wechselbeziehungen im Lebensraum Moor. In: JAENICKE, J. & H. KÄHLER (Hrsg.) Unterrichtspraxis Biologie: Strukturierung – Materialien – Informationen. Bd. 19.
- STAECK, L. (1998): Praktische Arbeiten im Biologieunterricht Teil 3: Das Experimentieren. Biologie in der Schule 47 (3), 129-133.
- VOGES, M. (1985): Experimentelle Untersuchung an Torf. Unterricht Biologie 9 (109), 44-45.

Verfasserin: Prof. Dr. Susanne Bögeholz, Institut für Fachdidaktik, Didaktik der Biologie, Georg-August-Universität Göttingen, Waldweg 26, 37073 Göttingen;
Susanne.Boegeholz@erz-wiss.uni-goettingen.de