

Untersuchungen eines Moores im Nationalpark Hunsrück-Hochwald

Didaktische Überlegungen zur Umweltbildung

Didactic Considerations on Environmental Education:
Investigation of a Moor in the National Park Hunsrück-Hochwald

Masterarbeit im Fach Biologie
Fachbereich Ökologie

Vorgelegt von:

Caroline Krieger, geb. Schwinn

Matrikelnummer: 392923

Kempfelder Str. 12

55758 Mörschied

Telefon: 06785/9996929

E-Mail: krieger_caroline@web.de

Erstbetreuer: Prof. Dr. Thorsten Stoeck

Zweitbetreuer: Dr. Michael Schön

Kaiserslautern, 23.09.2019

Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei allen, die auf unterschiedliche Art und Weise zu dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Prof. Dr. Thorsten Stoeck für die Übernahme des Themas, die freundliche Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit. Ebenso danke ich Dr. Michael Schön für seine Anregungen und die Bereitschaft, die Zweitkorrektur zu übernehmen.

Weiterhin bedanke ich mich bei Sebastian Schacht und den Mitarbeitern vom Nationalpark Hunsrück-Hochwald für die Kooperation und die Entwicklung dieses Projekts. Die hervorragende Zusammenarbeit und die hilfreichen Anregungen haben diese Arbeit erst ermöglicht.

Margret Scholtes und Jan Hoffmann von der Stiftung für Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz möchte ich dafür danken, dass sie mir ihre Materialien zu den Mooren im Hunsrück zur Verfügung gestellt haben.

Auch den Schülerinnen und Schülern des Leistungskurses Biologie am Göttenbach-Gymnasium Idar-Oberstein sowie ihrer Lehrerin Jessica Trost möchte ich meinen Dank für die Teilnahme an diesem Projekt aussprechen. Ihre Zusammenarbeit hat einen wesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet.

Schließlich möchte ich meinem Mann, meiner Familie und meinen Freunden für die unermüdliche Unterstützung und Ermutigungen danken.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abstract	8
1 Einleitung	9
2 Theoretische Grundlagen	10
2.1 Moore	10
2.2 Moor Ehlesbruch	26
2.3 Gewässergüte	31
2.4 Vegetationsaufnahme und Zeigerwerte nach Ellenberg.....	39
2.5 Umweltbildung	44
2.6 Fragestellung	47
3 Methoden	49
3.1 Einzelfallanalyse.....	49
3.2 Allgemeines zum Projekt	49
3.2.1 Einordnung in die Lehrpläne	51
3.2.2 Vorwissen	52
3.2.3 Relevanzen.....	53
3.3 Vorbereitende Stunden	54
3.3.1 Erste vorbereitende Stunde	54
3.3.1.1 Lernziele und Kompetenzen	54
3.3.1.2 Verlauf	55
3.3.1.3 Didaktik.....	58
3.3.1.4 Methodik	60
3.3.2 Zweite vorbereitende Stunde.....	62

3.3.2.1 Lernziele und Kompetenzen	62
3.3.2.2 Verlauf	62
3.3.2.3 Didaktik.....	65
3.3.2.4 Methodik	67
3.4 Exkursion	69
3.4.1 Lernziele und Kompetenzen	69
3.4.2 Verlauf	70
3.4.3 Didaktik.....	79
3.4.4 Methodik	83
3.5 Nachbereitende Stunden	88
3.5.1 Auswertung der Exkursion.....	88
3.5.1.1 Lernziele und Kompetenzen	88
3.5.1.2 Verlauf	88
3.5.1.3 Didaktik.....	90
3.5.1.4 Methodik	92
3.5.2 Moorschutz.....	94
3.5.2.1 Lernziele und Kompetenzen	94
3.5.2.2 Verlauf	95
3.5.2.3 Didaktik.....	96
3.5.2.4 Methodik	99
4 Ergebnisse.....	101
4.1 Erste vorbereitende Stunde	101
4.2 Zweite vorbereitende Stunde.....	102
4.3 Exkursion	106
4.4 Mooruntersuchung.....	111
4.5 Nachbereitende Stunde zur Auswertung der Exkursion	115

4.6 Nachbereitende Stunden zum Moorschutz	117
5 Diskussion	119
5.1 Erste vorbereitende Stunde	119
5.2 Zweite vorbereitende Stunde.....	121
5.3 Exkursion	125
5.4 Mooruntersuchung.....	131
5.5 Nachbereitende Stunde zur Auswertung der Exkursion	135
5.6 Nachbereitende Stunden zum Moorschutz	139
6 Fazit.....	142
7 Literaturverzeichnis	145
8 Anhang.....	153
9 Eidesstaatliche Erklärung.....	233

Abkürzungsverzeichnis

ALO	außerschulischer Lernort
BNE	Bildung für nachhaltige Entwicklung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
PPP	PowerPoint-Präsentation

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vegetationsverhältnisse der ökologischen Moortypen (Succow und Jeschke 1990, 29).....	13
Abb. 2: Schematischer Schnitt eines Hangmoores in Mittelgebirgen (Schopp-Guth 1999, 44).....	17
Abb. 3: Schematischer Schnitt eines Quellmoores (Schopp-Guth 1999, 42).....	18
Abb. 4: Schematischer Schnitt eines auf einem Durchströmungs- und Verlandungsmoor aufgewachsenen Regenmoors (Timmermann et al. 2009, 58).	19
Abb. 5: Anteile der Hochmoornutzung in Deutschland (eigene Darstellung mit Daten aus Höper 2007, 115).	20
Abb. 6: Anteile der Niedermoornutzung in Deutschland (eigene Darstellung mit Daten aus Höper 2007, 116).	20
Abb. 7: Entwässerungsgräben des Untersuchungsgebiets (Scholtes 2019b)	27
Abb. 8: Biotoptypen des Untersuchungsgebiets (Scholtes 2019a)	27
Abb. 9: Stickstoffkreislauf mit den beteiligten Stickstoffspezies sowie deren Stoffübergänge (Wisotzky et al. 2018, 300).	36
Abb. 10: Probeentnahmestellen und Untersuchungsflächen der Gruppen eins bis fünf im Moor Ehlesbruch (OpenStreetMaps 2019, veröffentlicht durch Open Database License ODbL; bearbeitet durch Autor).....	109
Abb. 11: Konzentrationen [mg/l] des Nitrat-N, Ammonium-N, Nitrit-N, anorganischen Stickstoffs und Phosphat-P im Oberflächenwasser des Moores Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung).....	112
Abb. 12: Mittlere quantitative Zeigerwerte nach Ellenberg des Moores Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung).....	114

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Trophiestufen mit zugehörigem N_C -Wert und Gesamtstickstoffgehalt (eigene Darstellung mit Daten aus Succow und Jeschke 1990, 28).	12
Tab. 2: Bewertung der Härte nach Konzentration (mmol/l) und Deutschen Härtegraden ($^{\circ}d$) (Kölle 2012, 113).	35
Tab. 3: Bewertungsstufen der Wasserqualität verschiedener physikalischer und chemischer Parameter für Fließgewässer (eigene Darstellung mit Daten aus Graw 2011, 46).	39
Tab. 4: Schätzung der Artmächtigkeit und die mittleren Deckungsprozente nach Dierschke 1994 und Wilmanns 1998, in Anlehnung an Braun-Blanquet 1964 (eigene Darstellung mit Daten aus Frey und Lösch 2010, 69).	41
Tab. 5: Übersicht der Stundenthemen und Inhalte der Unterrichtseinheit zum Thema Moore inklusive Stundenanzahl (eigene Darstellung)	50
Tab. 6: Ergebnisse der Schülerbeiträge zum Vergleich von Nieder- und Hochmooren (eigene Darstellung)	103
Tab. 7: Feedback des Leistungskurses zur Exkursion (eigene Darstellung)	111
Tab. 8: pH-Wert und Gesamthärte [$^{\circ}d$] im Moor Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung)	112
Tab. 9: Artmächtigkeit der Vegetationsaufnahmen am Moor Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung)	113

Abstract

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist die Entwicklung und Reflektion des Projekts für das Fach Biologie der gymnasialen Oberstufe zur Untersuchung eines Moores im Nationalpark Hunsrück-Hochwald, das sich im Zusammenhang mit der Gefährdung der Moore auch die Umweltbildung betreffenden Themen widmet. Daher werden neben Fachwissen zu Mooren als Ökosysteme und dem Erlernen von fachgemäßen Arbeitsweisen auch Themen zum Moorschutz fokussiert. Im Rahmen des Projekts führen die Schülerinnen und Schüler die Gewässergüte sowie die Vegetationsaufnahme zur Untersuchung des Moores Ehlesbruch durch, wobei die Naturbegegnung einen affektiven Zugang ermöglicht. Dieser stellt neben Fachwissen eine wichtige Komponente für ein nachhaltiges Umweltverhalten dar und ist ein zentraler Aspekt der Umweltbildung. Die Exkursion ist eine Unterrichtsreihe aus vor- und nachbereitenden Stunden integriert, welche Grundwissen zu Mooren generieren und zur Auswertung der bei der Untersuchung erhobenen Daten dienen. Die Beobachtungen einer Einzelfallstudie zur Beantwortung der Forschungsfrage, bei der das Projekt mit einem Leistungskurs Biologie durchgeführt worden ist, lassen die Schlussfolgerung zu, dass die konzipierte Unterrichtsreihe sowie der Besuch des Moores als außerschulischen Lernort insgesamt eine gute Möglichkeit für einen Einblick ins wissenschaftliche Arbeiten und für die Auseinandersetzung mit Themen zum Moor- und Umweltschutz bietet. Mit diesem Projekt werden Umweltbildung und wissenschaftliche Untersuchungen im Kontext der Moore als besondere Ökosysteme vereint, sodass es für Lehrerinnen und Lehrer des Fachs Biologie eine interessante Unterrichtskonzeption darstellt.

1 Einleitung

Moore sind außergewöhnliche Ökosysteme, die für den Erhalt der Biodiversität, den Klimaschutz und als Wasserspeicher von großer Bedeutung sind. Dennoch ist ein Großteil der Moore Deutschlands durch die vielfältige Nutzung durch den Menschen zerstört worden oder in einem sehr schlechten Zustand. Um Moore schützen zu können, sind Wissen über diese Ökosysteme und ein emotionaler Zugang wichtige Voraussetzungen. Daher wird im Rahmen dieser Arbeit ein Projekt zur Untersuchung eines Moores im Nationalpark Hunsrück-Hochwald für das Fach Biologie der gymnasialen Oberstufe konzipiert und reflektiert, welches neben Fachwissen über Moore und fachwissenschaftlichen Methoden auch Themen zur Umweltbildung fokussiert. Die Exkursion in den Nationalpark zur Untersuchung des Moores Ehlesbruch ist in eine Unterrichtsreihe aus vorbereitenden und nachbereitenden Stunden integriert, um Fachwissen zu Mooren zu generieren und die Untersuchung in Anlehnung an die Vorgehensweise wissenschaftlicher Forschung auszuwerten. Die Arbeit ist in vier Teile gegliedert, wobei zu Beginn die theoretischen Hintergründe zu Mooren, zum Untersuchungsgebiet im Nationalpark, zur Gewässergüte und Vegetationsaufnahme erläutert werden. Zudem erfolgen die Grundlagen zur Umweltbildung sowie die Forschungsfrage. Anschließend wird im Kapitel „Methoden“ zum einen das Vorgehen der Einzelfallanalyse für die qualitative Forschung beschrieben. Zum anderen werden der Verlauf sowie die didaktischen und methodischen Überlegungen der Unterrichtsstunden und der Exkursion erläutert. Daran schließen sich die Ergebnisse an, die den realen Verlauf beschreiben sowie die erhobenen Daten der Mooruntersuchung darstellen. Abschließend werden im letzten Kapitel der geplante und der reale Verlauf verglichen, um die Unterrichtsstunden und die Exkursion zu reflektieren. Des Weiteren werden aus den zuvor gewonnenen Erkenntnissen Verbesserungen des Projekts entwickelt, welches in das Programm der Umweltbildung im Nationalpark Hunsrück-Hochwald aufgenommen werden soll.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Moore

Moore stellen außergewöhnliche Ökosysteme dar, die aufgrund ihrer dauerhaften Wassersättigung nur wenigen, speziell an die dort herrschenden Bedingungen angepassten Pflanzen- und Tierarten als Lebensraum dienen. Voraussetzung für die permanent wassergesättigte Oberfläche des Bodens sind aus dem Grundwasser oder aus Niederschlägen resultierende Wasserüberschüsse (vgl. Schopp-Guth 1999, 14). Charakteristisch für Moore ist die Bildung von mindestens 30 cm mächtigem Torf im nassen Milieu, welcher durch die unvollständige Zersetzung von Pflanzenteilen aufgrund von Sauerstoffmangel entsteht und sich damit vom mineralischen Grund abgrenzt (vgl. Schopp-Guth 1999, 14f). Die Vertorfung, die unter anderem von der Sauerstoffverfügbarkeit, der Temperatur, der mikrobiellen Aktivität sowie der chemischen Zusammensetzung der Pflanzenreste abhängig ist, geschieht durch zwei unterschiedliche Zersetzungsprozesse (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 48): Im oberen Torfbildungshorizont, dem Akrotelm, findet die Vermoderung statt, bei der schwer zersetzbare organische Verbindungen unter An- oder Abwesenheit von Sauerstoff durch Mikroorganismen nur unvollständig verwesen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 11, 48). Der größte Anteil stellen die Torfmoose dar, die permanent neue Biomasse herstellen und deren ältere Teile absterben, zersetzt werden und damit die Torfbildung ermöglichen (vgl. Steiner und Grünig 2002b, 2). Des Weiteren sorgen die Wurzeln und Rhizome höherer Pflanzen im Akrotelm für eine gewisse Festigkeit, die das Betreten der Moore erst ermöglichen (vgl. Steiner und Grünig 2002b, 2). Dagegen werden im Katotelm, dem unteren Torfbildungshorizont, die organischen Verbindungen durch anaerob lebende Mikroorganismen unter Sauerstoffmangel zersetzt, was als Fäulnis bezeichnet wird (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 11, 48). Dieser Bereich stellt den eigentlichen Moorkörper dar, der dauerhaft wassergesättigt und hinsichtlich chemischer, biologischer und physikalischer Eigenschaften sehr stabil ist (vgl. Steiner und Grünig 2002b, 2). Torfe in Mitteleuropa weisen im Jahr lediglich ein Wachstum von 0,5 bis 1,5 mm auf, sodass sich das Alter der Moore anhand der Torfmächtigkeit abschätzen lässt (vgl. Succow und Jeschke 1990, 21): Die ersten Moore Deutschlands sind demnach vor ca. 12 000 Jahren, also nach der letzten Eiszeit, entstanden (vgl. Grützmaker et al. 2012, 6).

Hinsichtlich ihrer Strukturen, Morphologie, Zusammensetzung der Arten, Vegetationseinheiten oder Hydrologie weisen Moore eine enorme Vielfalt auf, sodass je nach Interessenslage unterschiedliche Klassifikationen vorgenommen werden (vgl. Steiner und Grünig 2002c, 1). Eine wichtige Hauptgliederung unterscheidet Niedermoore, deren Torfe sich geogen mit dem Grund- oder Oberflächenwasser unter Mineralstoffzufuhr bilden, von den Hoch- oder Regenmooren, deren Torfbildung ausschließlich vom Niederschlag abhängig sind und damit als ombrogen bezeichnet werden (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 8). Nach Jeschke und Joosten (2003) wird der Begriff „Regenmoor“ verwendet, wenn eine Unterscheidung hinsichtlich der Wasserversorgung angestrebt wird, während sich der Ausdruck „Hochmoor“ auf die Nährstoffversorgung bezieht (vgl. Jeschke und Joosten 2003, 112). Zudem gibt es noch zahlreiche Zwischen- bzw. Übergangsformen, die durch die Entwicklung vom Nieder- zum Hochmoor entstehen, wenn beispielsweise die Mooroberfläche aufgrund des Torfzuwachses den Kontakt zum mineralstoffreichen Wasser verliert (vgl. Burmeister et al. 1990, 9). Diese Einteilung stellt allerdings nach heutigem Kenntnisstand die komplexe Realität nur unzureichend dar, sodass in Anlehnung an Succow und Jeschke (1990) eine umfassendere Gliederung der Moore hinsichtlich ihrer Ökologie und Hydrologie vorgenommen wird (vgl. Succow und Jeschke 1990, 27).

Bei der Unterscheidung der verschiedenen ökologischen Moortypen werden die vielfältigen Vegetationsausbildungen herangezogen, die im Wesentlichen auf den unterschiedlichen Säure-Basen-Verhältnisse sowie Nährstoffgehalten (Trophien) beruhen (vgl. Succow und Jeschke 1990, 27). Um den Moorstandort bezüglich des Säure-Basen-Verhältnis zu beschreiben, wird der pH-Wert verwendet. Moore, deren pH-Wert unterhalb von 4,8 liegt, werden als sauer kategorisiert; bei basischen Mooren liegt der pH-Wert zwischen 6,4 bis 8,0, die sich zudem durch das Vorhandensein von Calciumcarbonat auszeichnen; als schwach sauer bzw. subneutral werden Moore bezeichnet, die einen pH-Wert zwischen 4,8 und 6,4 aufweisen (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28). Zur Charakterisierung der Moore hinsichtlich ihres Nährstoffgehalts wird der von Succow und Jeschke (1990) als besonders aussagekräftig beurteilte N_C -Wert herangezogen, der das Verhältnis zwischen den im Torfsubstrat enthaltenen Stickstoff- und Kohlenstoffgehalten beschreibt (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28). Die den Moor-

standorten zugeordneten Trophiestufen sowie deren N_C -Wert und Gesamtstickstoffgehalt, der auch durch das Moorwasser bestimmt wird (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28), kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

Tab. 1: Trophiestufen mit zugehörigem N_C -Wert und Gesamtstickstoffgehalt (eigene Darstellung mit Daten aus Succow und Jeschke 1990, 28).

Trophiestufe	N_C-Wert [%]	Gesamtstickstoffgehalt [mg/l]
oligotroph (nährstoffarm)	<3,0	0,01–0,25
mesotroph (mäßig nährstoffarm)	3,0–4,9	0,25–0,60
eutroph (nährstoffreich)	4,9–10	0,60–1,00
polytroph (sehr nährstoffreich)	>10	>1,00

Die Tabelle zeigt die vier verschiedenen Abstufungen ausgehend von oligotrophen Mooren mit einem N_C -Wert von weniger als drei Prozent und einem Gesamtstickstoffgehalt von 0,01 bis 0,25 mg/l bis zu polytrophen Mooren, die einen N_C -Wert von über zehn Prozent aufweisen. Vergleicht man die zuvor genannten Haupttypen der Moore, so lassen sich gewisse Tendenzen bezüglich der Säure-Basen-Verhältnisse und Nährstoffgehalte feststellen: Hochmoore sind oligotroph, haben also einen N_C -Wert von unter drei Prozent und weisen einen pH-Wert im sauren Bereich auf, während Niedermoore neutral bis basisch und eutroph sind, wobei sich diesbezüglich eine große Variationsbreite feststellen lässt (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28). Dementsprechend liegen die Werte der Übergangsformen zwischen den beiden Ausprägungen: Sie sind mit einem N_C -Wert von 3,0 bis 4,9 Prozent mesotroph und haben einen pH-Wert im schwach sauren Bereich (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28). Da diese Einteilung jedoch die Realität nicht ausreichend beschreibt, werden die Säure-Basen-Stufen mit den Trophiestufen kombiniert, die auf Basis der Vegetationskunde zu fünf in Mitteleuropa vorkommenden ökologischen Moortypen zusammengefasst werden (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28):

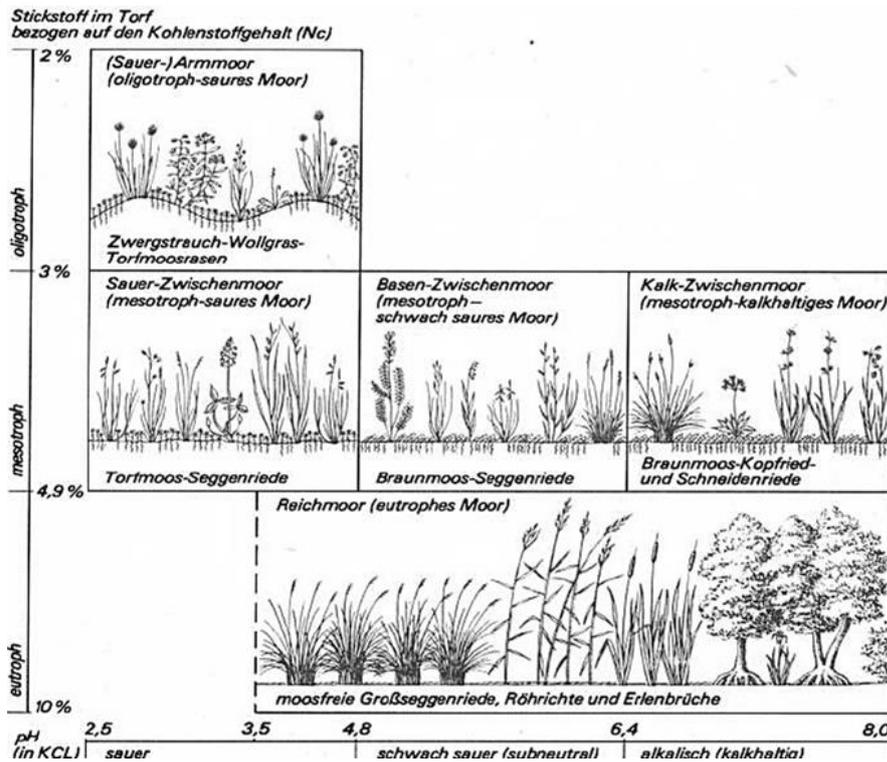


Abb. 1: Vegetationsverhältnisse der ökologischen Moortypen (Succow und Jeschke 1990, 29).

Die unterschiedlichen Vegetationsformen der ökologischen Moortypen haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Beschaffenheit des Torfkörpers (vgl. Burmeister et al. 1990, 12). Bei jedem Moortyp kommen bestimmte Arten in ähnlichen Kombinationen in so genannten Pflanzengesellschaften vor, wobei einige Arten nur in wenigen Gesellschaften vertreten sind, während andere Arten in vielen vorkommen (vgl. Burmeister et al. 1990, 12). Unter Betrachtung der zuvor aufgeführten ökologischen Moortypen lassen sich verschiedene Vegetationsverhältnisse unterscheiden, die sich allerdings durch den Eingriff des Menschen verändert haben (vgl. Succow und Jeschke 1990, 71). Da im Hunsrück lediglich die ökologischen Moortypen der (Sauer-)Armmoore und Sauer-Zwischenmoore vertreten sind (vgl. Scholtes 2015, 25), werden im Folgenden exemplarisch deren Vegetationstypen sowie einige Pflanzenarten im Detail dargestellt. Die in der nachfolgenden Abbildung ebenfalls veranschaulichten Vegetationstypen der Basen- und Kalk-Zwischenmoore sowie der Reichmoore werden der Vollständigkeit halber kurz beschrieben.

In Armmooren ist die Pflanzengemeinschaft der Zwergstrauch-Wollgras-Torfmoosrasen, auch als Klasse der Oxycocco-Sphagnetia bezeichnet, vorherrschend (vgl. Schopp-Guth 1999, 25f). Insbesondere die Torfmoose (Gattung *Sphagnum*), von

denen über 30 Arten in Mitteleuropa vorkommen, dominieren an den sauren, oligotrophen Standorten und können zumeist auch nur unter diesen Bedingungen existieren (vgl. Succow und Jeschke 1990, 71). Ihre enorme Wasserspeicherkapazität, bei der sie das 25-fache ihres Trockengewichts an Wasser aufnehmen können, verdanken sie den Hyalocyten, die zusammen mit den chlorophyllhaltigen, für die Assimilation zuständigen Chlorocyten ein Zellnetz ausbilden (vgl. Frahm 2018, 63, 68). Durch ihre Fähigkeit, Kationen aus der Umgebung durch Oxoniumionen auszutauschen, tragen sie erheblich zur Versauerung der Moore bei (vgl. Frahm 2018, 68). Trocknen die Torfmoospolster aus, füllen sich die Hyalocyten mit Luft und die Torfmoose nehmen eine weiße Farbe an, weshalb sie auch als Bleichmoos bezeichnet werden (vgl. Succow und Jeschke 1990, 71). Ihr Höhenwachstum beträgt nur wenige Millimeter pro Jahr, wobei sie gleichzeitig an ihrer Basis absterben und durch das saure Milieu vertorfen (vgl. Burmeister et al. 1990, 18). Zu den wenigen kennzeichnenden Arten höherer Pflanzen gehören das Scheidige Wollgras (*Eriophorum vaginatum*), die Gewöhnliche Moosbeere (*Vaccinium oxycoccus*) sowie der Rundblättrige Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) (vgl. Burmeister et al. 1990, 20). Eine weitere Herausforderung neben den niedrigen pH-Werten stellt der Stickstoffmangel dar, der lediglich von den carnivoren Pflanzen wie dem Sonnentau kompensiert werden kann (vgl. Burmeister et al. 1990, 21). Die Insekten bleiben auf den klebrigen Tröpfchen der Tentakelhaare haften und werden von Enzymen, die in den Tröpfchen enthalten sind, verdaut (vgl. Spohn et al. 2015, 144). Bei wachsenden Regenmooren der Mittelgebirge, des südlichen Ostseeküstenraumes sowie des Alpenvorlandes hat die Vegetationsform des Bunten Torfmoosrasen (*Sphagnum magellanicum*) dominiert, der aus Torfmoosen, wenigen Zwergsträuchern und Wollgras besteht, aber zunehmend vom Aussterben bedroht ist (vgl. Succow und Jeschke 1990, 73). Durch anthropogen verursachte, schwache Entwässerungen, aber auch natürlichen Klimaänderungen kommt es zunächst zu einem Stillstand des Moorwachstums, was eine Ausbildung von Pflanzengesellschaften des Stillstandskomplexes mit vermehrter Ausbreitung der Zwergsträucher zur Folge hat (vgl. Succow und Jeschke 1990, 74). Nehmen die Entwässerungen weiter zu, kommt es zu Artverschiebungen zugunsten verholzter Pflanzen bis hin zur Ausbildung von Wäldern (vgl. Schopp-Guth 1999, 29).

Bei den mesotrophen Sauer-Zwischenmooren existieren in Mitteleuropa je nach Wasseregime über ein Dutzend Vegetationsformen, sodass im Folgenden exemplarisch das bei Hangmooren auftretende Torfmoos-Seggen-Wollgrasried (*Eriophoro angustifolii-Sphagnetum recurvi*) vorgestellt wird (vgl. Succow und Jeschke 1990, 80ff). Wichtige Vertreter dieser Pflanzengesellschaft sind verschiedene Arten der Torfmoose, das Schmalblättriges Wollgras (*Eriophorum angustifolium*), die Schnabelsegge (*Carex rostrata*) sowie der Fieberklee (*Menyanthes trifoliata*) (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 88). Während in trockenen Perioden schlechtwüchsige Birken und Kiefern Teil der Gesellschaft werden, können sich bei hohen Überschüssen an Niederschlägen Armmooere entwickeln (vgl. Succow und Jeschke 1990, 82).

Die Nährstoffverhältnisse der Basen- und Kalk-Zwischenmooren haben sich durch die Eutrophierung so stark verändert, dass die ursprünglich vorkommenden artenreichen Vegetationstypen nur noch selten anzutreffen sind (vgl. Succow und Jeschke 1990, 86; Schopp-Guth 1999, 61). Grund für die Eutrophierung ist die durch starke Entwässerungen verursachte Stickstofffreisetzung, was erhebliche Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung hat (vgl. Succow und Jeschke 1990, 86). Die torfbildende Vegetation der Basen-Zwischenmoore besteht unter anderem aus braunmoosreichen Schnabelseggenrieden (*Caricion rostratae*), Braunseggenrieden (*Caricion fuscae*) und Drahtseggenrieden (*Caricion diandrae*) (vgl. Schopp-Guth 1999, 28), während die Vegetation der Kalk-Zwischenmoore vor allem durch die auf Braunmoostepichen wachsenden Schneiden-, Kopfbinsen- und Seggenriede geprägt ist (vgl. Succow und Jeschke 1990, 92).

Reichmoore stellen den größten Teil noch wachsender Moore in Deutschland auf Kosten der anderen Moortypen dar, was vor allem auf die anthropogen verursachte Nährstoffbelastung zurückzuführen ist (vgl. Schopp-Guth 1999, 61). Hochproduktive Arten mit hoher Expansionskraft dominieren die Reichmoore bei günstiger Nährstoffversorgung, die zu den Gesellschaften der Röhrichte und Großseggenrieder zählen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 116ff). Vergleicht man die heute vorkommenden Pflanzengesellschaften mit der früheren Vegetation der eutrophen Moore, zeigt sich neben einer Artenverschiebung vor allem die deutlich geringe Artenvielfalt, das nahezu gänz-

liche Fehlen der Moose sowie die Dominanz einer oder weniger Arten am Standort (vgl. Succow und Jeschke 1990, 114).

Die Gliederung in hydrologisch-entwicklungsgeschichtliche oder hydrologische Moortypen beruht auf den Unterschieden im Wasserhaushalt, die für die Moorentstehung und -entwicklung von großer Bedeutung sind (vgl. Succow und Jeschke 1990, 31). Als Ursachen für die Entstehung unterschiedlicher hydrologischer Moortypen werden von Succow und Jeschke (1990) vor allem klimatische Bedingungen wie Verdunstung und Niederschlag sowie Bodenfrostdauer und -intensität angeführt (vgl. Succow und Jeschke 1990, 31). Des Weiteren sind Bodeneigenschaften, Relief, Einfluss von Oberflächengewässern, vorherrschende Vegetation und die Torfqualität von Bedeutung (vgl. Steiner und Grünig 2002a, 1). Schließlich haben anthropogene Einflüsse wie Entwässerungen und die Stauung von Fließgewässern die Entwicklung der Moore maßgeblich, vor allem mit negativen Auswirkungen, beeinflusst (vgl. Succow und Jeschke 1990, 31). Succow und Jeschke (1990) unterscheiden acht hydrologische Grundtypen, die sich direkt auf dem mineralischen Grund oder anderen Moortypen entwickeln können (vgl. Succow und Jeschke 1990, 32). Die im Nationalpark vorkommenden Hangmoore entwickeln sich durch permanent ablaufendes Überrieselungswasser an geneigten Hängen, während sich die Torfe der Quellmoore durch ständig austretendes Quellwasser aus dem Mineralboden bilden (vgl. Schopp-Guth 1999, 36-43). Regenmoore entwickeln sich häufig auf anderen Moortypen, können sich aber auch direkt auf dem Mineralboden bilden. Zudem gibt es noch Kessel-, Verlandungs-, Versumpfungs-, Durchströmungs- und Überflutungsmoore. Aus Übersichtlichkeitsgründen werden die Charakteristika der hydrologischen Moortypen exemplarisch für Hang- und Quellmoore erläutert, da diese im Nationalpark Hunsrück-Hochwald vertreten sind (vgl. Scholtes 2002, 79). Zudem werden die Eigenschaften der Regenmoore aufgeführt, weil sich einige Moore in einem Übergangszustand befinden und Kennzeichen dieses Moortyps aufweisen (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 34).

Die noch relativ jungen Hangmoore sind in Mitteleuropa vor ca. 2000 bis 3000 Jahren entstanden, wobei sich die meisten aufgrund von Rodungsarbeiten erst ab dem Mittelalter entwickelt haben, bedingt durch die im Vergleich zu Waldflächen geringere Verdunstung (vgl. Succow und Jeschke 1990, 37). Die Vermoorung an mehr oder weni-

ger starker Hangneigung geschieht durch Überrieselungswasser, welches durch Oberflächenwasser oder aus Quellen das Moor in Bahnen durchzieht oder in breiter Front eintritt (vgl. Succow und Jeschke 1990, 37). Das Wachstum erfolgt gewöhnlich hangaufwärts, weil sich das Mineralbodenwasser zu Beginn staut, was letztendlich Auswirkungen auf die Torfmächtigkeit hat: Bezieht das Moor sein Wasser nur aus einem kleinen Einzugsgebiet, stoppt das Wachstum und die Torfe werden nur geringmächtig (vgl. Succow und Jeschke 1990, 38). Ein weiteres Kennzeichen ist die Abnahme der Nährstoffe hangabwärts (vgl. Succow und Jeschke 1990, 38), sodass bei großem Einfluss des Niederschlags in diesen nährstoffarmen Gebieten ein ombrogenes Wachstum des Torfes erfolgt und ein wie in der nachfolgenden Abbildung dargestelltes Regenmoor entsteht (vgl. Schopp-Guth 1999, 44).

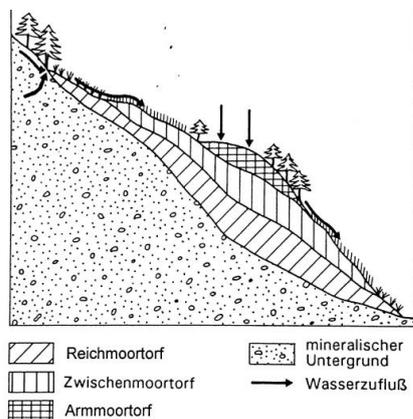


Abb. 2: Schematischer Schnitt eines Hangmoores in Mittelgebirgen (Schopp-Guth 1999, 44).

Die Abbildung veranschaulicht zudem die Abführung des Überrieselungswassers, was kennzeichnend für Hangmoore ist. Hangmoore sind überwiegend sauer-mesotroph bis sauer-oligotroph, denn der mesotroph-subneutrale Moortyp kommt aufgrund der raschen Versauerung während seiner Entwicklung nur selten vor (vgl. Succow und Jeschke 1990, 38). In Deutschland sind Hangmoore abgesehen vom Hunsrück auch in den Alpen, Mittelgebirgen sowie Bergländern vertreten, wobei sie im Tiefland mit kleinen überrieselten Flächen vorkommen (vgl. Schopp-Guth 1999, 44).

Die zumeist kleinflächigen Quellmoore entwickeln sich unweit von permanent Wasser ausschüttenden Quellaustritten und können sowohl in der Ebene als auch an Hängen als so genannte Hangquellmoore entstehen (vgl. Schopp-Guth 1999, 42). Charakteristisch für Quellmoore ist die starke Zersetzung der Torfe durch das sauerstoffreiche

Quellwasser (vgl. Steiner und Grünig 2002a, 10). Je nach ökologischem Moortyp variiert die Torfmächtigkeit: Gewöhnlich weisen die Torfe der eutroph bis mesotroph sauren Moore nur eine geringe Mächtigkeit auf, während Quellmoore in Gebieten mit hohem Kalkgehalt mit Kalk durchsetzte mehrere Meter mächtige Torfschichten bilden können (vgl. Schopp-Guth 1999, 42). Zudem ist der Einfluss der chemischen Eigenschaften des Wassers, vor allem der des Kalkgehalts, auf die Vegetation deutlich erkennbar (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 36). Ein solches mit Almkalk und Kalktuff durchsetztes Quellmoor ist in der nachfolgenden Abbildung als schematischer Schnitt dargestellt.

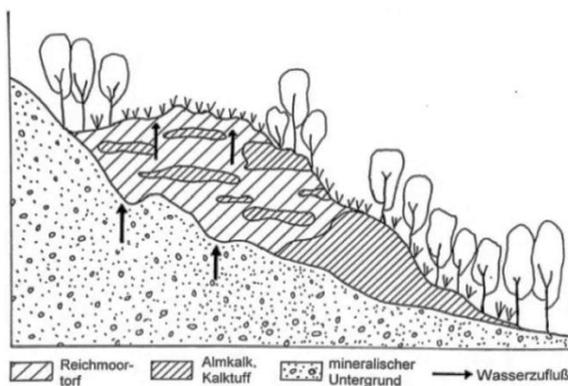


Abb. 3: Schematischer Schnitt eines Quellmoores (Schopp-Guth 1999, 42).

Die kuppelförmige Ausbildung sowie die Inhomogenität des Torfkörpers, der mit Kalk durchsetzt ist, lassen sich anhand der Abbildung deutlich erkennen. Ebenso wie Hangmoore sind Quellmoore noch relativ jung und vor allem durch anthropogene Einflüsse entstanden, wie beispielsweise aufgrund von Vernässung nach Waldrodungen (vgl. Schopp-Guth 1999, 43). Zudem sind sie mit anderen hydrologischen Moortypen assoziiert und stellen einen Teil eines großen Moorkomplexes dar (vgl. Succow und Jeschke 1990, 39). Durch diverse Eingriffe in den Wasserhaushalt, zum Beispiel durch Entwässerungen und Grundwasserentnahmen, sind die zuvor in Deutschland häufig auftretenden Quellmoore stark gefährdet, was insbesondere für oligotrophe und mesotrophe Moore gilt (vgl. Schopp-Guth 1999, 43).

Bei Regenmooren erfolgt die Torfbildung ausschließlich unter Einwirkung von Niederschlagswasser und lässt somit mehr oder weniger stark zersetzte Torfe entstehen, deren Mächtigkeit abhängig von den klimatischen Begebenheiten bis zu mehrere Meter betragen kann (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 36). Von großer Bedeutung für die

Entwicklung dieser ombrogenen Moore ist das Vorkommen bestimmter Torfmoosarten, die eine hohe Haltekapazität von Wasser aufweisen und somit eigenständig einen Moorwasserkörper etablieren können (vgl. Steiner und Grünig 2002a, 14). Zudem verfügen sie über die Fähigkeit, die vom Niederschlag eingebrachten Kationen gegen Oxoniumionen auszutauschen, was zu einer für Regenmoore typischen Vernässung und Versauerung des Gebietes führt und gleichzeitig eine Artenarmut unter diesen sauren Begebenheiten bedingt (vgl. Steiner und Grünig 2002a, 14). Regenmoore können direkt auf dem Mineralboden oder auf anderen Moortypen entstehen, allerdings ist ein Wachstum der Regenmoore nur bei ausreichenden Niederschlägen möglich. In der nachfolgenden Abbildung ist ein Regenmoor dargestellt, welches auf einem Durchströmungs- und Verlandungsmoor aufwächst.

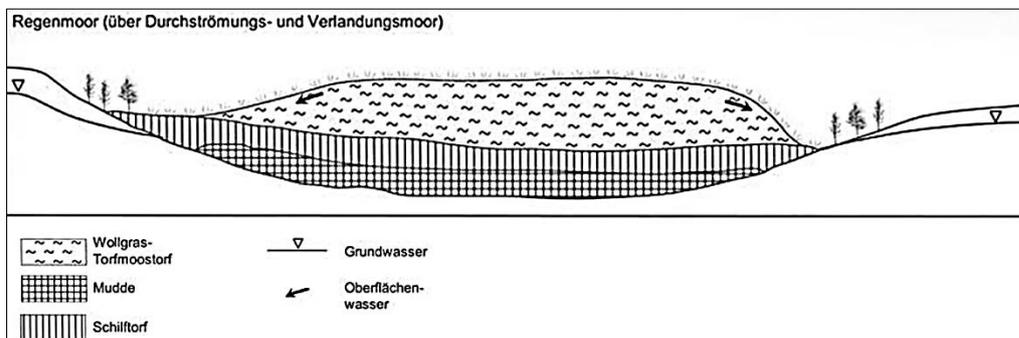


Abb. 4: Schematischer Schnitt eines auf einem Durchströmungs- und Verlandungsmoor aufgewachsenen Regenmoors (Timmermann et al. 2009, 58).

Neben ausreichenden Niederschlägen ist die Verdunstung ein ebenfalls nicht zu vernachlässigender Aspekt, die wiederum eine starke Temperaturabhängigkeit aufweist (vgl. Succow und Jeschke 1990, 66). Somit ist das Vorkommen von Regenmooren nur in Gebieten möglich, in denen Verdunstung und Abfluss im Jahresverlauf zusammen geringer sind als die Niederschläge (vgl. Succow und Jeschke 1990, 66). Hinsichtlich ihrer Morphologie und der vorkommenden Vegetation werden diverse Typen von Regenmooren unterschieden, die in verschiedenen Regionen Deutschlands vertreten sind (vgl. Schopp-Guth 1999, 47): So weisen Plateaumoores, die im Voralpenland und Flachland vorkommen, eine am Rand für sie typische Aufwölbung auf, während im Mittelgebirge und in den Alpen Kammregenmoore oder sekundär auf Hangmooren aufwachsende Regenmoore vorkommen (vgl. Schopp-Guth 1999, 48).

Unter dem Einfluss des Menschen haben sich nicht nur die Vegetation und die Häufigkeit einiger hydrologischen Moortypen geändert, sondern auch die Verbreitung und Größe der Moore: Mit 15.000 km² haben Moore einst ca. 4,5 Prozent der Fläche Deutschlands bedeckt, doch über 95 Prozent der überwiegend im Alpenvorland sowie in der norddeutschen Tiefebene vorkommenden Ökosysteme sind durch anthropogene Einflüsse zerstört worden (vgl. Grützmacher et al. 2012, 8). Viele Moore sind lediglich eine „Lagerstätte“ für Torf, da die Bildung der Torfe nicht mehr stattfinden kann (vgl. Schopp-Guth 1999, 54). Die Gründe für die Zerstörung der Moore sind vielfältig, zumal sich der Mensch bereits seit der Bronzezeit Moore zu nutzen macht, aber erst in den vergangenen hundert Jahren hat diese (Aus-)Nutzung der Moore enorme Ausmaße erreicht und damit wesentlich zum Verlust ganzer Moorlandschaften beigetragen (vgl. Schopp-Guth 1999, 52). Anhand der folgenden Abbildungen sind die Anteile der verschiedenen Verwendungen der Hoch- und Niedermoore in Deutschland ersichtlich, die sich aus der Flächennutzung ergeben (vgl. Höper 2007, 115f).

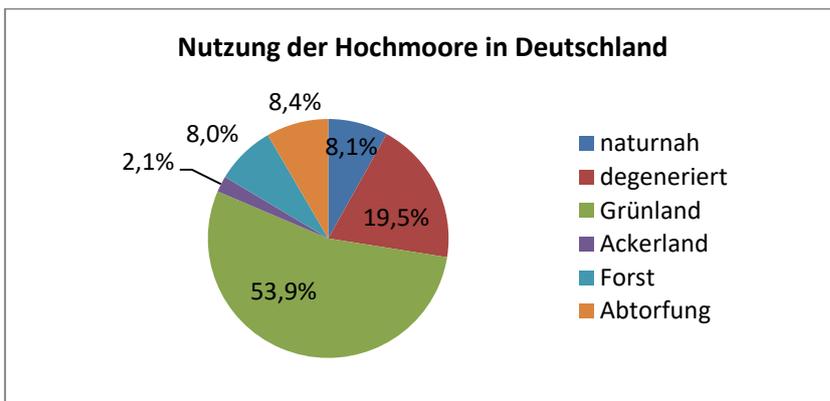


Abb. 5: Anteile der Hochmoornutzung in Deutschland (eigene Darstellung mit Daten aus Höper 2007, 115).

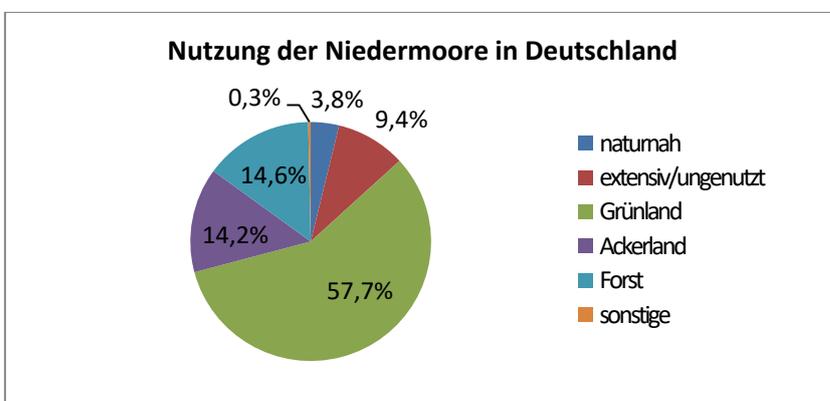


Abb. 6: Anteile der Niedermoornutzung in Deutschland (eigene Darstellung mit Daten aus Höper 2007, 116).

Anhand der Abbildung fünf ist ersichtlich, dass fast ein Fünftel der Hochmoore degeneriert ist und sich nur noch 8,1 Prozent im naturnahen Zustand befinden. Der Anteil der naturnahen Niedermoore ist mit 3,8 Prozent noch geringer. Diese Moore können ihre Funktionen in der Landschaftsökologie noch erfüllen, während degenerierte lediglich „tote“ Torflagerstätten ohne Torfakkumulation darstellen, welche die Umwelt belasten (vgl. Schopp-Guth und Guth 2003, 7). Eine wichtige Nutzung der Hochmoore ist der Abbau von Torf, dessen Anteil 8,4 Prozent beträgt. Die Torfgewinnung für die Brennstoffnutzung beginnt bereits in der Bronzezeit, erreicht den Höhepunkt aber erst im 19. Jahrhundert während der Industrialisierung (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 155). Heute wird Brenntorf in Deutschland nur noch in sehr geringem Maß verwendet (vgl. Caspers und Schmatzler 2009, 76). Als industrieller Rohstoff hat Torf jedoch zunehmend an Bedeutung gewonnen: So werden 55 Prozent des in Deutschland produzierten Torfs im Erwerbsgartenbau verwendet, 35 Prozent im Hobbybereich sowie etwa 10 Prozent als Aktivkohle (vgl. Caspers und Schmatzler 2009, 76). Grund für die hohe Nachfrage ist nach Joosten (2012) das Fehlen einer guten Alternative, die hinsichtlich Preis, Qualität und massenhaftem Vorkommen mit Torf konkurrieren kann (vgl. Joosten 2012, 53). Sowohl Hoch- als auch Niedermoore werden zu großen Teilen als land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen verwendet. Der größte Anteil macht die Grünlandnutzung aus, die bei beiden Moortypen über 50 Prozent beträgt. Da Hochmoore nährstoffarm sind, müssen sie im Gegensatz zu eutrophen Niedermooren für die Nutzung gedüngt werden (vgl. Blankenburg 2015, 48). Von dieser extensiven Nutzung, die sich durch mäßige Entwässerung und das Auskommen ohne Düngung auszeichnet, wird die intensive unterschieden, bei der Moore stark entwässert und gedüngt werden (vgl. Grützmacher et al. 2012, 16f). Eine Entwässerung, die eine Voraussetzung zur Nutzung der Moore ist, bleibt nicht ohne Folgen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 157): Die Torfbildung kommt zum Erliegen, denn der Abbau der Phytomasse übersteigt die Produktivität und der Stoffhaushalt im Moor ändert sich (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 144). Der Torf mineralisiert, sackt, schrumpft und vererdet schließlich und infolgedessen kann der Anteil der organischen Materie von über 80 Prozent auf weniger als 20 Prozent sinken (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 158). Diese teilweise irreversiblen Veränderungen der Bodenstruktur vermindern die Speicherfähigkeit von Wasser, so dass einerseits bei Trockenheit die Grundwasserstände absinken, andererseits in

feuchten Phasen Überflutungen keine Seltenheit sind (vgl. Schopp-Guth 1999, 63f). Als weitere Folgen werden von Eggelsmann (1990) Winderosion, Substanzabfuhr durch ober- und unterirdische Wassererosion sowie Auswaschung angeführt (vgl. Eggelsmann 1990, 333). Da Moore enorme Kohlenstoffspeicher darstellen, wird der akkumulierte Kohlenstoff als Kohlenstoffdioxid freigesetzt, das zusammen mit dem ebenfalls freigesetzten Distickstoffoxid als Treibhausgas die Atmosphäre schädigt (vgl. Timmermann et al. 2009, 50). Des Weiteren führt die Nitratfreisetzung zu einer Eutrophierung der Oberflächengewässer, die konkurrenzstarke Organismen, die an eutrophe Standorte angepasst sind, begünstigt (vgl. Joosten 2012, 50; Timmermann et al. 2009, 60). Folglich ändern sich Zusammensetzung und Struktur der Vegetation zum Vorteil von Gehölzen, Röhricht-Arten und Zwergsträuchern, aber zu Lasten der speziell an Moore angepassten Arten (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 159). Zudem werden nicht unerhebliche Mengen an Kalium, Phosphor und anderen Mineralstoffen freigesetzt (vgl. Schopp-Guth und Guth 2003, 13). Der Erhalt naturnaher Moore ist angesichts ihrer Ökosystemleistungen von großer Bedeutung: Neben ihrem Beitrag zum Klimaschutz als Kohlenstoffspeicher, dem Erhalt der Biodiversität aufgrund ihrer besonderen Lebensraumbedingungen sowie ihrer Fähigkeit zur Stofffilterung tragen sie einen wesentlichen Anteil zum Hochwasserschutz, zur Kühlungsleistung infolge ihrer hohen Verdunstungsrate und zur Aufrechterhaltung des Landschaftswasserhaushalts bei (vgl. Heller et al. 2016, 17f). Zudem sind sie für die Landschaftsgeschichte und Moorarchäologie aufgrund ihrer guten Konservierungsfähigkeit unersetzlich, da keine andere Quelle Kenntnisse zu den Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Umwelt sowie zur Zusammensetzung früherer atmosphärischer Spurenstoffe liefert (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 170f).

Aus den zuvor genannten Gründen sind der Schutz der noch bestehenden Moore und eine Restaurierung oder Renaturierung entwässerter Moore von großer Bedeutung. Nach Auffassung von Joosten (2012) lässt sich in den vergangenen Jahren eine Zunahme der Kenntnisse über Moore und ein Bewusstsein bezüglich ihrer Bedeutung für die Umwelt verzeichnen (vgl. Joosten 2012, 53). So sind 2007 zum Schutz der Moore in dem Kabinettsbeschluss „Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt“ vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) Forderungen

entwickelt worden, die von allen Bundesländern eine Erarbeitung von Entwicklungskonzepten bis 2010 und ihre Umsetzung bis 2025 erwarten (vgl. Kuchler-Krischun 2015, 37). Zum einen sollen der Wasserhaushalt unversehrter Moore geschützt, regenerierbare Moore bis 2020 dauerhaft wiederhergestellt sowie die Stickstoffeinträge kontinuierlich unterhalb der Belastungsgrenze reduziert werden (vgl. Kuchler-Krischun 2015, 38). Zum anderen werden neben einer „natürlichen Entwicklung in allen Hochmooren und Moorwäldern“ (Kuchler-Krischun 2015, 38) auch eine Verringerung des Abbaus von Torf ab 2015 und eine vermehrte Verwendung von Ersatzstoffen für Torf im Gartenbau gefordert (vgl. Kuchler-Krischun 2015, 38). Insbesondere in den moorreichen Bundesländern Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen sowie Schleswig-Holstein liegen verschiedene Programme und Strategien zum Schutz und zur Entwicklung von Mooren vor (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein 2012). Joosten (2012) kritisiert allerdings, dass der Moorschutz vernachlässigt wird, sobald wichtigere Interessen (Nahrung, Energie) auftreten und viele Moore nur aufgrund ihres hohen Degradationsgrads unter Schutz stehen, weil sie anders nicht mehr genutzt werden können (vgl. Joosten 2012, 54). Des Weiteren ist es aufgrund des sukzessiven Forstschreitens von Artenverlust und Flächenabnahme nicht ausreichend, Moore nur unter Schutz zu stellen, sodass die gesamte Funktionsfähigkeit der Moore berücksichtigt werden muss (vgl. Schopp-Guth 1999, 73). Dementsprechend darf beispielweise das Einzugsgebiet nicht unberücksichtigt bleiben, weil sämtliche Eingriffe auch Auswirkungen auf das Ökosystem Moor selbst haben (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 174). Da viele Moore insbesondere in dicht besiedelten Regionen erheblich beschädigt sind, müssen sie renaturiert oder restauriert werden. Die Begriffe „Renaturierung“, „Restaurierung/Restauration“ und „Revitalisierung“ werden in Zusammenhang mit Mooren oft gefunden, dürfen jedoch nicht synonym verwendet werden: Bei der Renaturierung wird unter Verringerung der menschlichen Nutzung und Eingriffe ein naturnäherer Zustand erreicht (vgl. Zerbe et al. 2009, 4). Dagegen bedeutet die Restauration eine „Rückführung in den ursprünglichen, eindeutig historischen Zustand mit verschiedenen, meist technischen Maßnahmen“ (Zerbe et al. 2009, 4). Wird ein Moor revitalisiert, so werden die abiotischen Umweltbedingungen wiederhergestellt, um die für den Standort typischen Biozönosen anzusiedeln (vgl. Zerbe et al. 2009, 4). Im Folgenden werden die Begriffe entsprechend ihres Ge-

brauchs in den Literaturquellen verwendet. Eine wichtige Erkenntnis für jegliche Restaurierungsmaßnahmen ist die gegenseitige Beeinflussung zwischen der Hydrologie, der Vegetation und des Torfkörpers, weshalb sich jede Änderung sofort oder langfristig auf die anderen Komponenten auswirkt (vgl. Schumann und Joosten 2008, 11). So bestimmt die Hydrologie neben der Zusammensetzung der Pflanzenarten die Torfbildung und den Grad der Zersetzung, während die Pflanzen die Art des Torfs und seine hydraulische Beschaffenheit festlegen (vgl. Timmermann et al. 2009, 55). Die Torfstruktur hat wiederum Einfluss auf die Hydrologie, indem sie Änderungen in der Wasserströmung und den Wasserspiegelschwankungen verursacht (vgl. Timmermann et al. 2009, 55).

Für jedes Moor muss unter anderem in Abhängigkeit seines Zerstörungsgrades, seiner Hydrologie und Ökologie individuelle Strategien zur Pflege und Entwicklung erarbeitet werden, weil diese Komponenten in einem komplexe Gefüge zusammenhängen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 174). Außerdem müssen der organisatorische und vor allem finanzielle Aufwand in die Planung einbezogen werden (vgl. Eigner 2003, 26). Allgemein lässt sich das Vorgehen zur Entwicklung zielgerichteter Maßnahmen jedoch wie folgt beschreiben: Zunächst muss der Ausgangszustand der vorherrschenden biotischen und abiotischen Begebenheiten durch Untersuchungen verschiedener Parameter erfasst werden (vgl. Hoffmann 2017, 8). Letzteres ist notwendig, um zum einen die Abstimmung der Entwicklungsmaßnahmen auf vorhandene Potentiale und Arten zu ermöglichen sowie zum anderen eine spätere Erfolgskontrolle zu erlauben (vgl. Hoffmann 2017, 8). Kenntnisse über den Torfkörper, frühere Nutzung, Wasserhaushalt, stoffliche Einträge und Biozönosen bilden dabei eine wichtige Grundlage (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 174). Beispielhaft werden bei einem 2005 gestarteten EU-LIFE-Projekt, das der Restauration von Hangmooren im rheinland-pfälzischen Hochwald dient und von der Europäischen Union, dem Naturschutzbund Rheinland-Pfalz sowie der Naturschutzabteilung des Umweltministeriums gefördert wird (vgl. Hoffmann 2017, 7), folgende Parameter erhoben: Pedologische Kartierung des Standorts inklusive Untersuchung der Torfmächtigkeit, Analyse der Entwässerungsstrukturen, Kartierungen der Vegetation (vor allem Torfmoose) und des Abflussverhaltens, Analyse historischer Karten sowie Untersuchung der Libellen (vgl. Hoffmann 2017, 8f). Der Daten-

erhebung folgt eine naturschutzfachliche Bewertung und Integration in einen Handlungsplan, wobei eine Weiterentwicklung des Plans unter stetigem Austausch mit den Durchführenden vor Ort unumgänglich ist (vgl. Hoffmann 2017, 9). Neben dem Einbezug von Erfahrungswissen ist eine exakte Dokumentation zur langfristigen Maßnahmeevaluation ebenfalls von Bedeutung, weil für jedes Moor Einzelentscheidungen vonnöten sind und die Moorrenaturierung ein langwieriges Projekt darstellt (vgl. Rohland 2017, 61). Da Entwässerungen die Hauptursache für den schlechten Zustand der meisten mitteleuropäischen Moore darstellen und damit auch den Torfkörper sowie die Vegetation beeinträchtigen, stellt die Wiedervernässung den wichtigsten Ausgangspunkt der Moorrevitalisierung dar (vgl. Timmermann et al. 2009, 67). Je nach hydrologischem Moortyp müssen verschiedene Maßnahmen zur Wiedervernässung ausgearbeitet werden, wobei aufgrund der eingetretenen Veränderungen nicht zwangsläufig der ehemalige Moortyp wiederhergestellt werden kann (vgl. Timmermann et al. 2009, 66). Obwohl eine Wiedervernässung die Grundlage zur Moorrevitalisierung darstellt, ist sie im Zusammenhang mit dem Naturschutz nicht konfliktfrei, da in sich aus Mooren entwickelten Feuchtwiesen oder anderen sekundären Lebensräumen viele mitunter auch gefährdete Arten einen Rückzugsort gefunden haben (vgl. Schopp-Guth und Guth 2003, 15). Um sowohl dem Moor als Primärlebensraum als auch den in den Sekundärlebensräumen angesiedelten Arten gerecht zu werden, können letztere beispielsweise in entwässerte Randgebiete der Moore umgesiedelt werden, wenn diese den Artansprüchen genügen und der Eingriff aus populationsbiologischer Sicht vertretbar ist (vgl. Schopp-Guth und Guth 2003, 16). Aufgrund der zunehmenden Eutrophierung von Oberflächen- und Grundwassern sowie von Böden ist die Reduktion der Nährstoffe ebenfalls von Bedeutung, weil viele in Mooren vorkommenden Pflanzen an die nährstoffarmen Bedingungen angepasst und die höchsten Raten der Torfbildung bei Mooren mit oligotrophen bis mesotrophen Bedingungen zu verzeichnen sind (vgl. Timmermann et al. 2009, 60; Schopp-Guth und Guth 2003, 9). Allerdings sind die Aussichten auf eine Wiederherstellung dieser Nährstoffverhältnisse in Deutschland im günstigsten Fall nur bei Mooren mit schwachen Schädigungen möglich (vgl. Schopp-Guth und Guth 2003, 9). Langfristig gesehen müssen Nutzungsformen für bewirtschaftete Moorflächen entwickelt werden, die umweltverträglicher sind als die aktuellen Formen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 174). Eine solche alternative Nut-

zungsform ist die Paludikultur, bei der Brenn- oder Rohstoffe in permanent wassergesättigten Mooren erzeugt und gleichzeitig eine Torferhaltung oder -bildung durch absterbende Wurzeln und Rhizome angestrebt werden, sodass eine positive Regulations-eigenschaft wiederhergestellt werden kann (vgl. Timmermann et al. 2009, 82; Gaudig et al. 2014, 68). Bei dieser Nutzungsform wird auf eine Entwässerung verzichtet, so dass die Moore ihre Funktion als Torfbildner, Schützer von Klima, Gewässern, Arten und als historisches Archiv erfüllen können (vgl. Gaudig et al. 2014, 68). Allerdings ist der Verzicht von Pestiziden und Dünger eine wichtige Voraussetzung (vgl. Timmermann et al. 2009, 85). Angesichts der gegenwärtigen, äußerst schlechten Situation ist eine Umstellung der Moornutzung sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Position unumgänglich, da die Kosten zur Unterhaltung einer anhaltenden, intensiven Nutzung und den daraus resultierenden Umweltproblemen immens sind (vgl. Timmermann et al. 2009, 84). Naturnahe Moore müssen umfassend geschützt und degradierte Moore renaturiert werden, weil die Leistungen dieser Ökosysteme in vielfacher Hinsicht die Ausbeutung ihrer Ressourcen überwiegen. Eine Zusammenarbeit zwischen Politik, Forschung, Land- und Forstwirtschaft und dem Umweltschutz ist für einen nachhaltigen Schutz der Moore eine wichtige Voraussetzung ebenso wie die Weiterentwicklung und Kontrolle umfassender Moorschutzprogramme.

2.2 Moor Ehlesbruch

Das bei diesem Projekt untersuchte Moor „Ehlesbruch“ befindet im rheinland-pfälzischen Nationalpark Hunsrück-Hochwald, ca. ein Kilometer westlich vom Erbeskopf (816 mm ü. NN.) entfernt. Bei dem Begriff „Bruch“ handelt es sich um eine historische, regionaltypische Bezeichnung für feuchte bis moorige Areale, die „sowohl gehölzarme eigentliche Moorflächen als auch randliche, mehr oder weniger feuchte Wälder“ (Scholtes 2002, 64) einschließen. Das Moor gehört einem Netz feuchter Standorte an, die über den gesamten Hauptkamm des Hunsrücks verbreitet sind und zum Teil über den Wasserhaushalt in Kontakt stehen (vgl. Scholtes 2015, 26). In der Vergangenheit ist ein Entwässerungsgraben errichtet worden, der das oberhalb des Moores anfallende Wasser abführt (vgl. Scholtes 2015, 47). Ein Holzsteg ermöglicht die Durchquerung des Moores, der allerdings durch einen neuen Steg ersetzt wird. Zu-

gleich wird eine Plattform errichtet, die einen Überblick über das Moor ermöglicht. Anhand der nachfolgenden Abbildungen sind die Entwässerungsstrukturen sowie die Einbettung des Moores in die umgebenden Biotoptypen zu erkennen.

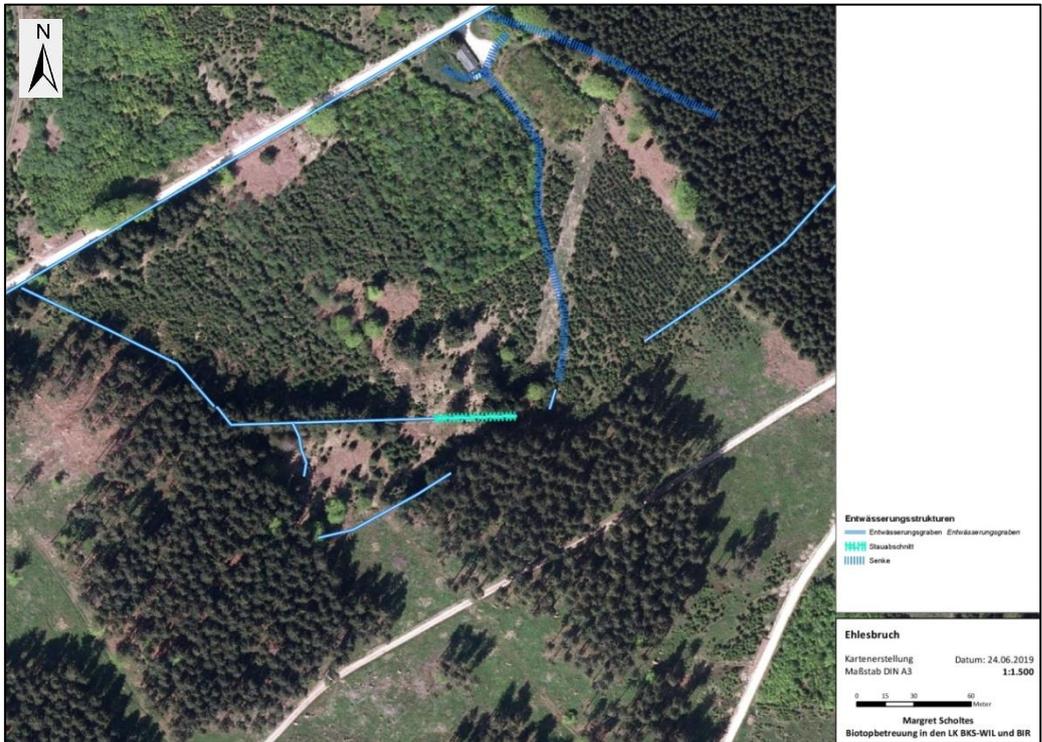


Abb. 7: Entwässerungsgräben des Untersuchungsgebiets (Scholtes 2019b)

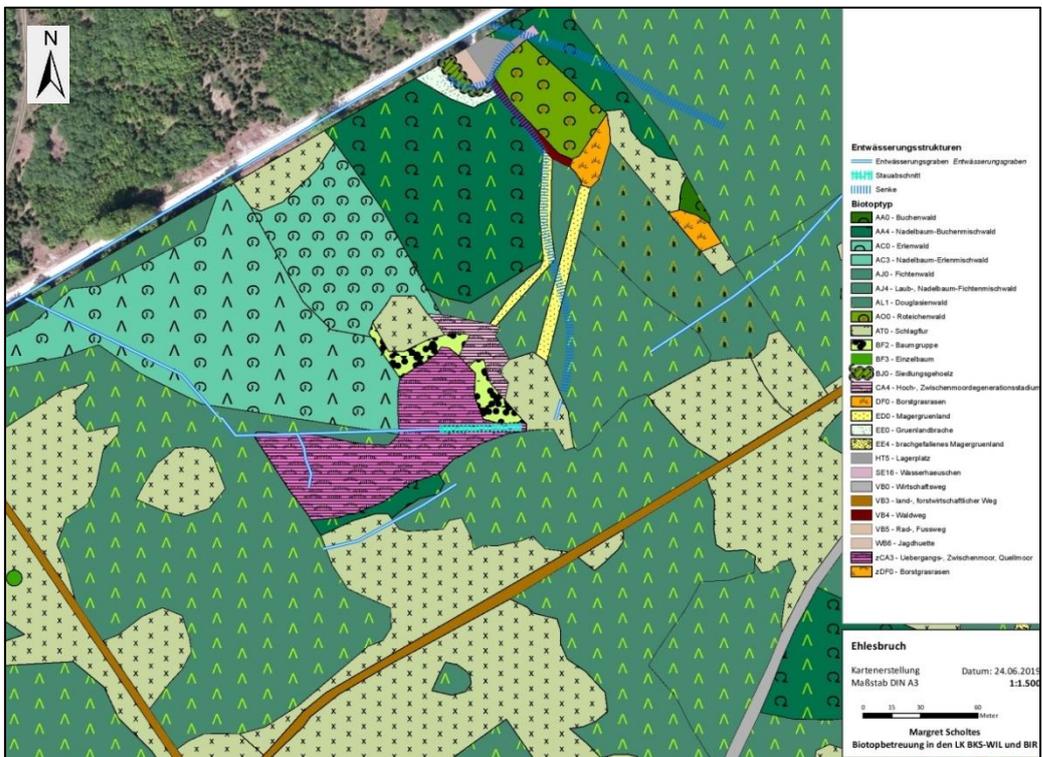


Abb. 8: Biotoptypen des Untersuchungsgebiets (Scholtes 2019a)

Da konkrete Daten zum Moor bezüglich der Torfmächtigkeit, des Alters, der Vegetation etc. fehlen, werden erhobene Daten anderer Moore aus der Umgebung herangezogen. Mithilfe von pollenanalytischen Untersuchungen schätzt Frenzel (1991) das Alter der Moore in diesem Gebiet zwischen 1300 und 3900 Jahren ein, wobei Scholtes und Nindel (2017) zu bedenken geben, dass die Proben unter Umständen nicht aus den mächtigsten Torfauflagen entnommen worden sind (vgl. Frenzel 1991, 320; Scholtes und Nindel 2017, 9). Nach Auffassung von Hoffmann (2017) können die Moore bis zu 5000 Jahre alt sein (vgl. Hoffmann 2017, 7). Begünstigt wird die Moorentstehung in den Mittelgebirgen durch das subozeanische Klima, das sich durch hohe Niederschläge, kühle Sommer und mäßig kalte Winter auszeichnet (vgl. Hoffmann 2017, 8). So beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur 6,2 °C und für die Niederschläge im Jahresmittel lassen sich 1024 mm verzeichnen (vgl. Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz 2019b, o.S.). Des Weiteren trägt der Nebel sowohl mit seinem Niederschlag als auch mit seinem hemmenden Einfluss auf Verdunstung und Transpiration durch die hohe Luftfeuchtigkeit zur Moorentwicklung bei (vgl. Scholtes 2002, 73). Von Bedeutung für die Moorentstehung sind die dort vorkommenden Gesteine: Zum einen der Taunusquarzit, der größtenteils das Untersuchungsgebiet einnimmt und zum anderen der Hangschutt, der kennzeichnend für den Unterhang ist (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 24). Die Neubildung des Grundwassers im Mooreinzugsgebiet erfolgt überwiegend im Taunusquarzit, wobei übertretendes Grundwasser zusammen mit Niederschlagswasser in den Hangschuttdecken im Bereich der Unterhänge gespeichert und als Hangschuttquelle wieder abgegeben wird (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 25). Dies führt zu dauerhaften Vernässungen und Wasserabfluss im Schutt, was mit Niederschlagswasser die Wasserversorgung der Moore ermöglicht, die aufgrund der komplexen Begebenheiten und Einflussfaktoren bei keinem der vorhandenen Moore vergleichbar ist (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 25). Die Gesteine haben zudem Auswirkungen auf die Nährstoffverhältnisse: Das nährstoffarme Wasser, welches aus dem Quarzit austritt, kann bei der Passage durch den ebenfalls nährstoffarmen Hangschutt nicht angereichert werden, so dass lediglich in den Unterhanglagen eine Anreicherung an Nährstoffen möglich ist (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 25).

Bezüglich der moortypologischen Einordnung lassen sich aufgrund fehlender Untersuchungen für die Hunsrückmoore nur Vermutungen anstellen, die auf Gebietskenntnissen und Einschätzung der hydrologischen Verhältnisse beruhen: Bei den hydrologischen Moortypen lassen sich nach Auffassung von Scholtes (2015) Hang-, Quell- sowie Übergangsmoore feststellen, wobei letztere eventuell Regenmoore-Reste aufweisen (vgl. Scholtes 2015, 25). Kennzeichnend für Moore im Hunsrück ist die mosaikartige Gruppierung der verschiedenen Moortypen, deren Unterschiede im Wesentlichen auf die verschiedenen Wasserversorgungen und Hangneigungen zurückzuführen sind (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 34). Hinsichtlich ihrer ökologischen Verhältnisse lassen sich oligotroph-saure, hochmoorähnliche Moore sowie mesotroph- bis oligotroph-saure Zwischenmoore vermuten (vgl. Scholtes 2015, 25). Auch wenn die Zwischenmoore eine hochmoor-ähnliche Vegetation aufweisen, wird aufgrund der Hanglagen stets Wasserzufluss aus dem Mineralboden zu erwarten sein, weshalb es voraussichtlich keine Regenmoore in diesem Gebiet geben wird (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 35). Die Torfmächtigkeit der Hunsrück-Brücher kann bis zu zwei Meter betragen, allerdings werden auf großen Flächen meistens nur 30 bis 60 Zentimeter erreicht (vgl. Scholtes 2015, 26).

Die Vielfalt der Moore bezüglich ihrer Torfmächtigkeit sowie ihrer Nährstoff- und Wasserversorgung spiegelt sich auch in ihrer Vegetation wider, da Moorheiden, Kleinseggenrieder, Moorwälder und Pflanzengesellschaften der Zwischenmoore auftreten (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 6). Daher lassen sich in den verschiedenen Mooren auch unterschiedliche moortypische und seltene krautige Pflanzenarten verzeichnen, wie beispielsweise die Moosbeere, das Scheidige Wollgras, das Schmalblättrige Wollgras (*Eriophorum angustifolium*) und die Schnabelsegge (*Carex rostrata*) (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 46). Ebenso lassen sich im Nationalpark 19 verschiedene Torfmoosarten feststellen, die bis auf wenige Flächen im gesamten Gebiet in unterschiedlicher Häufigkeit auftreten (vgl. Hölzer 2017, 31). Mithilfe bestimmter krautiger Pflanzenarten lassen sich außerdem Rückschlüsse auf den Zustand der Moore ziehen: So ist beispielsweise der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) ein dominanter Störzeiger für Austrocknung, wobei auch die Ausbreitung des Blauen Pfeifengras (*Molinia caerulea*) auf einen

Torfrückgang schließen lässt, da dessen Wurzeln den Oberboden durchlüften und damit die Torfmineralisierung begünstigen (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 36, 38).

In allen untersuchten Mooren ist eine Moordegeneration festzustellen, die durch einen gestörten Wasserhaushalt zurückzuführen ist und neben der Torfmineralisierung auch eine Verinselung der Moore zur Folge hat (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 36). Die zahlreichen Ursachen summieren sich, die Degeneration verläuft schleichend sowie Eingriffs- und Wirkungsort sind häufig getrennt (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 36). So führen neben Quellen zur Trinkwasserentnahme vor allem die zahlreichen, oberflächlich angelegten Entwässerungsgräben zu Störungen im Wasserhaushalt, was letztendlich den überwiegenden Teil der Moore in einen Wachstumsstillstand überführt oder gar in Torfrückgang resultiert (vgl. Scholtes 2015, 25; Scholtes und Nindel 2017, 36). In Folge einer langen Entwicklung und Erweiterung der Grabensysteme beträgt die Länge aller Gräben im Nationalpark Hunsrück-Hochwald mittlerweile über 100 Kilometer (vgl. Zemke et al. 2016, 103f). Vor allem Moore in den Hanglagen sind insbesondere bei großen Niederschlagsmengen von Erosion betroffen, weil sie die Entwässerungsstrukturen aufrechterhalten, neue Gräben bilden und somit die Entwässerung verstärken (vgl. Scholtes 2015, 34). Ihre Funktion zum Wasserrückhalt haben die Moore zum größten Teil trotz guter Standortbedingungen verloren (vgl. Zemke et al. 2016, 114). Ob sich diese im Rahmen der Maßnahmen zur Renaturierung und Wiedervernässung in Folge der Einrichtung des Nationalparks zumindest teilweise wiederherstellen lassen, ist nach bisherigen Erkenntnissen noch offen (vgl. Zemke et al. 2016, 114). Als Schwerpunkt dieser Maßnahmen sollen die natürlichen Standortbedingungen wiederhergestellt und die Lebensraumtypen gefördert werden, damit sich die Moore und Brücher bei optimalen Bedingungen erhalten können (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 80). So werden zur Revitalisierung Fichten entnommen, das Wasserregime wiederhergestellt und die Strukturen zur Entwässerung zurückgebaut (vgl. Hoffmann 2017, 9). Die Fichtenentnahme ist in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung, da sie das Moor beschatten, und durch hohe Transpirationsleistungen dem Moor Wasser entziehen (vgl. Hoffmann 2017, 9). Auch bei dem Moor Ehlesbruch sind Revitalisierungsmaßnahmen vollzogen worden: Zuvor hat ein Entwässerungsgraben das gesamte Wasser, das oberhalb angefallen ist, aus dem Moorgebiet abgeführt (vgl. Scholtes 2015, 47). Um eine flächenhaf-

te Vernässung erreichen zu können, sind höhenparallele Staubauwerke angelegt worden, sodass es nach oben hin zu einem Rückstau des Wassers und nach unten zur einer flächigen Vernässung kommt (vgl. Scholtes 2015, 47). Als weitere Maßnahme wird von Scholtes und Nindel (2017) auch die Öffentlichkeitsarbeit angeführt, die auf die Besonderheiten der seltenen und empfindlichen Biotop hinweisen soll (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 88). Hierbei ermöglicht ein Steg am Standort Riedbruch die Durchquerung des Moores und bei Aktiv-Angeboten können verschiedene Gruppen unter anderem bei Pflegemaßnahmen teilnehmen (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 88). Zudem wird die Möglichkeit erwogen, das Moor Ehlesbruch ebenfalls in die Öffentlichkeitsarbeit miteinzubeziehen (vgl. Scholtes und Nindel 2017, 88).

Um das Fortschreiten der Moordegeneration zu unterbinden und die Moore in den Zustand zu versetzen, dass sie sich als Primärbiotop selbst erhalten können, müssen weitere Untersuchungen zur Erschließung grundlegender Informationen unternommen werden (vgl. Scholtes 2002, 103). Bezüglich zur Forschung zu den Mooren im Hunsrück liegen zurzeit Pläne zur Pflege, Projekte zum Artenschutz, meist unbekannt studentische Arbeiten sowie Untersuchungen zum oberflächigen Wasserhaushalt vor (vgl. Scholtes 2017, 23). Allerdings fehlen unter anderem zoologische Forschungen zu den Mooren ebenso wie Untersuchungen zum Grundwasserhaushalt, zu den Böden/Torfen sowie zu den Zusammenhängen zwischen den biotischen und abiotischen Faktoren in den Mooren und ihren Einzugsgebieten (vgl. Scholtes 2017, 23).

2.3 Gewässergüte

Die Wasserqualität der Moore hat einen wesentlichen Einfluss auf deren Entwicklung, da der pH-Wert sowie die vorhandenen Nährstoffe die Vegetation bestimmen und letztendlich auch die Torfbildung beeinflussen (vgl. Timmermann et al. 2009, 57). Auf Basis der Wasserqualität lassen sich die bei Kapitel 2.1 bereits erläuterten ökologischen Moortypen unterscheiden. Neben der Feststellung von Umweltverschmutzungen unterstützen Kenntnisse über die Wasserqualität zusammen mit anderen biogeochemischen Parametern die Entwicklung von Maßnahmen zur Restauration der Moore (vgl. Bonnet et al. 2009, 94). Des Weiteren lässt sich die Eignung von Tier- und Pflan-

zenarten ableiten, die im Zusammenhang von Restaurierungsmaßnahmen in diesem Habitat einen Lebensraum finden können (vgl. Bonnet et al. 2009, 94). Nach einer Wiedervernässung können die physikalisch-chemischen Parameter herangezogen werden, um Änderungen der freigesetzten Stoffe festzustellen und den Zustand des Moores mit natürlichen oder entwässerten Mooren zu vergleichen (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 197). Wichtige Parameter zur Bewertung der Wasserqualität sind der pH-Wert zur Charakterisierung der Säure-Basen-Verhältnisse, die Temperatur, die Gesamthärte sowie die Konzentrationen von Ammonium, Nitrat, Nitrit und Phosphat zur Erfassung der Nährstoffverhältnisse (vgl. Bonnet et al. 2009, 94).

Bei der Messung chemisch-physikalischer Parameter ist die enge Gültigkeit bezüglich Zeit und Räumlichkeit zu beachten, weil sie nur den aktuellen Zustand der Wasserqualität zum Messzeitpunkt angibt und lediglich für die jeweilige Stelle der Probenentnahme gelten, was bei der Auswertung unbedingt berücksichtigt werden muss (vgl. Graw 2011, 83). Daher sollten nach Möglichkeit andere Messwerte herangezogen oder Messungen an verschiedenen Tagen durchgeführt werden (vgl. Graw 2011, 83). Außerdem sollten die Untersuchungen für den Erhalt repräsentativer Ergebnisse nicht bei Hochwasser und nicht nach starken Regenfällen innerhalb der letzten 24 Stunden durchgeführt werden (vgl. Graw 2011, 84). Bei der Entnahme von Oberflächenwasser eignen sich Bäche oder Gräben, bei entwässerten Mooren kann zudem eine Beprobung von Dränrohren aufgrund der Integration der Reaktionen eines gut ermittelbaren übersichtlichen Einzugsgebiets erfolgen (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 202). Zudem sollten die Proben nicht aus Bereichen mit stehendem, sondern mit strömendem Wasser gewonnen werden, da es zu Abweichungen der Ergebnissen kommen kann (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 202). Zur Probenentnahme von Grund- und Bodenwasser eignen sich verschiedene Techniken, wie beispielsweise Grundwasserrohre, Dialysesammler, Saugkerzen und -platten, deren Vor- und Nachteile bei der Planung hinsichtlich der Zielsetzung und des Budgets berücksichtigt werden müssen (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 203-207).

Zur Beurteilung der Säure-Basen-Verhältnisse wird der pH-Wert, der negative dekadische Logarithmus der Oxoniumionen-Konzentration, herangezogen. Gelöste und suspendierte Stoffe wie beispielsweise die Konzentration von Huminstoffen sowie das Kohlensäure-Gleichgewicht beeinflussen den pH-Wert ebenso wie die umgebende fes-

te Phase (vgl. Schneider et al. 2003, 41; Pohling 2015, 257). Die Messung kann mittels pH-Meter für eine genaue Feststellung des pH-Wertes oder unter Verwendung von Indikatorpapier oder einer Indikatorlösung für eine grobe Einschätzung der Säure-Basen-Verhältnisse erfolgen (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 197; Graw 2011, 86). Da sich der pH-Wert durch Oxidationsprozesse und entweichendes Kohlenstoffdioxid stark ändern kann, sollte die Messung stets an frischen Wasserproben erfolgen (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 197). In der Planungsphase von Moorrestaurierungen ist eine Messung des pH-Wertes zur Erfassung des Ausgangszustands ebenso von Bedeutung wie eine regelmäßige Untersuchung während der Umsetzung der Maßnahmen, denn manche Eingriffe können Veränderungen der Säure-Basen-Verhältnisse verursachen (vgl. Bonnet et al. 2009, 95). Jahreszeitliche Unterschiede des pH-Werts, insbesondere bei mesotrophen Mooren, sind ebenso möglich wie Schwankungen bei wechselnden Wasserständen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 79). Viele biologische, physikalische und chemische Prozesse werden direkt und indirekt durch den pH-Wert beeinflusst (vgl. Graw 2011, 86). Fische, Kleinlebewesen und Mikroorganismen können in einem Grenzbereich zwischen 5,0 und 9,0 existieren (vgl. Schneider et al. 2003, 42). Im Gegensatz zu anderen Gewässern können Moore deutlich niedrigere pH-Werte aufweisen und stellen daher nur für wenige, säureresistente Arten einen Lebensraum dar. Die pH-Daten können daher zur Interpretation von Vegetationsdaten herangezogen werden (vgl. Bonnet et al. 2009, 95). Mit abnehmendem pH-Wert lässt sich eine Verringerung der Nährstoffverfügbarkeit feststellen, da es zu einer Adsorption der Mineralstoffe an Humuskolloide kommt, die gegen Oxoniumionen ausgetauscht werden (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 11). Während es zu einem Anstieg der Konzentration des für Pflanzen toxischen Aluminiums kommt, sind Stickstoff- und Phosphorverbindungen nicht mehr für Pflanzen verfügbar (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 11, 69).

Ebenso wie der pH-Wert beeinflusst die Wassertemperatur chemische, biologische und physikalische Prozesse in Gewässern (vgl. Schneider et al. 2003, 41). Bedingt durch die Intensität und Dauer der Sonneneinstrahlung sowie der Luft- und Niederschlags-temperatur ändert sich die Gewässertemperatur sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf (vgl. Schneider et al. 2003, 41; Graw 2011, 84). Dabei hat die Temperatur einen Einfluss auf die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen, die Löslichkeit von Minera-

lien, organischen Stoffen und Gasen, die Lebens- und Fortpflanzungsvoraussetzungen der dort lebenden Organismen sowie die Wechselwirkungen zwischen Kolloiden und Partikeln (vgl. Schneider et al. 2003, 41). Die in den Gewässern lebenden Moore sind an einen speziellen Temperaturbereich angepasst und mehr oder weniger empfindlich gegenüber Temperaturschwankungen (vgl. Graw 2011, 84). In Mooren herrschen niedrige Bodentemperaturen und selbst im Sommer können unter Umständen Fröste auftreten, sodass zum einen die Produktivität der Pflanzen vermindert wird und zum anderen wärmeliebende Arten in diesem Lebensraum nicht bestehen können (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 81). Zum einen unterscheiden sich die Temperaturgradienten von nassem und trockenem Torf, zum anderen gibt es Unterschiede bei verschiedenen Komplexen der Vegetation: Während die Bulten, die über zehn Zentimeter aus dem Mooroberfläche herausragen, im Verlauf des Jahres eher kühl sind, hohe Schwankungen im Tagesverlauf aufweisen und trockene Torfe bis 60 Grad Celsius erreichen können, lassen sich bei Teilbereichen der wassergefüllten Schlenken im Jahresmittel deutlich höhere Temperaturen feststellen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 81; Pfadenhauer und Klötzli 2014, 498).

Die Gesamthärte von Wasser wird überwiegend durch gelöste Magnesium- und Calciumionen bestimmt, da andere Ionen, wie beispielweise Barium-, Strontium- und Aluminiumionen in natürlichen Gewässern nur in geringen Mengen vorkommen und daher vernachlässigt werden können (vgl. Pohling 2015, 2015, 147). Zur Beurteilung der Wasserhärte ist die Bezeichnung „Deutscher Grad (°d)“ eingeführt worden, bei dem 1 d° 7,19 mg Magnesiumoxid (MgO) pro Liter bzw. 10 mg Calciumoxid (CaO) pro Liter entspricht (vgl. Pohling 2015, 147). Allerdings wird heute statt der Massenkonzentration die Konzentration mit der Einheit mmol/l verwendet, sodass nach Umrechnung 1 mmol/l 56 mg Calciumoxid bzw. 5,6°d entspricht (vgl. Pohling 2015, 147). Ausgehend von den Konzentrationen und den zugehörigen Härten sind vier Härtebereiche zur Charakterisierung von Wasser festgelegt worden, die der nachfolgenden Tabelle entnommen werden können.

Tab. 2: Bewertung der Wasserhärte nach Konzentration (mmol/l) und Deutschen Härtegraden (°d) (Kölle 2012, 113).

Härtebereich	Konzentration [mmol/l]	Härte [°d]	Charakterisierung
1	<1,25	<7	Sehr weich bis weich
2	1,25–2,5	7–14	Weich bis mittelhart
3	2,5–3,8	14–21	Mittelhart bis hart
4	>3,8	>21	Hart bis sehr hart

Insbesondere bei hohen Kohlenstoffdioxid-Konzentrationen werden Magnesium-, Calcium- und Hydrogencarbonationen gebildet, wenn die Ionen aus den Mineralen Calcit (CaCO_3) und Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) in Lösung gehen (vgl. Pohling 2015, 147). Mithilfe der Gesamthärte lässt sich der Gehalt an Calciumcarbonat abschätzen, da die Carbonathärte inbegriffen ist (vgl. Kölle 2012, 110). Für Gewässer stellt Calciumcarbonat das wichtigste Puffersystem dar und hat Einfluss auf den pH-Wert (vgl. Sigg und Stumm 2016, 91). In Zusammenhang mit dem pH-Wert lassen sich Aussagen zu den ökologischen Moortypen treffen, weil sich nach Succow und Jeschke (1990) Zwischenmoore durch das Vorhandensein von Calciumcarbonat auszeichnen (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28).

Zur Beurteilung der Nährstoffgehalte in Mooren ist die Gesamtstickstoffkonzentration von großer Bedeutung, sodass sie auch zur Unterscheidung der verschiedenen ökologischen Moortypen herangezogen wird (vgl. Succow und Jeschke 1990, 28). Dabei werden sämtliche anorganischen und organischen stickstoffhaltigen Verbindungen berücksichtigt, die im Wasser vorhanden sind (vgl. Schneider et al. 2003, 59). Die organischen, in suspendierter Form vorliegenden Stickstoffverbindungen stammen zumeist von Lebewesen und weisen keine direkte Toxizität auf (vgl. Schneider et al. 2003, 59). Dagegen muss der Eintrag stickstoffhaltiger Substanzen, die durch den Menschen verursacht werden (Pflanzenschutz- und Düngemittel, Insektizide), gesondert betrachtet werden (vgl. Schneider et al. 2003, 59). In Mooren stellt Stickstoff häufig das limitierende Element dar, weil es bei niedrigen pH-Werten nicht für Pflanzen verfügbar ist (Tiemeyer et al. 2017, 198; Dierßen und Dierßen 2001, 11). Die für Pflanzen verfügbaren Formen sind organischer Stickstoff, Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+) (vgl. Tie-

meyer et al. 2017, 198). Für eine schnelle, aber ungenaue Bestimmung der Nitrat-, Ammonium- und zumeist spurenhafte Nitritgehalte eignen sich handelsübliche Schnelltests (vgl. Graw 2011, 88ff). Sind allerdings genauere Werte erforderlich, eignet sich für die Bestimmung von Ammonium und Nitrat beispielsweise die Ionenchromatographie (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 199). Ermittelt man mithilfe der Chemilumineszenz-Detektion den Gesamtstickstoff der Lösung, kann der Anteil des gelösten organischen Stickstoffs durch Subtraktion der Ammonium- und Nitratkonzentrationen berechnet werden (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 199). Die verschiedenen Stickstofffraktionen werden unter anderem im Moor freigesetzt, durch Oberflächen- bzw. Grundwasser eingetragen oder bei landwirtschaftlicher Moornutzung durch Düngung freigesetzt (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 70). Eingetragener Stickstoff kann das natürliche Gleichgewicht beeinflussen, indem es Änderungen in der Struktur, Zusammensetzung und Produktivität der Vegetation hervorruft (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 70; Pohling 2015, 137). Die nachfolgende Abbildung stellt den Stickstoffkreislauf mit seinen Spezies sowie die Stoffübergänge dar.

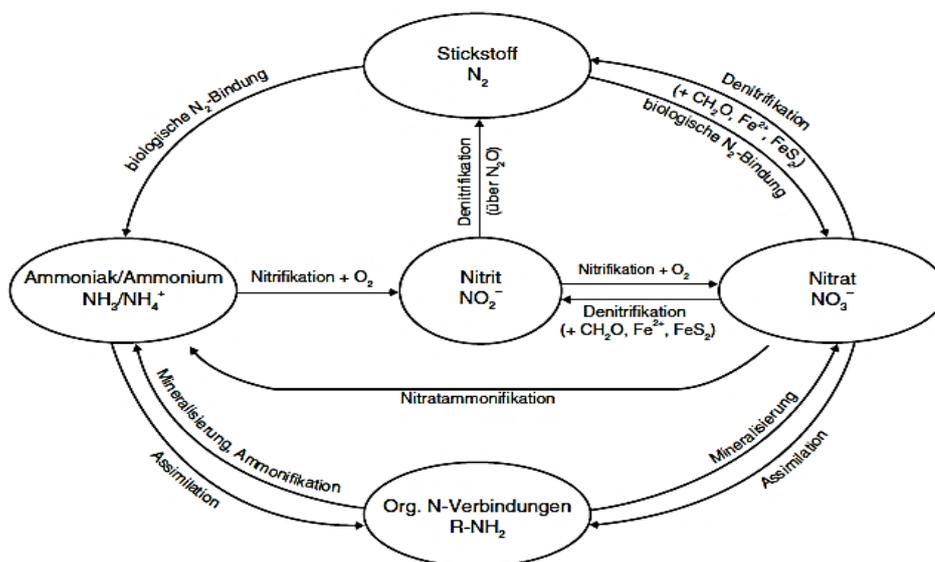


Abb. 9: Stickstoffkreislauf mit den beteiligten Stickstoffspezies sowie deren Stoffübergänge (Wisotzky et al. 2018, 300).

Ebenso wie in anderen Ökosystemen erfolgt die Stickstofffixierung durch Actinomyce- ten und Cyanobakterien, die atmosphärischen Stickstoff (N_2) in Verbindungen umwan- deln, welche für die Synthese organischer Stickstoffverbindungen genutzt werden können (vgl. Jackson 2012, 1663; Dierßen und Dierßen 2001, 70). Der mikrobielle Ab- bau der organischen Stickstoffverbindungen erfolgt durch Ammonifikation zu Ammo-

nium, indem Makromoleküle proteolytisch gespalten und anschließend desaminiert werden (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 71). Ammonium kann durch Ionenaustausch an den negativ geladenen Torfkolloiden immobilisiert oder bei aeroben Verhältnissen durch Nitrifikation über das Zwischenprodukt Nitrit (NO_2^-) zu Nitrat oxidiert werden (vgl. Mitsch und Gosselink 2015, 183). Aufgrund seiner negativen Ladung wird Nitrat nur wenig an den Kolloiden adsorbiert, sodass es in mobiler Form in der Bodenlösung verbleibt und ausgewaschen wird, falls es nicht zu einer Aufnahme durch Pflanzenwurzeln kommt (vgl. Mitsch und Gosselink 2015, 184). Unter anaeroben Konditionen kann Nitrat durch Denitrifikation über Nitrit zu molekularem Stickstoff und in geringem Umfang zu Lachgas (N_2O) reduziert werden (vgl. Mitsch und Gosselink 2015, 184). Die Umsetzung wird durch die Temperatur, den pH-Wert, den energieliefernden Elektronendonator sowie die Nitrat-Konzentration begrenzt (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 71). Die verschiedenen Stickstoffspezies unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Konzentrationen: Nitrit wird als Zwischenprodukt bei der Nitrifikation und Denitrifikation gebildet und liegt daher nur in Spuren vor, wobei sprunghaft steigende Ammoniumkonzentrationen, eine erhöhte Temperatur sowie ein Anstieg des pH-Werts zu leicht erhöhten Konzentrationen führen können (vgl. Graw 2011, 89). Ebenso liegen die Messwerte für Nitrat häufig nahe der nachweislichen Grenze, da es unter den sauren Bedingungen wegen der Redoxpotentiale nicht beständig ist (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 71). Bei Ammonium lässt sich eine Konzentrationszunahme vom Akrotelm zum Katotelm feststellen, was sich zum einen mit den aeroben Bedingungen im oberen Torfbildungshorizont und der damit verbundenen Umsetzung zu Nitrat erklären lässt sowie zum anderen die Pflanzenwurzeln zum Entzug beitragen (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 71). Erhöhte Stickstoffkonzentrationen haben eine Eutrophierung zur Folge, die sich letztendlich auf die Zusammensetzung der Vegetation auswirkt und damit auch die Torfbildung beeinflusst. So führen in Hochmooren hohe atmosphärische Einträge von Ammonium und Nitrat zu einer Hemmung der Nitratreduktase, was eine Erhöhung des Stickstoffangebots zur Folge hat (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 159). Der mangelnde Nitratrückhalt durch Torfmoose fördert somit das Wachstum von Gefäßpflanzen zu Lasten der Torfmoose, was einen Rückgang der Torfakkumulation zur Folge hat (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 159f). Importierte Nährstoffe durch Grund- bzw. Oberflächenwasser führen in Niedermooren ebenfalls zu einer Förderung eutropher Systeme

(vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 160). Da die sehr gut löslichen Nitrate und Nitrite vom Torf adsorbiert oder absorbiert werden, können sie ins Grundwasser gelangen und dieses verunreinigen (vgl. Pohling 2015, 206).

Neben Stickstoff ist Phosphor ein weiteres wichtiges Element, das von allen Organismen für die Synthese von beispielsweise Phospholipiden, Adenosintriphosphat und Nucleinsäuren benötigt wird (vgl. Jackson 2012, 1663). Dabei stellt Phosphat (PO_4^-) die bedeutsamste anorganische Form dar, die von Pflanzen aufgenommen und für den Aufbau organischer Verbindungen verwendet wird (vgl. Jackson 2012, 1663). Zur Ermittlung des Gesamtphosphors und des gelösten reaktiven Phosphors/orthophosphats eignet sich die photometrische Bestimmung mithilfe der Molybdänblauemethode (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 199). Da Phosphor in von Menschen unbeeinflussten Gewässern nur in geringen Konzentrationen vorkommt, stellt er den Minimumfaktor für das Pflanzenwachstum dar (vgl. Schneider et al. 2003, 66). Zudem ist es aufgrund seiner geringen Löslichkeit in der Bodenlösung kaum mobil und für Pflanzen schwerlich zu nutzen (vgl. Pohling 2015, 246). Ebenso verhält es sich in Mooren, weil Phosphat unter reduzierenden Bedingungen nur in geringen Mengen für Pflanzen verfügbar ist, wobei die Bedeutung als wachstumsbegrenzender Faktor von der Trophiestufe abhängt: Das Wachstum der Gefäßpflanzen in Hochmooren wird durch Phosphor begrenzt, während Stickstoff die Pflanzen in Niedermooren in ihrem Wachstum einschränkt (vgl. Dierßen und Dierßen 2001, 72). Anthropogene Einträge können durch phosphorhaltige Pflanzenschutzmittel, Waschmittel, Düngemittel und Extremamente erfolgen und damit zu einer Eutrophierung führen (vgl. Schneider et al. 2003, 66). Bei kalkarmen Böden entwässerter Moore führen hohe Wasserstände infolge von Wiedervernässungsmaßnahmen zu einer Änderung des Redoxpotentials und damit zu einer vermehrten Phosphatfreisetzung: Dieses ist für Pflanzen verfügbar und kann außerdem in Oberflächen- bzw. Grundwasser ausgewaschen werden (vgl. Schopp-Guth 1999, 121). Die vermehrte Phosphatfreisetzung in Folge von Wiedervernässung ist bei verschiedenen Untersuchungen festgestellt worden (vgl. Andersen et al. 2006, 1379; Zak et al. 2008, 105), wobei bei stark zersetzten Torfen der oberen Bodenschichten die höchste Stoffmobilisierung zu verzeichnen ist (vgl. Zak et al. 2008, 105).

Um die Messergebnisse hinsichtlich ihrer Belastungen einzuordnen, sind vor allem für Fließgewässer Bewertungsstufen erstellt worden. Diese sind für Moore nur begrenzt gültig, können aber unter Berücksichtigung der besonderen Bedingungen, die zuvor aufgeführt worden sind, als Näherung herangezogen werden. Der nachfolgenden Tabelle sind die Bewertungsstufen zur Wasserqualität für Fließgewässer zu entnehmen.

Tab. 3: Bewertungsstufen der Wasserqualität verschiedener physikalischer und chemischer Parameter für Fließgewässer (eigene Darstellung mit Daten aus Graw 2011, 46)

Parameter	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Temperatur [°C]	< 18	18–20	20–22	22–24	> 24
NH ₄ -N [mg/l]	< 0,04	0,05–0,3	0,31–0,6	0,7–1,2	> 1,2
NO ₂ -N [mg/l]	< 0,01	0,02–0,1	0,11–0,2	0,21–0,4	> 0,4
NO ₃ -N [mg/l]	< 1,0	1,1–2,5	2,6–5,0	5,1–10	> 10
PO ₄ -P [mg/l]	< 0,02	0,03–0,1	0,11–0,2	0,21–0,4	> 0,4

Um den Gehalt an Stickstoff und Phosphat zu ermitteln, müssen Umrechnungen erfolgen, weil bei den Messungen die Verbindungen bestimmt werden und demzufolge Sauerstoff oder Wasserstoff enthalten sind. Für 1 mg einer Verbindung ergeben sich für den Ammoniumstickstoff 0,778 mg, für Nitritstickstoff 0,304 mg, für Nitratstickstoff 0,226 mg und für Phosphatphosphor 0,326 mg. Die erste Bewertungsstufe weist auf eine sehr gute Wasserqualität hin, da keine Belastung hinsichtlich des gemessenen Parameters vorliegt. Eine geringe bzw. mäßige Belastung wird der zweiten bzw. dritten Bewertungsstufe zugeordnet, während die Bewertungsstufen vier und fünf eine kritische und übermäßige Belastung festlegen, sodass die Wasserqualität als unbefriedigend und schlecht einzustufen ist.

2.4 Vegetationsaufnahme und Zeigerwerte nach Ellenberg

Die Vegetation der Moore ist je nach vorherrschenden Standortfaktoren und Nutzung unterschiedlich ausgeprägt und passt sich bei Veränderungen des Wasserstands, der klimatischen Bedingungen sowie der Nährstoff- und Bodenverhältnissen an die neuen Begebenheiten an (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 133). Vorteilhaft gegenüber punktuellen Messungen, wie der Gewässergüte, ermöglicht eine Kartierung der Vegetation eine

flächenhafte Beschreibung des zu untersuchenden Gebiets (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 133). Um Veränderungen zu erklären und eine detaillierte Beschreibung des Moores zu ermöglichen, können Untersuchungen zu abiotischen Parametern wie der Wasserqualität unternommen werden (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 133). Ebenso wie die Gewässergüte eignet sich das Vegetationsmonitoring, um Maßnahmen zur Moorrenaturierung langfristig zu beurteilen. In Abhängigkeit unter anderem vom Untersuchungszeitraum, der Fragestellung und der Gebietsgröße eignen sich verschiedene Methoden wie die Kartierung der Pflanzengesellschaften, Indikatorarten oder des Biotops, Flora-Fauna-Habitat-Kartierung, Fotodokumentation und Dauerbeobachtungsflächen (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 133). Zur Auswertung der Vegetationsaufnahme können die Zeigerwerte nach Ellenberg herangezogen werden (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 136f).

Vor der Durchführung der Vegetationsaufnahme muss die Aufnahmefläche nach bestimmten Kriterien ausgewählt werden. Zum einen soll der Pflanzenbestand homogen, also gleichförmig zusammengesetzt sein, was jedoch in der Realität meist nicht vorkommt (vgl. Frey und Lösch 2010, 67). Daher sollen Flächen so ausgewählt werden, dass sie eine mehr oder weniger nach dem äußeren Erscheinungsbild gleichmäßige Artenverteilung aufweisen, was auch als Quasi-Homogenität bezeichnet wird (vgl. Frey und Lösch 2010, 67). Zum anderen ist die Flächengröße von Bedeutung, um jede der einer Pflanzengesellschaft zugehörigen Art einbeziehen zu können, weshalb je nach Art der Aufnahmefläche unterschiedliche Größen vonnöten sind (vgl. Frey und Lösch 2010, 67). Für Moore haben sich aufgrund von Praxiserfahrungen Flächengrößen zwischen vier bis 25 m² bewährt (vgl. Tiemeyer et al. 2017, 135). Des Weiteren müssen die Bedingungen im Habitat ebenfalls homogen sein (vgl. Frey und Lösch 2010, 68). Nach Auswahl der Untersuchungsfläche erfolgt die Vegetationsaufnahme, bei der alle auftretenden Arten vollständig erfasst und ihre Artmächtigkeit bestimmt werden (vgl. Frey und Lösch 2010, 68). Bei der Artmächtigkeit werden die Individuenzahl/Abundanz und der Deckungsgrad/Dominanz miteinander kombiniert (vgl. Schaefer 2012, 22). Eine international eingesetzte Skala ist die Braun-Blanquet-Skala, welche unter Einbezug von Dierschke 1994 und Willmanns 1998 von Frey und Lösch (2010) modifiziert wird und der folgenden Tabelle zu entnehmen ist (vgl. Frey und Lösch 2010, 69).

Tab. 4: Schätzung der Artmächtigkeit und die mittleren Deckungsprozentage nach Dierschke 1994 und Wilmanns 1998, in Anlehnung an Braun-Blanquet 1964 (eigene Darstellung mit Daten aus Frey und Lösch 2010, 69)

Symbol	Artmächtigkeit	Mittlere Deckungsprozentage (%)
r	1 Individuum	-
+	2–5 Individuen, Deckung unter 5 %	0,5
1	6–50 Individuen, Deckung unter 5 %	2,5
1m	> 50 Individuen, Deckung unter 5 %	2,5
2a	Individuenzahl beliebig, Deckung 5–15 %	10,0
2b	Individuenzahl beliebig, Deckung 15–25 %	20,0
3	Individuenzahl beliebig, Deckung 25–50 %	37,5
4	Individuenzahl beliebig, Deckung 50–75 %	62,5
5	Individuenzahl beliebig, Deckung 75–100%	87,5

In Abhängigkeit der untersuchten Flächengröße sind jedoch andere Skalen mit feineren oder gröberen Abstufungen von Vorteil (vgl. Traxler 1997, 117). Die Auflistung der Arten erfolgt nach Auftrennung in die Flechten-, Moos-, Kraut-, Strauch- und Baumschicht (vgl. Frey und Lösch 2010, 68). Anhand der Vegetationsaufnahme können Pflanzengesellschaften, die eine nahezu gleiche Zusammensetzung der Flora aufweisen, erarbeitet werden (vgl. Traxler 1997, 72). Durch Bewertung können die Pflanzengesellschaften hierarchisch in das pflanzensoziologische System, auch als Braun-Blanquet-System bezeichnet, eingeordnet werden (vgl. Traxler 1997, 72). Zudem stellt die Vegetationsaufnahme die Grundlage für die Zeigerwertanalyse dar (vgl. Gigon et al. 2004, 25).

Die von Ellenberg entwickelten Zeigerwerte „kennzeichnen die Standortqualitäten, bei denen die Arten unter normalen Konkurrenzbedingungen üblicherweise wachsen“ (Traxler 1997, 356). Daher bezieht sich das ökologische Verhalten nicht auf Reinkulturen und den Ansprüchen einer Art, da stets die Konkurrenz zwischen den Arten berücksichtigt werden muss (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 1). Die Zeigerwerte beschreiben drei klimatische Faktoren (Lichtzahl, Temperaturzahl, Kontinentalitätszahl) sowie vier Faktoren des Bodens (Feuchtezahl, Reaktionszahl, Stickstoffzahl, Salzzahl) (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010b, XXII). Zudem können Schwermetallresistenzen (b für mäßig schwermetallresistent, B ausgesprochen schwermetallresistent) in der Spalte der Salzzahl ergänzt werden, deren Arten mit hohen Konzentrationen von beispiels-

weise Zink oder Blei zurecht kommen (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 4). Abgesehen von der Salzzahl, bei der die Zahl 0 auf eine sehr geringe Toleranz hinweist, werden die Standortfaktoren den Ziffern 1 bis 9 zugeteilt (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 1). Das Verhalten bezüglich der relativen Beleuchtungsstärke wird mit der Lichtzahl L angegeben, wobei sich die Reihung ausgehend von der Tiefschattenpflanze mit der Ziffer 1 über die Halbschattenpflanze mit 5 bis zur Volllichtpflanze mit der Ziffer 9 ergibt (vgl. Frey und Lösch 2010, 109). Die Temperaturzahl T spiegelt das wärme-klimatische Verhalten wider, sodass Pflanzen mit der Ziffer 1 als Kältezeiger, mit 5 als Mäßigzeiger und mit 9 als extreme Wärmezeiger bezeichnet werden (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 1f). Die Reihung bezüglich des europäischen Gefälles Ozeanität-Kontinentalität wird durch die Kontinentalitätszahl K beschrieben (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 2). Dabei gibt die Ziffer 1 den euozeanischen, Ziffer 5 den intermediären und Ziffer 9 den eukontinentalen Bereich an (vgl. Frey und Lösch 2010, 109). Mit der Feuchtezahl F werden die Pflanzenarten aufgrund der Bodenfeuchtigkeit bzw. Wasserversorgung, ausgehend von 1 als starke Trockenheitsanzeiger über 5 als Frischeanzeiger bis 9 als Nässeanzeiger, aufgeführt (vgl. Frey und Lösch 2010, 109). Zudem sind auch Wasserpflanzen mit den Ziffern 10 (Wasserpflanze, die auch über einen längeren Zeitraum ohne Wasserbedeckung des Bodens überleben kann) bis 12 (Wasserpflanze, die permanent oder fast dauernd unter Wasser vorkommt) berücksichtigt worden (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 2). Zusätzlich werden Zeiger für starken Wechsel mit „~“ und Überschwemmungszeiger mit „=“ bezeichnet (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 2). Das Verhalten im Gefälle des Kalkgehalts und der Azidität des Bodens wird mit der Reaktionszahl R beschrieben, wobei Starksäurezeiger mit 1, Mäßigsäurezeiger mit 5 und Basen- und Kalkanzeiger mit 9 beschrieben werden (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 3). Die Stickstoff- bzw. Nährstoffzahl N beschreibt das Verhalten bezüglich der Nährstoffversorgung, insbesondere der von Stickstoff (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 3). Hierbei zeigen die Ziffern 1 stickstoffärmste, 5 mäßig stickstoffreiche und 9 übermäßig stickstoffreiche Habitate an (vgl. Frey und Lösch 2010, 109). Letztendlich reiht die Salzzahl S das Verhalten bezüglich der Salz- und vor allem der Chloridkonzentration im Bereich der Wurzel auf (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 4). Pflanzenarten mit der Ziffer 0 vertragen kein Salz, diejenigen mit 1 sind schwach salztragend, mit 5 weisen eine mäßige Salzverträglichkeit auf, während Pflan-

zenarten mit der Ziffer 9 extreme Salzzeiger sind (vgl. Frey und Lösch 2010, 109). Weisen Pflanzenarten bezüglich eines Standortfaktors ein unterschiedliches Verhalten in verschiedenen Gebieten auf oder haben eine weite Amplitude, so werden sie mit „x“, also einem indifferenten Verhalten, bezeichnet (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 1). Zudem können Standortfaktoren einer Pflanzenart mit einem Fragezeichen gekennzeichnet werden, wenn das Verhalten noch nicht geklärt ist und keine Mutmaßungen möglich sind (vgl. Ellenberg und Leuschner 2010a, 1). Zur Charakterisierung des Bestandes und zum Vergleich mit anderen Beständen wird aus den ökologischen Zeigerwerten der Mittelwert gebildet, wobei Arten mit x unberücksichtigt bleiben (vgl. Wilmanns 1998, 112). Daraus ergibt sich aus dem Zeigerwert (Z) und der Anzahl der Arten (A) der mittlere Zeigerwert (mZ) (vgl. Frey und Lösch 2010, 109):

$$mZ_{qual} = \frac{\sum Z}{AZ} \quad (2.1)$$

Bei einer quantitativen Bewertung muss zusätzlich der Deckungsgrad (D) oder der mittlere Deckungsquotient bestimmt werden, der mit den einzelnen Standortfaktoren multipliziert wird (vgl. Frey und Lösch 2010, 109):

$$mZ_{quant} = \frac{\sum(Z \cdot D \%)}{\sum D \%} \quad (2.2)$$

Nachteil der Charakterisierung eines Standortes mithilfe der Zeigerwerte ist die Begrenztheit der Gültigkeit, weil sie sich nur auf bestimmte Regionen beziehen, weshalb sie teilweise korrigiert und erweitert worden sind (vgl. Frey und Lösch 2010, 109). Zudem können sich bei dieser Vegetationsanalyse methodische Probleme ergeben, wenn beispielsweise statistische Voraussetzungen fehlen (vgl. Frey und Lösch 2010, 110). Dennoch lässt sich nicht die Wichtigkeit der Zeigerwerte bestreiten, wie Diekmann (2003) in seinem Resümee zu verstehen gibt: „Zeigerwerte haben, wenn ihre Begrenztheit berücksichtigt werden, eine hohe Zuverlässigkeit und können im Hinblick auf das Monitoring von Umweltveränderungen Messungen ergänzen oder in manchen Fällen sogar ersetzen“ (Diekmann 2003, 493; zitiert nach Frey und Lösch 2010, 110). Da sie mit den Boden- und Klimafaktoren nur einen Teil der komplexen Struktur beschreiben, die zur Artenzusammensetzung führen, sollten für eine biologische Gesamtbewertung auch andere Faktoren wie anatomischer Bau, Ausbreitungstyp, Blütezeit und

Angaben zur Pflanzengeographie herangezogen werden (vgl. Frey und Lösch 2010, 110).

2.5 Umweltbildung

Angesichts der zahlreichen anthropogenen Eingriffe in die Umwelt, die teilweise erhebliche Auswirkungen auf die bestehenden Ökosysteme haben, stellt die Umweltbildung in der Schule ein unumgängliches Thema dar, das unter anderem in den Biologieunterricht integriert wird. Dies bietet sich vor allem unter ökologischen Gesichtspunkten an, da sich die Ökologie als Wissenschaft mit „der Verbreitung und Häufigkeit (Abundanz) von Organismen und den Interaktionen, welche die Verbreitung und Abundanz bestimmen“ (Townsend et al. 2009, 4) beschäftigt und damit auch die in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnenen Themen wie Erhaltung der Biodiversität, Schutz bedrohter Arten und Erfassung der Konsequenzen anthropogener Umweltveränderungen beinhaltet (vgl. Townsend et al. 2009, 7). Um die globalen Probleme, die der enorme Bevölkerungswachstum und die Umwandlung von einer Agrar- zu einer industriell geprägten Gesellschaft mit sich bringen, langfristig zu lösen, ist eine Änderung des Bewusstseins sowie der Einstellung zur Natur und Umwelt der Menschen unabdingbar (vgl. Killermann et al. 2008, 279). Seit den 1970er Jahren ist eine große Diversität an Begriffen zu verzeichnen, wobei sich allerdings heute der Begriff „Umweltbildung“ behauptet hat (vgl. Bahr 2013, 71). Ausgehend von der „Agenda 21“, die 1992 auf der UN-Konferenz in Rio de Janeiro verabschiedet worden ist und eine globale nachhaltige Entwicklung anstrebt, ist neben der Entwicklung von Aktionsprogrammen auf lokaler Ebene auch die Umweltbildung in Schulen eingeführt worden (vgl. Stelzig 2010, 221f). Hierbei ist das Konzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) entstanden, die sich im Wesentlichen in zwei Aspekten von der Umweltbildung unterscheidet: Zum einen zielt die Umweltbildung nach Auffassung von Gräsel (2018) darauf ab, Angst zu verbreiten statt neue Möglichkeiten zum Handeln aufzudecken (vgl. Gräsel 2018, 1098). Bei der BNE steht vielmehr die Frage im Fokus, „wie neue Wohlstandsmodelle, neue Produktions- und Konsummuster und neue Formen des Zusammenlebens etabliert werden können“ (Gräsel 2018, 1098). Zum anderen integriert die BNE die Geistes-, Sozial- und Naturwissenschaften in ihrem Konzept, an-

statt wie es bei der Umweltbildung der Fall war, lediglich die naturwissenschaftliche Betrachtungsweise zu berücksichtigen (vgl. Gräsel 2018, 1098). Nach wie vor besteht jedoch in der Literatur kein Konsens darüber, ob die BNE die Umweltbildung ersetzt oder lediglich ergänzt, sodass nach Feststellung von Bahr (2013) beide Konzepte in neuen Publikationen synonym verwendet werden (vgl. Bahr 2013, 78). Im Folgenden wird aus Gründen der besseren Übersicht der Begriff Umweltbildung verwendet, da sich die vielfach verwendete Literatur auf diesen Begriff und nicht auf die BNE bezieht.

Im Rahmen der Umweltbildung sollen die Lernenden in allen Klassenstufen sowohl ein Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur entwickeln als auch unter Aufbau von Verantwortungsbewusstsein Lösungsstrategien für Umweltprobleme erarbeiten und aktiv bei der Umsetzung umweltschonender Maßnahmen mitwirken (vgl. Killermann et al. 2008, 280). Für das Erreichen dieser Ziele müssen im Wesentlichen drei Bereiche abgedeckt werden: Zum einen der kognitive Bereich, also das Verständnis und Wissen; zum anderen ethische Aspekte wie Orientierung an Werten, Einstellungen, Bewusstsein für die Umwelt und schließlich auch der Handlungsreich, der Fähigkeiten, Fertigkeiten und die Bereitschaft zum Handeln erfordert (vgl. Killermann et al. 2008, 280). Kenntnisse über das Zusammenspiel zahlreicher Faktoren, die Einfluss auf die komplexe, vernetzte Umwelt nehmen, sind eine wichtige Voraussetzung, implizieren allerdings nicht zwangsläufig die Etablierung von Umweltbewusstsein sowie die Umsetzung von Umweltverhalten (vgl. Killermann et al. 2008, 281; Gräsel 2018, 1100). Auch wenn ökologische Themen eine wichtige Basis zur Entwicklung von Umweltwissen darstellen, sollen zusätzlich im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung soziale und ökonomische Aspekte integriert werden, um eine bessere Beurteilung der Umweltprobleme ermöglichen zu können (vgl. Killermann et al. 2008, 282). Zudem sind eine fächerübergreifende Betrachtung sowie der Einbezug von Themen zu Rechten und Volkswirtschaft, die nicht in der Schule behandelt werden, vonnöten (vgl. Stelzig 2010, 224). Geistes- und Naturwissenschaften sollen im problem- und handlungsorientierten Unterricht gleichermaßen beachtet werden (vgl. Bahr 2013, 75f). Um Einstellungen und Verhalten zu verändern, sind die Berücksichtigung der affektiven Komponente und damit eine positive Einstellung zur Natur von großer Bedeutung (vgl. Stelzig 2010, 224). Dies kann durch das Erleben und dem multisensorischen Wahrnehmen

der Natur erreicht werden, insbesondere durch den Besuch außerschulischer Lernorte (ALO) (vgl. Killermann et al. 2008, 282f; Stelzig 2010, 223). Hierzu entwickeln Nationalparks und Umweltzentren Programme, die auf den emotionalen Bereich sowie dem Erleben der Natur sowie der Biodiversität abzielen und damit einen Gegenpart zu der rein informativen Auseinandersetzung bilden (vgl. Killermann et al. 2008, 283). Bei der Beschäftigung mit konkreten Konflikten in ihrer unmittelbaren Umgebung können die Schülerinnen und Schüler¹ erleben, dass sie Lösungsstrategien entwickeln und eine Zustandsänderung bewirken können (vgl. Stelzig 2010, 223). Inwieweit diese Aspekte zu einer Bewusstseinsänderung und schließlich zum Umweltverhalten beitragen, kann bislang noch nicht durch empirische Ergebnisse belegt werden (vgl. Killermann et al. 2008, 283). Da viele Studien zeigen, dass Umweltthemen eine große Emotionalität bei Menschen auslösen, gleichzeitig aber nur wenig Umweltwissen vorhanden ist, kann eine ganzheitliche Herangehensweise das Erreichen der Ziele ermöglichen (vgl. Gräsel 2018, 1103; Killermann et al. 2008, 284). In diesem Zusammenhang wird die Wichtigkeit von ALOs für die Umweltbildung erneut betont, denn die kognitiven und affektiven Bereiche stehen bei Unternehmungen im Freiland in Verbindung: Einerseits erarbeiten sich die Schüler die fachlichen Inhalte, andererseits wird bei dem Erleben der Natur auch die Gefühlsebene angesprochen (vgl. Killermann et al. 2008, 283). Obwohl bislang nur wenige empirische Untersuchungen zu den Auswirkungen der unterschiedlichen Konzepte vorliegen und eine klare Trennung zwischen Einflüssen von Schule, Medien und dem sozialen Umfeld kaum möglich ist, besteht ein enger Zusammenhang zwischen den kognitiven, ethischen und affektiven Bereichen, die sich wechselseitig beeinflussen und letztendlich in das Verhalten bzw. Handeln münden (vgl. Killermann et al. 2008, 283f).

Hinsichtlich der methodischen Prinzipien stehen schülerorientierte Unterrichtsformen zum selbstständigen Erarbeiten von Wissen und eine handelnde Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand klar im Vordergrund gegenüber lehrerzentrierten Konzepten (vgl. Killermann et al. 2008, 285). Die Problemorientierung unterstützt die Schüler beim eigenständigen Lösen vielschichtiger Probleme und setzt eine Eigenaktivität

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der gesamten Arbeit jeweils nur die maskuline Form verwendet, die feminine Form ist dabei jeweils mit eingeschlossen.

der Schüler voraus (vgl. Killermann et al. 2008, 285). Situiertes Lernen ermöglicht den Schülern eine Auseinandersetzung mit Themen aus ihrer direkten Erfahrungswelt, welche authentisch sind und auf Anwendung abzielen (vgl. Killermann et al. 2008, 285). Bei der Handlungsorientierung stehen eine selbsttätigende Beschäftigung mit dem Unterrichtsgegenstand und die Durchführung fachgemäßer Arbeitsweisen im Vordergrund, wobei die Schüler auch in die Planung des Vorhabens einbezogen werden (vgl. Killermann et al. 2008, 286). Konkret lässt sich dies in der Oberstufe bei der Untersuchung eines Ökosystems, beispielsweise durch Kartierung inklusive Bestandsaufnahme der Flora und Fauna, Boden-/Wasseruntersuchungen, realisieren, wobei ökologische Aspekte wie Biodiversität, Umweltprobleme und Lösungsstrategien integriert werden können (vgl. Killermann et al. 2008, 278, 287). Exemplarisch können bestimmte Umweltbelastungen auf lokaler und globaler Ebene, ihre weitreichenden Folgen und mögliche Lösungsansätze vertieft werden, wobei auch ethische Betrachtungsweisen herangezogen werden sollen (vgl. Killermann et al. 2008, 291). Dabei sollte die Wandlung von Denkweisen und Wertvorstellungen kritisch beurteilt werden, weil frühere Maßnahmen, wie auch die Entwässerung von Mooren, erhebliche negative Auswirkungen haben und heute Renaturierungsmaßnahmen entwickelt werden müssen, um die teilweise schwer geschädigten Ökosysteme wiederherzustellen (vgl. Killermann et al. 2008, 291). In diesem Zusammenhang können auch die Leitideen der Bildung für nachhaltige Entwicklung integriert werden: Hierfür sollen die Schüler sich mit den Annahmen auseinandersetzen, dass jede Folgegeneration das Recht auf eine unversehrte Umwelt wie die aktuelle Generation hat und jedem Menschen grundsätzlich ermöglicht werden soll, die verfügbaren Ressourcen unabhängig seines Wohnsitzes nutzen zu können (vgl. Gräsel 2018, 1094f).

2.6 Fragestellung

In Hinblick auf die zuvor aufgeführten Aspekte zeigt sich die Bedeutung der Moore für die Umwelt und den Klimaschutz. Dennoch ist ein Großteil der Moore in Deutschland in einem Degradationsstadium, in dem sie keinen Torf mehr bilden, ihre Funktionen als Ökosystem und somit auch ihre Ökosystemdienstleistungen nicht erfüllen. Neben der politischen, land- und forstwirtschaftlichen Ebene sollte auch auf Ebene der Umwelt-

bildung und folglich in der Schule das Thema fokussiert werden, weil auch jeder Einzelne einen Beitrag zum Schutz der Moore leisten kann. Da in der gymnasialen Oberstufe im Fach Biologie exemplarisch meist die Ökosysteme Wald, See und/oder Bach betrachtet werden, bietet sich ebenso die Gelegenheit, sich Mooren als einzigartige Ökosysteme zuzuwenden und diese im Zusammenhang mit dem Besuch eines ALOs zu untersuchen. Ausgehend von den Überlegungen zur Umweltbildung kann so zum einen Umweltwissen generiert werden, was zum Verständnis der besonderen Begebenheiten in Mooren unerlässlich ist. Zum anderen kann durch den Besuch eines ALOs die Natur erlebt werden, was für die affektive Komponente von Bedeutung ist. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie sich das Projekt zur Untersuchung eines Moores in den Biologieunterricht integrieren lässt, um den Schülern neben fachwissenschaftlichen Methoden auch umweltrelevante Themen in Bezug auf Moore zu vermitteln. Schwerpunkt der Arbeit ist die Konzipierung und Evaluation eines Projektes zur Untersuchung eines Moores für die gymnasiale Oberstufe im Fach Biologie, das einen Beitrag zur Umweltbildung leisten und den Schülern das Vorgehen beim wissenschaftlichen Arbeiten sowie fachgemäße Arbeitsweisen zur Untersuchung eines Ökosystems näher bringen soll.

3 Methoden

3.1 Einzelfallanalyse

Um das Projekt zu reflektieren und gegebenenfalls Verbesserungen vorzunehmen, wird die Einzelfallanalyse als qualitativer Forschungsansatz angewendet (vgl. Aeppli et al. 2016, 205), bei der das Projekt von einem Biologiekurs durchgeführt und analysiert wird. Als Methode zur Erhebung und Auswertung der Daten wird die teilnehmende Beobachtung eingesetzt sowie die Ergebnisse der Schüler, insbesondere die der Mooruntersuchung, analysiert. Für eine zielgerichtete Evaluation werden vor allem folgende Kriterien berücksichtigt:

- Ist die Auswahl der Inhalte/Schwerpunkte sinnvoll?
- Wie erfolgt der reale Verlauf im Vergleich zur Planung?
- Folgt die Struktur der Unterrichtseinheit und der einzelnen Unterrichtsstunden einem roten Faden?
- Sind die verwendeten Materialien sinnvoll, ansprechend gestaltet und verständlich?
- Welche Alternativen gibt es bei der Auswahl, Strukturierung und Gestaltung der Inhalte und eingesetzten Materialien?

Im Zusammenhang mit dem Moor wird zudem untersucht, ob es sich ausgehend von den erhobenen Daten als Untersuchungsgebiet eignet und ein typisches Moor repräsentiert. Des Weiteren sollen die Sicherheitsaspekte sowohl zum Schutz der Schüler als auch zum Schutz der Moore betrachtet und diskutiert werden.

3.2 Allgemeines zum Projekt

Ziel des Projekts ist die Untersuchung eines Moores hinsichtlich der Vegetation und der Gewässergüte, sodass sich die Schüler mit der Vorgehensweise wissenschaftlicher Untersuchungen und fachgemäßen Arbeitsweisen des Fachs Biologie vertraut machen können. Des Weiteren sollen die Bedeutung der Moore für die Umwelt und ihre Schutzbedürftigkeit hervorgehoben werden. Das Projekt richtet sich an die Schüler der

gymnasialen Oberstufe im Fach Biologie und kann sowohl im Leistungs- als auch im Grundkurs durchgeführt werden. Im Rahmen dieses Programms besuchen die Schüler den Nationalpark Hunsrück-Hochwald als ALO und führen vor Ort die Untersuchung im Moor Ehlesbruch durch. Diese Exkursion ist in eine Unterrichtsreihe aus vorbereitenden und nachbereitenden Stunden eingebettet, um zum einen Grundlagen zu Mooren zu erarbeiten und zum anderen die Ergebnisse der Exkursion auszuwerten. Zudem werden nach der Exkursion im Zusammenhang mit den Mooren auch den Klima- und Umweltschutz betreffende Themen angesprochen. Für diese Unterrichtseinheit werden insgesamt sieben Unterrichtsstunden veranschlagt, wobei die Exkursion nicht mitgerechnet wird, da für diese ein ganzer Vormittag eingeplant werden muss.

Tab. 5: Übersicht der Stundenthemen und Inhalte der Unterrichtszeiteinheit zum Thema Moore inklusive Stundenanzahl (eigene Darstellung)

Stundenthema	Inhalte	Stundenanzahl
Hoch- und Niedermoore	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiede zwischen Hoch- und Niedermooren • Vorbereitende Hausaufgabe: ökologische und hydrologische Moortypen 	1
Moortypen im Nationalpark Was ist ein Nationalpark? Informationen zur Exkursion	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrologische und ökologische Moortypen • Hydrologische Moortypen im Nationalpark • Nationalpark Hunsrück-Hochwald • Informationen zur Exkursion und Verhaltensregeln im Nationalpark 	2
Exkursion im Nationalpark Hunsrück-Hochwald	<ul style="list-style-type: none"> • Mooruntersuchung: Gewässergüte und Vegetationsaufnahme 	6
Auswertung der Untersuchung	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung der Mooruntersuchung 	1
Moorschutz und Klima-/Umweltschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Plakate zu verschiedenen Themen zum Moorschutz allgemein und im Nationalpark • Obligatorisch: Themen zu Klima- und Umweltschutz 	2-3

Die Aufteilung und Dauer der einzelnen Stunden stellen nur einen Vorschlag dar. Dementsprechend können diese von der Lehrperson in Abhängigkeit vom Lerntempo der Schüler und der Stundenverteilung variiert werden.

3.2.1 Einordnung in die Lehrpläne

Die Einordnung in die Lehrpläne erfolgt sowohl für Rheinland-Pfalz als auch für das Saarland, weil das Projektgebiet im Einzugsbereich des Saarlandes liegt. In den rheinland-pfälzischen Lehrplan lässt sich das Projekt in das Leitthema 3 „Umwelt und Innenwelt lebender Systeme“ in den Pflichtbaustein „Erkundung eines Ökosystems“ einordnen (vgl. Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz 1998, 52, 88). Hierbei sollen die Schüler Einblicke in Ökosysteme erhalten und Biotope praktisch untersuchen, indem sie beispielsweise biotische und abiotische Faktoren messen, diese im Ökosystem vernetzen und die Bioindikation mit chemisch-physikalischen Messmethoden vergleichen (vgl. Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz 1998, 52, 88). Die in dem Projekt angewandten Methoden, Wasseranalyse, Vegetationskartierung und Zeigerwerte nach Ellenberg, sind ebenfalls im Lehrplan wiederzufinden (vgl. Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz 1998, 52, 88). Zudem werden mit der Bedeutung und der Schutzbedürftigkeit der Moore auch Aspekte aus dem Pflichtbaustein „Umweltschutz vor Ort“ aufgegriffen, bei dem die Schüler sich mit den Tätigkeiten, die zur Zerstörung von Ökosystemen führen, ebenso auseinandersetzen sollen wie mit verantwortungsbewusstem Handeln zum Erhalt der Ökosysteme im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung (vgl. Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz 1998, 53, 89). In den saarländischen Lehrplan lässt sich das Projekt in das Themenfeld „Evolution als ökologischer Prozess“ einordnen, bei dem die Schüler eine Exkursion in die Natur unternehmen und Experimente zur Messung von Parametern der Umwelt durchführen sollen (vgl. Ministerium für Bildung und Kultur Saarland 2019, 40, 54). Anschließend erfolgt die Dokumentation der Ergebnisse unter Verwendung von Fachbegriffen und die Auswertung der gemessenen Umweltparameter (vgl. Minis-

terium für Bildung und Kultur Saarland 2019, 40, 54). Hierbei werden vor allem die Kompetenzbereiche der Erkenntnisgewinnung und Bewertung angesprochen (vgl. Ministerium für Bildung und Kultur Saarland 2019, 40, 54). Lediglich die Planung der ökologischen Exkursion kann in diesem Projekt nicht erfolgen, weil dies aus organisatorischen Gründen, insbesondere bei der Flexibilität und dem Aufwand der verwendeten Materialien, im Nationalpark nur schwer realisierbar ist. Einerseits bedeutet eine offenere Planung für die Organisatoren im Nationalpark einen erheblichen Aufwand, da sie flexibel auf den jeweiligen Kurs reagieren und die Materialien anpassen müssten. Andererseits müssten die Schüler entsprechend der Materialien in die richtige Richtung gelenkt werden, was unter Umständen nicht motivierend ist, wenn letztendlich eine andere Durchführung erfolgt.

3.2.2 Vorwissen

Das Projekt benötigt neben den Vorkenntnissen zu Mooren, die in den vorbereitenden Stunden erarbeitet werden auch Kenntnisse im Bereich Ökologie, sodass die Exkursion nicht als Einstieg in den Pflichtbaustein oder in das Themenfeld dienen kann. Die Schüler sollen den Aufbau und die Merkmale von Ökosystemen ebenso wie die komplexe Vernetzung innerhalb der einzelnen Komponenten des Ökosystems beschreiben und erläutern. Des Weiteren müssen die Schüler die abiotischen Faktoren Temperatur, Licht, Boden und Wasser kennen und ihre Wirkungen erklären. In diesem Zusammenhang sollen die Schüler exemplarische Merkmale von Lebewesen als Anpassung an die abiotischen Umweltfaktoren erklären. Zudem sollen die Schüler verschiedene Stoffkreisläufe beschreiben, die sich als wichtiges Kennzeichen von Ökosystemen auszeichnen. Gleichmaßen sollen die Schüler hinsichtlich biotischer Faktoren die Beziehung zwischen Lebewesen darstellen und Ursachen sowie deren Auswirkungen von inner- und zwischenartlicher Konkurrenz erläutern. Bezüglich des Kompetenzbereichs der Erkenntnisgewinnung sollen die Schüler mit der Vorgehensweise des naturwissenschaftlichen Arbeitens vertraut sein. Neben Fachwissen sind kommunikative und soziale Kompetenzen bei dem Besuch eines ALOs von großer Bedeutung, die im Verlauf der Exkursion vertieft werden können, weil das Arbeiten in Gruppen sowohl in der Schule als auch am ALO angewendet wird. Da es sich bei dem Moor um ein Ökosystem mit

besonderer Schutzbedürftigkeit handelt, ist das sorgfältige Arbeiten und ein verantwortungsvolles Handeln während der Untersuchung sehr wichtig, um möglichst keine oder nur geringe störende Eingriffe zu verursachen. In diesem Zusammenhang ist aus Sicherheitsgründen sowohl für die Schüler als auch für die Natur ein gewissenhafter, sorgfältiger Umgang mit Chemikalien eine grundlegende Voraussetzung.

3.2.3 Relevanzen

Im Folgenden werden die Relevanzen des Projekts für das Fach Biologie, die Schüler und die Gesellschaft beschrieben, um die Wichtigkeit des Projekts zu begründen.

Durch die Untersuchung des Moores zeigt sich die Vernetzung zwischen der unbelebten Umwelt und den Lebewesen: Die abiotischen Faktoren üben einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Arten aus, die unter diesen Bedingungen mit dem vorherrschenden Konkurrenzdruck existieren. Dabei wird auch die Biodiversität hervorgehoben, weil insbesondere Moore Lebensräume für Arten darstellen, die nur dort leben können. Dabei werden die ökologischen Nischen veranschaulicht, die mit Konzepten der Evolution verknüpft sind und in diesem Zusammenhang erneut aufgegriffen werden können. Das Moor repräsentiert exemplarisch die Vernetzung innerhalb eines Ökosystems und veranschaulicht das sensible Gleichgewicht der einzelnen Komponenten, das bei anthropogenen Eingriffen gestört werden kann. Außerdem werden mit der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme unter Einbezug der Zeigerwerte nach Ellenberg fachgemäße Arbeitsweisen angewendet, die Bestandteil biologischer Untersuchungen sind.

Die Schülerrelevanz ergibt sich daraus, dass mit der Untersuchung eines Moores die Schüler fachgemäße Arbeitsweisen und das Vorgehen wissenschaftlichen Arbeitens, was eine allgemeine Methodenkompetenz der Naturwissenschaften darstellt, kennenlernen. Somit können sich die Schüler darüber bewusst werden, wie in der Biologie Ergebnisse gewonnen und ausgewertet werden. Durch die praktischen Tätigkeiten können die Schüler außerdem die Komplexität des Zusammenspiels der Faktoren, die auf ein Ökosystem einwirken, erfassen. Das Projekt fördert neben dem selbstständigen Arbeiten auch die Teamfähigkeit, die eine wichtige Sozialkompetenz darstellt. Zudem

schulen sie im Rahmen der Themen zur Umweltbildung ihre Reflexionsfähigkeit bezüglich des eigenen Verhaltens. Mit dem Besuch des ALOs können die Schüler außerdem einen affektiven Bezug zu diesen Ökosystem entwickeln.

Angesichts der zahlreichen Ökosystemdienstleistungen der Moore, vor allem im Zusammenhang mit dem Klimawandel, ist die Thematisierung der Moore im Unterricht von großer Bedeutung. Wie bereits in Kapitel 2.5 ausführlich erläutert wurde, sind das Wissen und ein emotionaler Zugang wesentliche Voraussetzungen für umweltgerechtes Verhalten. Wer nicht weiß, dass die meisten Blumenerden Torf enthalten und dafür Moore entwässert werden müssen, was große Mengen des klimaschädlichen Kohlenstoffdioxids freisetzt, kann sich nicht nach Alternativen umschaun. Gleichzeitig bedarf es eines emotionalen Bezugs zu Mooren, um sich der Schutzbedürftigkeit dieser stark gefährdeten Ökosysteme bewusst zu sein und das eigene Verhalten dementsprechend zu ändern. Für den Schutz der Umwelt und des Klimas sind eine nachhaltige Bewirtschaftung sowie die Renaturierung von Mooren, aber auch ein verantwortungsbewusstes Verhalten jedes Einzelnen eine absolute Notwendigkeit.

3.3 Vorbereitende Stunden

3.3.1 Erste vorbereitende Stunde

3.3.1.1 Lernziele und Kompetenzen

Großlernziel: Die Schüler vergleichen Hoch- und Niedermoore und beschreiben Anpassungen von Pflanzen an die besonderen abiotischen Faktoren in Mooren.

Lernziele: Die Schüler...

- ... nennen die Unterschiede zwischen Nieder- und Hochmooren bezüglich Wasserversorgung, Nährstoffverhältnissen, Vegetation und Beispielen für Pflanzen und Tiere anhand des Films „Mystische Moore“. (kognitiv)
- ... erklären mithilfe des Films „Mystische Moore“, warum Torfmoose die Bedingungen für andere Pflanzen in Mooren erschweren. (kognitiv)

- ... erklären mithilfe des Films „Mystische Moore“ eine Strategie einer Pflanzenart, die sich an die geringe Nährstoffverfügbarkeit in Hochmooren angepasst hat. (kognitiv)
- ... nennen drei Nutzungsmöglichkeiten von Mooren durch den Menschen anhand des Films „Mystische Moore.“ (kognitiv)

Hausaufgabe/Puffer: Die Schüler...

- ... strukturieren mithilfe des Informationstextes die verschiedenen allgemeinen und speziellen Moortypen in Form einer Mindmap. (kognitiv)
- ... nennen anhand des Informationstextes vier Einflussfaktoren, die die Entstehung der hydrologischen Moortypen beeinflussen. (kognitiv)
- ... ordnen mithilfe ihrer erstellten Mindmap die Säure-Basen- und Nährstoffverhältnisse den verschiedenen ökologischen Moortypen zu. (kognitiv)

Kompetenzen: Die Schüler...

- ... erkennen Zusammenhänge zwischen abiotischen Umweltfaktoren in Mooren und dort lebenden, an die Umweltfaktoren angepassten Organismen. (Fachwissen)
- ... vergleichen die Eigenschaften verschiedener Moortypen. (fachspezifische Methoden)
- ... nutzen und erschließen sich den Film „Mystische Moore“ als Informationsquelle. (allgemeine Methoden)
- ... wenden die Fachsprache zu Mooren angemessen an. (Kommunikation)

Hausaufgabe/Puffer: Die Schüler...

- ... systematisieren ihre Kenntnisse über verschiedene Moortypen und ihre Vertreter. (Fachwissen)

3.3.1.2 Verlauf

Der tabellarische Verlauf ist dem Anhang zu entnehmen (Anhang 3.1). In der ersten vorbereitenden Stunde mit einer Dauer von 45 Minuten sollen die Schüler in die The-

matik des besonderen Ökosystems Moor eingeführt werden. Im Vorfeld werden sie bereits informiert, dass sie eine Exkursion in den Nationalpark Hunsrück-Hochwald unternehmen, ohne bereits Details über die Untersuchungen zu erfahren.

Zu Beginn werden die Schüler von der Lehrkraft über die Ziele der Exkursion, die dem rheinland-pfälzischen Lehrplan entnommen worden sind, mithilfe einer PowerPoint-Präsentation (PPP) (Anhang 3.2, Folie 2) informiert: Sie sollen ein Ökosystem erkunden, um ein vertieftes Verständnis von Ökosystemen durch praktische Untersuchung eines Biotops zu erlangen (vgl. Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz 1998, 52, 88). Hierbei werden die Schüler darüber informiert, dass sie ein Moor im Nationalpark Hunsrück-Hochwald untersuchen. Die Lehrkraft leitet dazu über, dass grundlegende Kenntnisse über das Ökosystem notwendig sind, um dieses erfolgreich zu untersuchen und fragt die Schüler in diesem Zusammenhang, was ein Moor ist. Hierfür wird die Frage in der Präsentation (Folie 3) aufgeworfen. Die Schüler können daraufhin je nach außerschulischem Vorwissen ihre Überlegungen zu den Charakteristika eines Moores im Unterrichtsgespräch mitteilen, die auch visuell an der Tafel gesammelt werden. Anschließend erfolgt der Vergleich der Schülerbeiträge mit der Definition und den wesentlichen Eigenschaften von Mooren, bei denen es sich um ein Feuchtgebiet handelt, die Torf ausbilden, was sowohl in der Präsentation (Folie 4) als auch auf dem später auszuhändigenden Arbeitsblatt festgehalten ist: Der Torf besteht mindestens zu 30 Prozent aus organischen Substanzen. Dieser entsteht dadurch, dass Moore permanent durch Grundwasser oder Niederschläge wassergesättigt sind, so dass ein Sauerstoffmangel herrscht. Die Pflanzen werden daher durch Mikroorganismen nur unvollständig zersetzt und es bildet sich Torf. Das Wachstum ist sehr langsam und beträgt durchschnittlich 1 mm pro Jahr, variiert aber je nach Standortbedingungen. Anhand der Torfmächtigkeit kann das Alter eines Moores abgeschätzt werden. Die Lehrperson leitet mit der Aussage „Moor ist nicht gleich Moor“ anschließend zur Erarbeitungsphase über, in der die Schüler verschiedene Moortypen und ihre Eigenschaften kennenlernen.

In dieser Phase dienen der Film „Mystisches Moor“ (vgl. Willers 2000) und ein Arbeitsblatt (Anhang 3.3) zum Erlernen und Festhalten der Grundlagen zu Mooren. Der Arbeitsauftrag, bei dem die Schüler den Film schauen und währenddessen das Arbeits-

blatt beantworten sollen, wird in der Präsentation visualisiert und die Arbeitsblätter werden ausgeteilt. Die Schüler lesen sich zunächst die einzelnen Aufgaben durch, um die Beantwortung während des Films zu erleichtern. Eine wesentliche Aufgabe sind die Unterschiede zwischen Nieder- und Hochmooren bezüglich ausgewählter Eigenschaften (Wasserversorgung, Nährstoffe, Beschreibung der Vegetation, Beispiele für vorkommende Pflanzen und Tiere). Zudem werden besondere Anpassungsstrategien von Moorpflanzen fokussiert, weil die Schüler erklären sollen, wie Torfmoose die Bedingungen in Hochmooren für andere Pflanzen zusätzliche erschweren und wie der im Film angeführte Kleine Wasserschlauch oder der Sonnentau die Nährstoffarmut in Mooren ausgleichen. In der letzten Aufgabe soll die Moornutzung durch den Menschen thematisiert werden, um darauf im späteren Verlauf der Unterrichtsreihe im Zusammenhang mit der Zerstörung dieser besonderen Ökosysteme zurückzugreifen. Sollte die Mehrheit der Schüler während des Films aufgrund der Geschwindigkeit Probleme haben, ihre Antworten auf dem Arbeitsblatt festzuhalten, kann die Lehrperson den Film kurz unterbrechen und den Schülern Zeit gewähren, um die Aufgaben zu beantworten.

Im Anschluss an den Film folgt die Sicherungsphase, in der Schüler ihre Antworten im Unterrichtsgespräch vorstellen können. Da der Vergleich zwischen Hoch- und Niedermooren auf dem Arbeitsblatt als Tabelle visualisiert ist, wird diese bei der Besprechung der Aufgaben in der Präsentation (Folie 6) aufgezeigt und die Lehrperson schreibt die Schülerbeiträge auf. Die letzten Aufgaben werden mündlich besprochen oder können nach Ermessen der Lehrkraft auch stichpunktartig an der Tafel festgehalten werden. Das Lösungsblatt (Anhang 3.4) der Lehrkraft ist als Unterstützung während der Sicherung mit Zeitbelegen versehen, um die entsprechende Filmsequenz erneut zeigen zu können, sollte keiner der Schüler die richtige Lösung ermittelt haben. Als Überleitung zur nächsten Stunde und zur Hausaufgabe erklärt die Lehrkraft, dass die Schüler bisher die allgemeinen Moortypen kennengelernt haben, die Realität jedoch deutlich komplexer ist und die Moore daher in spezielle Moortypen differenziert werden. In diesem Zusammenhang sollen die Schüler in der Hausaufgabe mithilfe eines Informationstextes (Anhang 3.5) eine Mindmap zur Unterteilung der verschiedenen Moortypen erstellen. Des Weiteren sollen sie unter Verwendung des Textes vier Einflussfaktoren nen-

nen, welche die Entstehung der hydrologischen Moortypen beeinflussen und eine begründete Vermutung aufstellen, wie sich der massive Einsatz von Düngemitteln in der Landschaft auf die verschiedenen ökologischen Moortypen auswirkt. Die Hausaufgabe kann als Puffer bereits in der Unterrichtsstunde begonnen werden, sollte noch ausreichend Zeit sein. Im umgekehrten Fall kann die Sicherung der Aufgaben auch zu Beginn der nächsten Stunde weitergeführt werden, da die Aufgaben keine Voraussetzung für die Beantwortung der Hausaufgabe darstellt.

3.3.1.3 Didaktik

Der inhaltliche Schwerpunkt der ersten Stunde dieser Unterrichtseinheit ist die Vorstellung der Moore als besondere Ökosysteme, um somit die Grundlagen für die nachfolgenden Stunden zu erarbeiten. Zudem wird im Sinne der Umweltbildung Fachwissen zu Mooren generiert, was eine wichtige Voraussetzung für das Umweltverhalten darstellt. Der Fokus der Stunde liegt auf der Gegenüberstellung von exemplarischen Eigenschaften von Hoch- und Niedermooren als allgemeine Moortypen. Als Alternative bei der Stoffauswahl können auch die hydrologischen oder ökologischen Moortypen thematisiert werden. Allerdings besteht beim Lerngegenstand Moor im Allgemeinen die Schwierigkeit, dass diese Ökosysteme im Lehrplan nicht verankert sind und folglich nur wenig Vorwissen von den Schülern zu erwarten ist. Daher können die speziellen Moortypen die Schüler zu Beginn der Unterrichtseinheit überfordern, sodass die Moortypen zunächst generalisiert in Hoch- und Niedermoore unterschieden werden.

Aus organisatorischen Gründen werden die Schüler bereits vor der Unterrichtseinheit über die bevorstehende Exkursion zur Untersuchung eines Moores in den Nationalpark Hunsrück-Hochwald informiert, sodass zu Beginn der Unterrichtsstunde die Frage aufgeworfen wird, was ein Moor ist. Zum einen fördert dieser Zugang zum Thema die Schüleraktivität, da sie Vermutungen, Meinungen oder außerschulisches Vorwissen äußern können und zum anderen kann die Lehrperson bereits die Vorkenntnisse der Schüler erfassen. Des Weiteren kann an das Interesse bezüglich der Exkursion angeknüpft werden, denn die Voraussetzung für die Untersuchung eines Biotops ist, wie sich dieses von anderen Biotopen, beispielsweise einem Teich oder Sumpf, unterschei-

det. Das Lernbedürfnis der Schüler wird mit dem Phänomen, dass Moor nicht gleich Moor ist, geweckt. Daher sollen in der Erarbeitungsphase die Unterschiede zwischen Hoch- und Niedermooren anhand von vorgegebenen Eigenschaften herausgestellt werden. Die Unterschiede beziehen sich auf die Wasserversorgung, die Beschreibung der Vegetation, die Nährstoffverhältnisse sowie vorkommende Pflanzen- und Tierarten. Da der Lebensraum Moor aufgrund seiner speziellen abiotischen Faktoren eine Herausforderung für Lebewesen darstellt, sollen exemplarisch Strategien von Pflanzenarten der Moore zur Veranschaulichung erarbeitet werden. Diese Phänomene sollen die Besonderheiten der Moore im Vergleich zu den aus dem Alltag bekannten Ökosystemen Wald, Fluss oder See für die Schüler begreiflich machen. Die größte Schwierigkeit des Lerngegenstands stellen die wenigen Vorkenntnisse zu Mooren dar, weil dieser Lerngegenstand nicht im Lehrplan verankert ist und exemplarisch zumeist ein Wald, Teich oder Bach untersucht werden. Grund dafür ist, dass im Südwesten Deutschlands nur wenige Moore vorhanden sind und daher der unmittelbare Alltagsbezug der Schüler fehlt. Am Ende der Stunde sollen die Schüler mindestens die Definition von Mooren sowie die Unterschiede zwischen Hoch- und Niedermooren bezüglich der Herkunft des Wassers, der Nährstoffverhältnisse und das daraus resultierende Erscheinungsbild der Vegetation behalten.

Als weiterführende Hausaufgabe sollen die allgemeinen Moortypen durch die differenziertere Einteilung der ökologischen und hydrologischen Moortypen erweitert werden, weil diese als Vorbereitung für die Inhalte der nachfolgenden Stunde dienen. Ziel der ersten Aufgabe ist, die verschiedenen Klassifikationen der Moore vorzunehmen, um sich einerseits der Variabilität der Moore bewusst zu werden und andererseits diese übersichtlich zu strukturieren. Des Weiteren können die Schüler die Nährstoff- und Säure-Basen-Verhältnisse zuordnen, da dies für die Untersuchung des Moores von Bedeutung ist. Mit der letzten Aufgabe werden die Schüler mit der Problematik der übermäßigen Düngung in der Landwirtschaft konfrontiert, die auch Auswirkungen auf bestimmte ökologische Moortypen haben. Somit können die Schüler ihr Wissen über die ökologischen Moortypen anwenden und gleichzeitig verknüpfen sie ihr Alltagswissen mit dem aktuellen Lerngegenstand, weil die Überdüngung sowohl in den Nachrichten als auch in anderen Unterrichtsfächern ein aktuelles Thema ist. Die Hausaufgabe

kann bei einem zügigeren Unterrichtsverlauf auch als Puffer in der Stunde begonnen werden. Sollte der Inhalt der für den zur Verfügung stehenden zeitlichen Rahmen zu umfangreich gewählt worden sein und die Stunde in dem geplanten Verlauf nicht eingehalten werden können, kann die Sicherung auch nur mündlich erfolgen oder wird in der nächsten Stunde weitergeführt. Wichtig ist jedoch, dass die Tabelle der ersten Aufgabe gesichert wird, denn diese erleichtert die Bearbeitung der Hausaufgabe.

3.3.1.4 Methodik

Der Unterricht weist mit der Einstiegs- und Sicherungsphase eine fragend-entwickelnde Unterrichtsform auf, während in der Erarbeitungsphase mit der Einzelarbeit eine schülerorientierte Unterrichtsform angewendet wird. Aus didaktischer Sicht sind die Erkenntnisschritte, was ein Moor ist und dass sich Moore erheblich unterscheiden können, vorgegeben und gliedern damit die Stunde in die Einstiegs- und Erarbeitungsphase. Der letzte Erkenntnisschritt, wie sich Hoch- und Niedermoore in bestimmten Eigenschaften unterscheiden, unterteilt die Stunde in die Erarbeitungs- und Sicherungsphase.

In der Einstiegsphase konfrontiert die Lehrperson die Schüler mit der bevorstehenden Exkursion und stellt in diesem Zusammenhang die Impulsfrage, was ein Moor ist. Diese wird mithilfe einer PPP visualisiert und die Schülerbeiträge werden auf der Tafel von der Lehrperson kommentarlos angeschrieben. Dadurch werden die Schüler zur selbstständigen Mitarbeit angeregt und können ihre außerschulischen Vorkenntnisse aktivieren. Ausgehend von den Schülerbeiträgen ist jedoch eine stärkere Lenkung von der Lehrperson vonnöten, um diese gegebenenfalls zu korrigieren. Deshalb werden die Schüler durch einen kurzen Lehrervortrag durch Unterstützung einer PPP-Folie über die Definition eines Moores und die für Moore kennzeichnende Torfbildung informiert. Dies ist wichtig, weil unkommentierte Antworten zu Fehlvorstellungen führen können und die Schüler eine Rückmeldung zu ihren Vorkenntnissen erhalten. Als Überleitung zur Erarbeitungsphase soll die Aussage „Moor ist nicht gleich Moor“ das Lernbedürfnis wecken, verschiedene Moortypen kennenzulernen. Als Medium zur Erarbeitung der Unterschiede zwischen Hoch- und Niedermooren sowie allgemein das Moor als Öko-

system zu veranschaulichen, wird der Film „Mystisches Moor“ gewählt. In diesem Film werden die Nieder- und Hochmoore präsentiert, indem verschiedene Tier- und Pflanzenarten sowie Nutzungsmöglichkeiten durch den Menschen vorgestellt werden. Der Tonfilm gibt die Tier- und Naturgeräusche wieder und ermöglicht zusammen mit dem visuellen Sinneskanal einen guten Gesamteindruck zu Mooren. Zudem werden durch einen Sprecher zusätzliche Informationen hinzugefügt, um einzelne Vorgänge oder Anpassungsstrategien zu erklären. Einerseits bietet der Film die Möglichkeit, die Natur im Klassenraum erleben und daher einen emotionalen Bezug zu Mooren entwickeln zu können. Andererseits werden viele Informationen innerhalb einer kurzen Zeit anschaulich dargestellt, was nicht unerheblich ist, weil bei den Schülern nur wenige Vorkenntnisse zu vermuten sind. Um die Aufmerksamkeit auf das Lernziel zu konzentrieren, erhalten die Schüler ein Arbeitsblatt mit verschiedenen Aufgaben, die mithilfe des Films beantwortet werden können. Dort sind auch die Definition zu Mooren und die Erklärung zur Entstehung von Torf festgehalten, weil der Film in dieser Hinsicht keine Informationen bereithält. Zum Vergleich der beiden Moortypen sollen die Schüler eine Tabelle zu vorgegebenen Eigenschaften ausfüllen. Außerdem sollen die Schüler Anpassungsstrategien von Pflanzen beschreiben, um im Moor mit seinen besonderen Bedingungen existieren zu können. Da auch die Nutzung der Moore im Film erwähnt wird, was im Verlauf der Unterrichtseinheit von Bedeutung ist, sollen die Schüler zudem verschiedene Nutzungsmöglichkeiten aufschreiben. Die Aufgaben sind so konzipiert, dass zumeist nur ein Wort oder maximal kurze Sätze ergänzt werden müssen. Demnach werden die Schüler nicht permanent durch das Schreiben abgelenkt und können den Gesamteindruck der Naturphänomene besser aufnehmen. Um den Film nicht durch Gespräche zu stören, erfolgt die Bearbeitung der Aufgaben in Einzelarbeit. Das Medium hat die Wahl der Unterrichtsziele dahingehend beeinflusst, dass im Film die Eigenschaften der Moortypen vorgegeben worden sind, die von den Schüler gegenüber gestellt werden sollen. Aus diesem Grund ist die Konkretisierung der Unterrichtsziele im gewissen Maße von den im Medium dargestellten Eigenschaften und vorgestellten Pflanzenarten abhängig.

In der Sicherungsphase werden die Lösungen der Schüler im Unterrichtsgespräch verglichen. Die Tabelle zum Vergleich der Moortypen wird in Abhängigkeit von der techni-

schen Ausstattung des Raumes von der Lehrkraft zentral visualisiert, wobei sie die Schülerbeiträge mitschreibt. Eine stärkere Lenkung von der Lehrperson ist nur erforderlich, wenn die Aufgaben nicht korrekt beantwortet worden sind. Diese Tabelle stellt zudem das zusammenfassende Tafelbild dar, das die wichtigsten Inhalte zusammenfasst. Die anderen Aufgaben können nach Ermessen der Lehrkraft mündlich oder schriftlich besprochen werden.

3.3.2 Zweite vorbereitende Stunde

3.3.2.1 Lernziele und Kompetenzen

Lernziele: Die Schüler...

- ... vergleichen die Eigenschaften (Entstehung/Herkunft des Wassers, Alter, Torfmächtigkeit, ökologische Moortypen, Vorkommen, besondere Eigenschaften) von hydrologischen Moortypen exemplarisch für Hang-, Quell- und Regenmoore mithilfe der Expertenrunde und einer Tabelle. (kognitiv)
- ... skizzieren mithilfe der Expertenrunde den Aufbau von Hang-, Quell- und Regenmooren. (kognitiv)
- ... beschreiben unter Zuhilfenahme ihrer Skizzen die Entstehung der Hang-, Quell- und Regenmoore. (kognitiv)

Kompetenzen: Die Schüler...

- ... erschließen und nutzen die Texte zu den hydrologischen Moortypen als Informationsquelle. (allgemeine Methoden)
- ... wenden Fachsprache zu den hydrologischen Moortypen angemessen an. (Kommunikation)

3.3.2.2 Verlauf

Die zweite vorbereitende Stunde (Anhang 4.1) ist für 90 Minuten angelegt, um zum einen flexibel auf die vorangegangene Stunde eingehen zu können und zum anderen der Vorbesprechung zur Exkursion ausreichend Zeit zu gewährleisten.

Zunächst werden die Hausaufgaben zu den Moortypen besprochen (Anhang 3.6) und gegebenenfalls die Sicherung der vorangegangenen Stunde ergänzt. Die Mindmaps werden von ausgewählten Schülern präsentiert, indem sie diese mithilfe einer Dokumentenkamera oder einem Tablet für alle visualisieren. Die anderen Aufgaben werden mündlich besprochen. Als Überleitung zum eigentlichen Stundenthema werden die hydrologischen Moortypen aufgegriffen und die Lehrperson erklärt mithilfe einer PPP (Anhang 4.2, Folie 2), dass im Nationalpark nur Hang-, Quell- und Zwischenmoore mit Regenmoor-Resten vorkommen. Als zentrales Thema dieser Stunde steht die Frage „Wie unterscheiden sich die hydrologischen Moortypen voneinander?“ im Fokus, die zur Erarbeitungsphase überleitet. Die Gruppen erarbeiten sich die Inhalte zu Hang-, Regen- und Quellmooren arbeitsteilig in einem Gruppenpuzzle. In der ersten Phase des Gruppenpuzzles werden die Gruppen zu je drei Personen (A-C) in die Stammgruppen eingeteilt. Die Schüler, die den Buchstaben A zugeteilt bekommen, setzen sich mit den Eigenschaften der Hangmoore auseinander, während sich die Schüler mit der Zuteilung von B den Quellmooren und die Schüler mit zugeteiltem C den Regenmooren widmen. Zur Visualisierung des Prinzips zeigt die Lehrperson ein Bild in der Präsentation (Folie 3). In der zweiten Phase treffen sich die Expertengruppen und erarbeiten sich mithilfe von Informationstexten (Anhang 4.3, Anhang 4.4, Anhang 4.5) die Eigenschaften (Entstehung/Herkunft des Wassers, Alter, Torfmächtigkeit, ökologische Moortypen, Vorkommen, besondere Eigenschaften und Übersichtsskizze) des jeweiligen hydrologischen Moortyps. Je nach Größe des Kurses können die Expertengruppen halbiert werden, um die Kommunikation innerhalb der Gruppen zu erleichtern. Für diese Phase wird eine Dauer von 15 Minuten eingeplant, wobei sich die Lehrperson in den Hintergrund zurückzieht und nur bei Fragen oder Störungen in das Unterrichtsgeschehen eingreift. Die Ergebnisse werden auf einem separaten Arbeitsblatt (Anhang 4.6) in einer Tabelle festgehalten. In der Sicherungsphase, welche die dritte Phase des Gruppenpuzzles darstellt, treffen sich die Mitglieder der Stammgruppen erneut und erklären sich gegenseitig die erarbeiteten Kenntnisse zu den hydrologischen Moortypen, wofür pro Schüler fünf Minuten angesetzt werden. Die Gruppenmitglieder ergänzen die Ergebnisse der anderen in ihrer Tabelle. Auch in dieser Phase hat die Lehrperson nur die Funktion eines Beraters inne. Abschließend können Fragen und Unklarheiten zum Stundenthema und zu Mooren allgemein im Plenum erörtert werden.

In der zweiten Hälfte der Doppelstunde werden wichtige Informationen zur Exkursion geklärt. Als Einstieg wird die Frage „Was ist ein Nationalpark?“ von der Lehrperson mit einer Präsentation (Folie 5) visualisiert. Die Schüler können ihre Kenntnisse aus außerschulischem Vorwissen sowie ihre Vermutungen äußern, die von der Lehrperson an der Tafel festgehalten werden. Die Schülerbeiträge werden anschließend mit den Charakteristika verglichen, die von der Lehrperson auf Folie 6 und 7 aufgezeigt werden. Die Lehrperson stellt wichtige Daten des Nationalparks Hunsrück-Hochwalds vor (Folie 9) und erklärt die verschiedenen Zonen des Nationalparks, in denen die Eingriffe in unterschiedlichem Ausmaß erlaubt sind. Des Weiteren erklärt sie, dass Moore renaturiert werden und dass im Nationalpark viele seltene Tier- und Pflanzenarten einen Rückzugsort finden (Folie 10). Um den Fokus auf die Mooruntersuchung zu lenken, stellt sie das Alter der Moore im Nationalpark und die vorkommenden ökologischen Moortyp vor, wobei die hydrologischen Moortypen der Vollständigkeit halber aufgegriffen werden. An dieser Stelle können die Schüler Fragen zu Nationalparks allgemein und dem Nationalpark im Hunsrück konkret stellen, wobei bei spezifischeren Fragen auf die Ranger im Nationalpark verwiesen werden kann, welche das Projekt am ALO durchführen. Zum Abgleich der benötigten Kenntnisse für die Exkursion zeigt die Lehrperson eine Checkliste (Folie 12), mit der die Schüler selbst überprüfen können, ob sie diese Inhalte beherrschen. Nun erfolgen die Informationen zur Exkursion bezüglich Ort und Zeit der Abfahrt sowie eine Packliste (Folie 13 und 14). An dieser Stelle findet bereits die Gruppeneinteilung à 5 Personen statt, ohne exakte Angaben zur Aufgabenverteilung zu machen, wobei je nach Schüleranzahl auch Vierergruppen möglich sind. In diesem Fall entfällt die Rolle des Gruppenleiters und die Aufgaben müssen von anderen Gruppenmitgliedern übernommen werden. Abschließend werden auf wesentliche Verhaltensregeln im Nationalpark hingewiesen, die zunächst von den Schülern selbst aufgelistet und dann mit denen abgeglichen werden, welche die Lehrperson (Folie 16) aufgezeigt. Hierbei wird betont, dass das Moor aus Schutzgründen nicht betreten werden darf. Falls keine Fragen mehr bestehen, kann die Stunde beendet werden, wobei keine Hausaufgaben erteilt werden.

3.3.2.3 Didaktik

Der Schwerpunkt der Stunde liegt auf der Vermittlung der hydrologischen Moortypen, die im Zusammenhang mit anderen Klassifikationen von Mooren, beispielsweise den ökologischen Moortypen, steht. Hydrologische Moortypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Entstehung, Struktur, dem Alter, ihrer Torfmächtigkeit, vorkommenden ökologischen Moortypen und der Verbreitung in Deutschland. Daher sollen verschiedene Moortypen miteinander unter vorgegebenen Eigenschaften verglichen werden. Exemplarisch werden die im Nationalpark vorkommenden Hang- und Quellmoore gegenübergestellt. Einige Moore befinden sich in einem Übergangszustand und weisen dementsprechend Charakteristika der Regenmoore auf, sodass auch diese dem Vergleich unterzogen werden sollen. Dass es sich jedoch nicht um reine Regenmoore handelt, die es mit großer Wahrscheinlichkeit aufgrund der geringen Torfmächtigkeit im Hunsrück auch nicht geben wird, wird dieser Sachverhalt aufgrund der Komplexität generalisiert. Alternativen bei der Stoffauswahl bieten sich einerseits bei der Behandlung der ökologischen Moortypen, andererseits bei der Auswahl anderer hydrologischer Moortypen. Auf die Vertiefung der ökologischen Moortypen wird aus dem Grund verzichtet, weil sich die Zusammensetzung der Vegetation in verschiedenen Gebieten unterscheiden kann und daher konkret für den Hunsrück herausgearbeitet werden müssten. Zudem müssen die verschiedenen Pflanzengesellschaften erarbeitet werden, was Kenntnisse zu den jeweiligen Arten und der pflanzensoziologischen Systematik erfordert. Andere hydrologische Moortypen kommen im Nationalpark nicht vor, sodass der unmittelbare Bezug zur Exkursion fehlt und für die Schüler nicht relevant ist. Des Weiteren besteht bereits bei drei hydrologischen Moortypen eine Informationsfülle, sodass die anderen hydrologischen Moortypen aus didaktischen Gründen vernachlässigt werden. Für die Umweltbildung sind diese Inhalte relevant, weil für Umweltverhalten spezifisches Fachwissen vorausgesetzt und die Vielfalt der Moore durch diese Schwerpunktsetzung veranschaulicht wird.

Der Zugang zu dem Lerngegenstand erfolgt mit der Hausaufgabe, die zu Beginn der Unterrichtsstunde besprochen wird. Ausgehend von den Mindmaps, die die verschiedenen Klassifikationen der Moore strukturieren sollen, werden die im Nationalpark vorkommenden hydrologischen Moortypen fokussiert. Das Lernbedürfnis der Schüler

wird mit der Frage geweckt, wie sich diese Moortypen unterscheiden und knüpft an das Interesse bezüglich der Exkursion an. Ebenso wie bei der vorangegangenen Stunde besteht die Schwierigkeit durch die Fülle an Informationen, die nur mit dem Vorwissen aus der ersten Stunde und den Hausaufgaben verknüpft werden können. Diese Herausforderung kann methodisch behoben werden, was im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird. Schwierigkeiten können sich zudem auch bei der Erarbeitung des Aufbaus der verschiedenen Moortypen ergeben, woher der Wasserzufluss kommt und wie sich dies auf das Torfwachstum auswirkt. Auch diese Problematik kann mit methodischen Mitteln bewältigt werden. Die Vernetzung der Moore bezüglich des Wassereinzugsgebiets sowie eine ausführliche Erklärung zur Kombination der Hangquellmoore werden im Sinne der didaktischen Reduktion vernachlässigt, um die Komplexität des Lerngegenstands zu verringern. Die Schüler müssen mindestens behalten, welche Moortypen im Nationalpark vorkommen, wie diese entstehen und prinzipiell aufgebaut sind sowie welche ökologischen Moortypen vorkommen können. Zudem sollen die Schüler eine besondere Eigenschaft zu jedem Moortyp nennen können.

Der Schwerpunkt der zweiten Hälfte der Stunde ist der Nationalpark Hunsrück-Hochwald sowie die nicht zu vernachlässigenden Informationen zur bevorstehenden Exkursion. Hierbei werden vor allem die Ziele sowie die Zonierung des Nationalparks fokussiert. Alternativ können auch andere Aspekte bezüglich des Nationalparks betrachtet werden, beispielsweise die Geschichte, Vorstellung exemplarischer Tier- und Pflanzenarten oder Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele. Um das Interesse der Schüler zu wecken, sollen sie ausgehend von ihren Vorkenntnissen oder Annahmen erklären, was ein Nationalpark ist. Der Frageanreiz liegt bei der Unterscheidung zu einem „normalen“ Naturgebiet, was zugleich die Neugier der Schüler wecken kann, wenn sie sich in Hinblick auf die bevorstehende Exkursion mit der Thematik auseinandersetzen. Nach Sammlung der Schülerbeiträge präsentiert die Lehrperson die Erklärung und gleicht diese mit den Schülerantworten ab. Informationen über den Nationalpark bezüglich Lage und Gründung werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur kurz vorgestellt, zumal sie für die Exkursion nicht von großer Bedeutung sind. Veranschaulicht wird die Entwicklung des Nationalparks als „Urwald von morgen“ mithilfe der Zonen innerhalb des Gebiets. Interessant für die Schüler ist in diesem Zusammenhang, dass

im Wildnisbereich keine Eingriffe unternommen werden dürfen und die Natur sich selbst überlassen wird. Dies ist für die Schüler nicht alltäglich, weil die aus ihrer Lebenswelt bekannten Waldgebiete zumeist forstwirtschaftlich genutzt werden und sie einen „richtigen“ Urwald nicht kennen. Schwierigkeiten werden vermutlich keine bestehen, weil es sich im Wesentlichen um Hintergrundinformationen handelt, um die Schüler auf die bevorstehende Exkursion einzustimmen. Da es sich im Wesentlichen um Informationen bezüglich der Exkursion sowie des Nationalsparks handelt, sollen die Schüler wissen, was ein Nationalpark ist und wie sie sich bei der Exkursion verhalten sollen. Eine Hausaufgabe wird nicht erteilt, weil diese während der Exkursion nicht kontrolliert werden kann und die nachfolgenden Stunden der Auswertung sowie Interpretation der bei der Exkursion erhobenen Daten dienen.

3.3.2.4 Methodik

Abgesehen von der Einstiegsphase, in der die Besprechung der Hausaufgaben im Unterrichtsgespräch erfolgt, wird mit der Gruppenarbeit eine schülerzentrierte Unterrichtsform angewendet. Der erste Erkenntnisschritt, dass im Nationalpark nur drei von acht der vorgestellten hydrologischen Moortypen vorkommen, legt den Übergang von der Einstiegs- in die Erarbeitungsphase fest. In diesem Zusammenhang wird die Frage aufgeworfen, wie sich diese voneinander unterscheiden. Dass nicht alle hydrologischen Moortypen vorkommen, kann aufgrund des mangelnden Vorwissens unter anderem bezüglich der geologischen Verhältnisse im Nationalpark nicht von den Schülern erarbeitet werden, zumal sie sich erst in dieser Stunde mit den Eigenschaften der hydrologischen Moortypen intensiver auseinandersetzen. Aus diesem Grund werden sie über diesen Sachverhalt von der Lehrperson informiert. Nach der Erarbeitung der Unterschiede erfolgt der zweite Erkenntnisschritt, der die Unterrichtsstunden in eine Sicherungsphase unterteilt. Wie bereits bei der didaktischen Konzeption erwähnt, kann die Informationsfülle die Schüler überfordern, sodass diese Problematik methodisch durch ein Gruppenpuzzle während der Erarbeitungs- und Sicherungsphase behoben werden kann. So werden die drei Moortypen innerhalb der Stammgruppe arbeitsteilig bearbeitet, was zum einen zeitökonomisch ist und zum anderen soziale Kompetenzen fördert. Innerhalb der Expertengruppen befassen sich die Schüler selbstständig mit dem jewei-

ligen Moortyp und innerhalb der Stammgruppen fungieren sie zugleich als Lehrender und als Lernender. Der gesamte Lerngegenstand wird somit von den Schülern selbstständig erarbeitet, da die Lehrperson nur als Berater zur Verfügung steht. Zur Veranschaulichung des Prinzips, falls die Schüler mit dieser Methode noch nicht vertraut sind, kann die Abbildung in der PPP verwendet werden. Als Medium erhält jeder Experte ein Arbeitsblatt mit einem Informationstext und einer Abbildung zu dem jeweiligen Moortyp, um sich die Eigenschaften selbst erschließen zu können. Für einen besseren Vergleich der Moortypen erhält jeder Schüler ein weiteres Arbeitsblatt mit einer Tabelle, in dem die Moortypen und die vorgegebenen Eigenschaften festgehalten werden. Diese Strukturierung ist deshalb gewählt worden, weil am Ende der Stunde keine gemeinsame Sicherung erfolgt und somit gewährleistet ist, dass jeder Schüler die Aufgaben gleichermaßen bearbeiten kann. Die Abbildungen sind so gewählt worden, dass sie nach dem gleichen Schema strukturiert sind, wodurch die Schüler auch bei den Moortypen, mit denen sie sich nicht auseinandergesetzt haben, keine Probleme aufgrund unterschiedlicher Darstellungsweisen haben. Für das Regenmoor und das Hangmoor sind die gleichen Abbildungen gewählt worden, weil eine Zeichnung nach dem gleichen Schema das Regenmoor über einem Versumpfungsmoor darstellt. Dies könnte die Schüler irritieren, wenn sie kein Wissen zu Versumpfungsmooren besitzen, welche aufgrund der didaktischen Reduktion nicht thematisiert werden. Da die Informationstexte entsprechend der Unterrichtsziele gestaltet worden sind, hat das verwendete Medium keinen Einfluss auf die Ziele. Ein Tafelbild ist nicht geplant, denn die Schüler sind für ihre Sicherung selbstverantwortlich. Am Ende der Stunde sollte die Lehrkraft jedoch in einem kurzen Unterrichtsgespräch mögliche Probleme oder Unklarheiten besprechen.

Die zweite Hälfte der Stunde erfolgt im Wechsel aus gelenktem Unterrichtsgespräch mit kurzen Abschnitten des Lehrervortrags. Dies dient der schnellen Vermittlung von Daten und Fakten bezüglich des Nationalparks sowie der Exkursion. Als Medium wird eine PPP verwendet, die den Vortrag mithilfe von Stichpunkten und Bildern unterstützt. Um die Schüler dennoch in das Unterrichtsgeschehen einzubeziehen, werden während des Vortrags Fragen zur Aktivierung außerschulischer Kenntnisse integriert. So können sie einerseits ihre Vermutungen äußern, was ein Nationalpark ist und wer-

den andererseits bei der Erstellung der Verhaltensregeln, die im Nationalpark umgesetzt werden sollen, beteiligt. Während dieser Phasen hält sich die Lehrperson überwiegend im Hintergrund und sammelt die Schülerbeiträge an der Tafel, die dann mit den Aspekten der PPP abgeglichen werden. Alternativ können die Schüler ihre Überlegungen auf Zetteln festhalten, die an der Tafel gesammelt und im Unterrichtsgespräch miteinander verglichen werden. Eine weitere Möglichkeit eines assoziativen Einstiegs stellt die Erstellung einer Mindmap dar, bei der die verschiedenen Aspekte strukturiert an der Tafel dargestellt werden können. Die Wahl der Methode hängt im Wesentlichen von der verfügbaren Zeit ab, weil am Ende der Stunde noch genügend Raum für die organisatorischen Informationen und eventuelle Fragen von Seiten der Schüler bezüglich der Exkursion sein sollte.

3.4 Exkursion

3.4.1 Lernziele und Kompetenzen

Lernziele: Die Schüler...

- ... nennen die Bestimmung der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme als Methoden zur Untersuchung eines Moores anhand der Gruppenarbeit. (kognitiv)
- ... erkennen die Bedeutung der Gewässergüte und der Vegetation für das Ökosystem Moor anhand der Durchführung der Mooruntersuchung. (affektiv)
- ... nehmen die Vielfalt der Moore durch die Untersuchung des Moores wahr. (affektiv)

Experten Gewässergüte: Die Schüler...

- ... führen die Untersuchung der Gewässergüte bezüglich ausgewählter chemischer Parameter (Nitrat, Ammonium, Nitrit, Phosphat, Gesamthärte) unter Verwendung von Analysereagenzien durch. (psychomotorisch)
- ... werten ihre Ergebnisse mithilfe von Tabellen und der ökologischen Bedeutung der chemisch-physikalischen Parameter aus. (kognitiv) optional

Experten Vegetationsaufnahme: Die Schüler...

- ... führen die Vegetationsaufnahme mithilfe der Bestimmungsliteratur durch. (psychomotorisch)
- ... ermitteln die Artmächtigkeit und den quantitativen mittleren Zeigerwert ihrer Untersuchungsfläche mithilfe der Tabellen. (psychomotorisch)
- ... werten ihre Ergebnisse unter Verwendung der theoretischen Hintergründe und der Zeigerwerte zur Charakterisierung ihres Standortes aus. (kognitiv) optional

Gruppenleiter: Die Schüler...

- ... erklären die ökologische Bedeutung der chemisch-physikalischen Parameter für das Moor unter Zuhilfenahme der Gruppenergebnisse. (kognitiv)
- ... erklären das Vorkommen der gefundenen Arten unter Verwendung der theoretischen Hintergründe. (kognitiv)
- ... zeigen Verantwortungsbewusstsein, indem er seine Teammitglieder während der Durchführung unterstützt. (sozial)

Kompetenzen: Die Schüler...

- ... untersuchen und analysieren das Ökosystem Moor mithilfe der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme. (fachspezifische Methoden)
- ... stellen ihre erhobenen Daten übersichtlich und strukturiert dar. (Kommunikation)

3.4.2 Verlauf

Nach Ankunft der Schüler am Hunsrück-Haus erfolgt der Einstieg im Seminarraum im Hunsrück-Haus (Verlauf 5.1). Die Leitung durch das Programm erfolgt durch einen oder mehrere Ranger des Nationalparks Hunsrück-Hochwald. Nach der Begrüßung beginnt der Expertenvortrag, der mithilfe einer PPP (Anhang 5.2) visualisiert wird und auf die Untersuchung des Moores hinführen soll: Zu Beginn berichtet der Ranger vom Zustand der Moore in Deutschland (Folie 2). Ursprünglich haben Moore 4,5 % der Fläche Deutschlands bedeckt. Der Ranger verweist darauf, dass die Schüler in der Vorberei-

tung gelernt haben, dass sich der Mensch die Moore zu Nutze gemacht hat, was nicht ohne Folgen geblieben ist. Daraufhin sollen die Schüler schätzen, wie viel Prozent dieser Moore zerstört worden sind. Nach Sammlung einiger Schätzungen erläutert der Ranger, dass mindestens 95 % der Moore in Deutschland zerstört worden sind, wobei vor allem früher der Torfabbau zur Gewinnung von Brennmaterial dazu beigetragen hat, während heute unter anderem die Verwendung als land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen und der Torfabbau zur Herstellung von Blumenerde einen wesentlichen Anteil an der Moorzerstörung haben (Folie 3). Er ergänzt, dass die Moornutzung eine Entwässerung voraussetzt. Um die Bedeutung der Moore hervorzuheben, fragt der Ranger die Schüler, warum Moore geschützt werden müssen, da Nutzflächen und Blumenerde für den Menschen von großem Nutzen sind (Folie 4). Dabei können die Schüler ihre Vermutungen äußern, die vom Ranger ergänzt werden (Folie 5): Moore tragen wesentlich zum Erhalt der biologischen Vielfalt bei, denn sie beherbergen viele „Spezialisten“, die an die besonderen Bedingungen angepasst und daher auf Moore angewiesen sind. Zudem handelt es sich um stark gefährdete Arten, weil es immer weniger Moore gibt. Moore filtern das durchtretende Wasser und tragen durch ihre enorme Speicherwirkung zum Hochwasserschutz bei, die sie jedoch verlieren, wenn sie entwässert werden. Einen sehr großen Beitrag leisten sie auch beim Klimaschutz, weil sie enorme Mengen an Kohlenstoff speichern: Alle Moore der Welt speichern doppelt so viel Kohlenstoff wie die gesamten Wälder. Zudem werden Stickstoff und andere Stoffe in Mooren gespeichert. Wer also das Klima schützen will, muss auch Moore schützen. Da Moore nach wie vor zur Nutzung entwässert werden, hat dies weitreichende Folgen für die Ökosysteme. Der Ranger erklärt einige Folgen der Entwässerung von Mooren (Folie 6): Ist der Torf nicht mehr wassergesättigt, so wird der Torf durch die Sauerstoffzufuhr irreversibel mineralisiert. Das bedeutet, dass die organischen Verbindungen zu niedermolekularen Verbindungen wie Wasser, Kohlenstoffdioxid oder mineralischen Salzen abgebaut werden. Zugleich verliert das Moor seine Speicherefähigkeit von Wasser und kann dieses nicht mehr zurückhalten. Nichtentwässerte Moore stellen Stoffsenken dar, dagegen werden die Stoffkreisläufe bei entwässerten Mooren mobilisiert: Hierbei werden unter anderem große Mengen an klimaschädlichem Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas freigesetzt. Die Freisetzung von Nitrat führt zu einer Eutrophierung und durch die veränderten Nährstoffverhältnisse kann es

zu einer Umwandlung der im Moor vorherrschenden Vegetation kommen. Der Ranger erläutert, dass sich das Bewusstsein bezüglich der Wichtigkeit von Mooren gewandelt hat und viele Maßnahmen zum Schutz der Moore entwickelt werden (Folie 7). So fordert das BMU von den Bundesländern die Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zum Schutz der Moore. Auch viele Umweltorganisationen haben verschiedene Projekte und Strategien entwickelt. Eine alleinige Unterschutzstellung reicht meist jedoch nicht aus, da die Moore in einem sehr schlechten Zustand sind und sich nicht eigenständig regenerieren können. Deshalb müssen so genannte Revitalisierungsmaßnahmen erfolgen, die individuell für jedes Moor konzipiert werden. Zudem ist der Prozess sehr langwierig: Zunächst muss der Ausgangszustand mit verschiedenen Untersuchungen erfasst werden, wofür verschiedene Spezialisten benötigt werden. Ausgehend von diesen Erkenntnissen werden Maßnahmen entwickelt und umgesetzt. Um die erfolgreiche Umsetzung zu erfassen, müssen erneut Untersuchungen erfolgen. Außerdem regenerieren sich die Moore nur sehr langsam, sodass teilweise mehrere Jahrzehnte nicht ausreichen, bis die Moore sich erneut selbst erhalten können. Diese Maßnahmen sind daher mit hohen Kosten verbunden, sodass zahlreiche Förderungen notwendig sind. Der Ranger gibt zudem zu bedenken, dass unter Umständen der ursprüngliche Zustand der Moore nicht wiederhergestellt werden kann, wenn die Zerstörung zu weit fortgeschritten ist. Dennoch ist die Renaturierung der Moore angesichts ihrer Leistungen von großer Bedeutung und muss für einen langfristigen Schutz erfolgen (Folie 8). In diesem Zusammenhang wird auch das Untersuchungsgebiet, das Moor Ehlesbruch vorgestellt und eine Karte inklusive der Entwässerungsgräben gezeigt (Folie 9). Es wird erklärt, dass im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen Stauwerke errichtet wurde, weil zuvor das gesamte Wasser abgeführt wurde. Der Ranger leitet nun mit der Frage „Wie kann man den Zustand eines Moores erfassen?“ zur Mooruntersuchung über (Folie 10), wobei die Schüler zunächst ihre Überlegungen zu verschiedenen Methoden beitragen können. Diese werden mit Beispielen von Seiten des Rangers abgeglichen (Folie 11), der daraufhin erläutert, warum die Methoden der Vegetationsaufnahme und der Gewässergüte bei diesem Projekt erfolgt (Folie 12). Beide Methoden liefern vor Ort bereits Ergebnisse, die ausgewertet werden können. Die Untersuchung des Torfkörpers kann nur im Labor erfolgen, während für die hydrologischen Untersuchungen aufwändige Apparaturen installiert und die Daten über einen längeren Zeitraum

gesammelt werden müssen. Der Zusammenhang der Untersuchungsaspekte wird mithilfe einer Abbildung (Folie 13) vom Ranger erläutert. Diese zeigt, dass die Hydrologie und die Gewässergüte Einfluss auf die Vegetation haben, in Abhängigkeit von den vorherrschenden Bedingungen bezüglich der Säure-Basen- und Nährstoffverhältnisse sowie des Wasserstands. Die Vegetation wiederum bestimmt die Torfeigenschaften, weil die Bildung von verschiedenen Torfarten von der Pflanzenzusammensetzung abhängig ist. Die Eigenschaften des Torfes beeinflussen ihrerseits den Wasserkörper, womit die wechselseitigen Beziehungen vollendet werden. Der Ranger erklärt zudem, dass die Veränderung eines Faktors Veränderungen bei allen anderen zur Folge hat. Die Untersuchung der Gewässergüte wird damit begründet, dass sich beispielsweise Verschmutzungen feststellen lassen oder welche Tier- und Pflanzenarten sich eignen, das Habitat zu nutzen (Folie 14). Zudem können zielgerichtete Revitalisierungsmaßnahmen entwickelt und eventuelle Stofffreisetzungen nach Wiedervernässung festgestellt werden. Die erhobenen Daten nach der Wiedervernässung können zur Interpretation mit Daten von entwässerten und natürlichen Mooren verglichen werden. Der Ranger rechtfertigt die Untersuchung der Vegetation mit der Argumentation, dass die chemisch-physikalischen Messergebnisse nur den momentanen Zustand wiedergeben und die Messungen lediglich an der jeweiligen Stelle der Probenentnahme gelten (Folie 15). Zudem können starke Regenfälle die Daten beeinflussen. Aus langfristiger Sicht erlaubt die Untersuchung der Vegetation Rückschlüsse zum Zustand des Moores, da sich Veränderungen nur langsam in der Zusammensetzung der Pflanzenarten widerspiegeln. Der Ranger betont, dass man die Untersuchungen stets zielgerichtet unternimmt und leitet damit zum wissenschaftlichen Arbeiten über (Folie 16). Auch hier können die Schüler unter Verwendung ihres Vorwissens die Schritte bei wissenschaftlichen Untersuchungen beitragen, die dann vom Ranger gegebenenfalls ergänzt werden können (Folie 17-19). Zunächst werden ausgehend von einem Phänomen oder Problem eine Forschungsfrage und dazugehörige Hypothesen gebildet, die es mit geeigneten Untersuchungen zu überprüfen gilt. Anhand der Hypothesenüberprüfung wird die Untersuchung geplant, wobei verschiedene Aspekte berücksichtigt werden müssen: Zum einen stellt sich die Frage, welche Parameter untersucht werden sollen und welche Hilfsmittel benötigt werden, um diese Parameter möglichst genau und eindeutig bestimmen zu können. Zum anderen muss die Art und Weise der Probenentnahme berücksichtigt

werden, um vergleichbare Werte erzielen zu können. Bezüglich der gewonnenen Daten muss im Vorfeld der Durchführung feststehen, wie und wo die Daten festgehalten werden. Ist die Planung abgeschlossen, können die Untersuchungen vor Ort durchgeführt und die Daten erhoben werden. Anschließend werden die gewonnenen Daten gesammelt, geordnet und mit zuvor erhobenen Daten oder Literaturwerten verglichen. Nach der Datenauswertung werden sie unter Einbezug der Hypothesen und der Forschungsfrage interpretiert. Die Forschungsfrage kann von den Schülern formuliert werden, die jedoch vom Ranger korrigiert bzw. vorgegeben werden muss, wenn sich die Fragen nicht im Rahmen des Umsetzbaren bewegen. Ein Beispiel für eine Forschungsfrage kann sein: In welchem Zustand befindet sich das Moor Ehlesbruch in Folge der Renaturierungsmaßnahmen? Als Hypothesen können folgende genannt werden:

- Das Moor befindet sich mittlerweile in einem guten Zustand.
- Das Moor befindet sich noch in einem schlechten Zustand.

Bevor die Untersuchung durchgeführt werden kann, müssen noch einige organisatorische Aspekte besprochen werden. Die Gruppeneinteilung sollte bereits aus zeitlichen Gründen im Vorfeld erfolgen, sodass am Tag der Exkursion lediglich die Aufgaben verteilt werden müssen. Nach Möglichkeit sollte jede Gruppe aus fünf Mitgliedern bestehen, wobei es in Abhängigkeit von der Schüleranzahl auch Viererteams möglich sind. Die Untersuchung erfolgt in Arbeitsteilung (Folie 20): Bei einer Gruppe mit fünf Schülern gibt es einen Gruppenleiter und jeweils zwei Experten für die Gewässeranalyse sowie Vegetationsaufnahme. Besteht die Gruppe nur aus vier Schülern, so gibt es jeweils zwei Experten, wobei die Aufgaben des Gruppenleiters von einem anderen Schüler übernommen werden müssen. Nach der Datenerhebung werden die Ergebnisse ausgewertet und für eine Gesamtauswertung ausgetauscht, um eine Schlussfolgerung ziehen sowie die Forschungsfrage beantworten zu können. Dies kann jedoch auch erst in der Schule erledigt werden. Die jeweiligen Aufgaben sind verschiedenen Arbeitsblättern zu entnehmen und werden nicht im Detail vorgestellt, sondern werden nur bei Fragen oder Unklarheiten besprochen. Der Ablauf ist wie folgt festgelegt und wird vom Ranger erläutert (Folie 21):

1. Nach der Besprechung erfolgt zunächst der Gang zu einer Blockhütte, die auf dem Weg zum Moor liegt. Dort bekommen die Schüler ihre Boxen mit den Arbeitsblättern und Materialien ausgehändigt und machen sich mit allem vertraut. Zudem können hier noch Fragen im Kurs geklärt werden.
2. Anschließend geht der Kurs zum Moor und kann das Gelände erkunden, bevor die Erarbeitungsphase beginnt.
3. Der Gruppenleiter entnimmt die Wasserprobe, führt die Messung des pH-Werts und der Temperatur durch und verortet den Standpunkt auf einer Karte.
4. Nach Übergabe der Probe an die für die Gewässeranalyse zuständigen Schüler und der Karte an die Schüler der Vegetationsaufnahme, erfolgen die Untersuchungen. Der Gruppenleiter unterstützt die Experten bei ihren Aufgaben.
5. Im Anschluss an die Datenerhebung wird aufgeräumt.
6. Befindet sich das Moor wieder in seinem ursprünglichen Zustand, kehrt der Kurs zum Hunsrück-Haus zurück.
7. Dort findet der Abschluss statt, bei dem die Schüler ihre Eindrücke und ihr Feedback mündlich mitteilen können. In Abhängigkeit von der verbliebenen Zeit können die Schüler mit ihrer Auswertung beginnen oder sich die Ausstellung im Hunsrück-Haus anschauen.
8. Die Rückkehr ist gegen 12:30 Uhr geplant.

Der Ranger erklärt, dass in den nachbereitenden Stunden in der Schule die Ergebnisse ausgewertet werden und zunächst der Austausch innerhalb der Gruppen erfolgt, um eine Gesamtauswertung für ihren Standort zu unternehmen (Folie 22). Im Anschluss werden alle Ergebnisse des Kurses gesammelt und verglichen, um die Forschungsfrage zu beantworten sowie die Hypothesen zu überprüfen. Außerdem sind auch die Fehlerdiskussion und die Aussagekraft der Ergebnisse nicht zu vernachlässigen, um die Untersuchungen zu reflektieren. Der Ranger weist als Abschluss noch auf die Sicherheit bei den Untersuchungen hin (Folie 23). Das Moor darf nicht betreten werden und soll auch so wieder verlassen werden, wie es vorgefunden wurde. Insbesondere bei der Gewässeranalyse müssen zum Schutz der Schüler und des Moores einige Sicherheitsaspekte berücksichtigt werden: Beim Umgang mit den Chemikalien müssen stets Schutzbrille und Handschuhe getragen werden. Zudem darf nur auf einer Unterlage in

Form eines Tablettts gearbeitet werden, damit keine Chemikalien in die Umwelt gelangen. Die Chemikalien dürfen nicht verzehrt und die Sicherheitshinweise auf den Chemikalienbehältern müssen beachtet werden. Sämtliche Abfälle werden in den entsprechenden Behältnissen entsorgt. Eine Gefährdungsbeurteilung (Anhang 5.16) zu den Chemikalien befindet sich in den Analyseköffern. Sollten keine Fragen mehr bestehen, begibt sich der Kurs zurück zur Blockhütte.

Dort werden die Boxen mit den Materialien (Anhang 5.13) und den Arbeitsblättern verteilt. Je nach Anzahl der Gruppen müssen die Chemikalien geteilt werden, da nur drei Reagenziensätze vorhanden sind. Die Schüler sollen sich mit den Materialien und den Arbeitsaufträgen vertraut machen und können an dieser Stelle Fragen klären. Pro Gruppe werden zwei Protokolle (Anhang 5.4, Anhang 5.7) angefertigt, auf denen die Daten zum Untersuchungsort sowie die Datenerhebungen der Untersuchungen festgehalten werden. Jeder Experte erhält die Arbeitsaufträge mit der Durchführung der Untersuchung sowie Hinweisen zur Auswertung (Anhang 5.5, Anhang 5.8). Außerdem erhalten sie Informationsmaterial mit Tabellen und Hintergrundwissen, was für die Auswertung und Interpretation von Wichtigkeit ist. Da sich der Gruppenleiter mit beiden Untersuchungen vertraut machen und die Experten unterstützen soll, erhält er die Informationsmaterialien sowohl für die Gewässer- als auch für die Vegetationsuntersuchung. Des Weiteren erhält er ein Arbeitsblatt mit seinen Arbeitsaufträgen und Hinweisen zur Probeentnahme (Anhang 5.3) Bestehen keine Fragen mehr, begibt der Kurs zum Moor und kann das Gelände erkunden, wobei dies von den Begebenheiten vor Ort abhängig ist. Um die Sicherheit der Schüler zu gewährleisten, müssen rutschige Stellen auf dem Steg gemieden werden. Die Stellen zur Probeentnahme können selbst ausgesucht oder bei schwierigeren Verhältnissen (beispielsweise bei zu hoher Vegetation, zu wenig Oberflächenwasser) vom Ranger vorgegeben werden. Gegebenenfalls muss der Kurs aufgeteilt werden, wobei aus Sicherheitsgründen die Gruppen in Sichtweite eines Rangers oder der Lehrkraft sein müssen. Die Erarbeitungsphase wird durch den Gruppenleiter eingeleitet, der eine geeignete Stelle zur Probenentnahme sucht oder vom Ranger zugewiesen bekommt. Der Standort wird auf einer Karte verzeichnet, was für die Auswertung im Kurs von Bedeutung ist. Er ergänzt die erste Tabelle auf dem Protokoll zur Gewässergüte mit Angaben zum Gewässer, der Probestelle, Da-

tum/Uhrzeit, Witterung, Gruppennummer, Höhe und kreuzt an, ob es sich um Oberflächen-, Grund- oder Bodenwasser handelt. Anschließend entnimmt er die Wasserprobe und misst sofort die Temperatur mit einem Thermometer, die ebenfalls auf dem Protokoll vermerkt wird. Zudem wird der pH-Wert mit pH-Papier gemessen, wobei auch dieser Wert auf dem Protokoll eingetragen wird. Die Probe wird zügig den Gruppenmitgliedern der Gewässeranalyse übergeben. Den Schülern der Vegetationsaufnahme wird die Karte überbracht (Anhang 5.12), damit sie an dem Standort die Pflanzenarten bestimmen können. Der Gruppenleiter unterstützt die anderen Gruppenmitglieder während der Untersuchungen.

Die Gewässeruntersuchung erfolgt mithilfe von Umweltkoffern und Reagenzien-Testsets. Den Schülern stehen zwei Umweltkoffer zur Verfügung sowie drei Boxen, in denen die benötigten Materialien separat nachbestellt worden sind. Die Wasserprobe muss zunächst gefiltert werden, bevor die chemische Untersuchung erfolgt. Es werden die Gehalte an Phosphat, Nitrat, Ammonium, Nitrit und die Gesamthärte mithilfe von Analysereagenzien und einer Farbkarte (Anhang 5.15) bestimmt, wobei die Durchführungen der einzelnen Untersuchungen auf einem Arbeitsblatt festgehalten sind. Mit der Farbkarte können die aufbereitenden Proben abgeglichen werden, um den Gehalt der Parameter zu bestimmen. Die Reihenfolge ist beliebig, zumal sich die Schüler bei mehr als drei Gruppen die Reagenzien teilen müssen. Alle Werte werden auf dem Protokoll zur Gewässergüte festgehalten, wobei der Anteil an Stickstoff und Phosphor in den jeweiligen Verbindungen umgerechnet werden muss. Die Auswertung erfolgt mithilfe von Tabellen und Erklärungen zur ökologischen Bedeutung der chemisch-physikalischen Parameter (Anhang 5.6), die jedoch auch in der Schule erfolgen kann. Von großer Bedeutung ist der sorgsame Umgang mit den Chemikalien, damit diese zum einen nicht in die Umwelt gelangen und zum anderen nicht die Sicherheit der Schüler gefährden. Nach Beendigung der Analyse müssen die Chemikalien in entsprechenden Kanistern entsorgt werden, die später in den Abfluss gegeben werden können. Die Materialien werden mit destilliertem Wasser gereinigt und trocken gerieben, bevor sie wieder in den Boxen verstaut werden. Eine Liste für jede Box dient zur Kontrolle, ob alle Materialien wieder ordnungsgemäß verstaut worden sind. Nach Möglichkeit sollen die Schüler zur besseren Übersicht für den Ranger und die Lehrkraft die

Untersuchung an einem Standort neben dem Moor durchführen. Einerseits wird die Klärung von Problemen erleichtert, andererseits müssen die Chemikalien je nach Gruppenanzahl ausgetauscht werden.

Den Schülern stehen für die Vegetationsaufnahme die Durchführung und die Bedeutung der Zeigerwerte nach Ellenberg inklusive einer Tabelle mit der Bedeutung der Zahlen sowie einer Tabelle mit den Werten möglicher im Moor vorkommenden Pflanzenarten zur Verfügung. Für die Pflanzenbestimmung bekommen die Schüler ein Poster von der Stiftung für Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz mit den im Moor vorkommenden Pflanzenarten (Anhang 5.10) sowie einem Ergänzungsblatt mit weiteren Pflanzenarten ausgehändigt (Anhang 5.11). Ein Arbeitsblatt mit Hintergrundinformationen und Beschreibungen zum Erscheinungsbild der Pflanzen sollen die Artbestimmung unterstützen (Anhang 5.9). Sollten Arten gefunden werden, die nicht aufgelistet sind, stehen beim Ranger weitere Bestimmungsbücher zur Verfügung. Für die Vegetationsaufnahme muss zunächst die Untersuchungsfläche abgesteckt werden. Ausgehend von der Entnahmestelle der Wasserprobe werden mit einem Zollstock entlang des Stegs jeweils 2,5 m nach rechts und links abgemessen und die Endpunkte mit Kreppband auf dem Steg markiert. Sollte die Untersuchung nicht auf dem Steg erfolgen, können kleine Äste oder Ähnliches zur Markierung verwendet werden. Ausgehend von diesen Endpunkten wird 1 m ins Moor abgemessen. Da das Moor nicht betreten werden darf, müssen sich die Schüler einen Anhaltspunkt aussuchen, der diesen Punkt markiert. Die Untersuchungsfläche wird mit einem Smartphone abfotografiert. Auf dem Protokoll zur Vegetationsaufnahme werden die Angaben zur Probestelle, Datum/Uhrzeit, Gruppennummer, Lichtverhältnisse, Hangneigung und Flächengröße ergänzt. Als nächstes wird die Tabelle zur Schichtung ausgefüllt. Hierfür werden die Höhe in m und die Deckung in % der Baum-, Strauch-, Kraut- und Moosschicht gemessen bzw. geschätzt. Mithilfe der Bestimmungshilfen benennen die Schüler alle in ihrer Untersuchungsfläche vorkommenden Pflanzenarten und tragen diese getrennt nach Pflanzenschicht in einer Tabelle auf dem Protokoll ein. Zudem muss die Artmächtigkeit geschätzt werden, wobei die Symbole der Deckungszahlen dem Arbeitsblatt zur Durchführung der Vegetationsaufnahme zu entnehmen sind. Sind alle Pflanzenarten bestimmt, so werden die Zeigerwerte für Licht, Feuchtigkeit, Nährstoff- und Säure-Basen-

Verhältnisse in den entsprechenden Spalten eingetragen. Die weitere Auswertung kann in Abhängigkeit der verfügbaren Zeit noch vor Ort oder in den nachbereitenden Stunden in der Schule erfolgen. Für die quantitative Auswertung wird jeder Zeigerwert mit der Artmächtigkeit multipliziert und anschließend die Summe aus den Produkten gebildet. Diese werden durch die Summe der Artmächtigkeiten dividiert, um die mittleren Zeigerwerte zu erhalten. Mit diesen Zahlen kann der Standort charakterisiert werden. Problematisch ist der Umgang mit den Torfmoosen, weil diese ohne Mikroskop nicht bis zur Art bestimmt werden können. Sie werden bei der Zeigerwert-Analyse nicht berücksichtigt, da sich die einzelnen Arten mitunter sehr in ihren Werten unterscheiden. Daher sollen die Hintergrundinformationen zu den Pflanzenarten in der Auswertung berücksichtigt werden. Zudem sollen die Schüler Arten identifizieren, die auf Störungen hinweisen sowie Rückschlüsse auf die Nährstoff- und Säure-Basen-Verhältnisse machen. Sollten Arten gefunden werden, deren Zeigerwerte nicht in der Tabelle aufgelistet sind, können diese im Internet recherchiert werden. Nach Beendigung der Pflanzenbestimmung werden die Markierungspunkte wieder entfernt und die Materialien in die Boxen einsortiert.

Nachdem das Moor wieder so verlassen wird, wie es vorgefunden wurde, kehrt der Kurs zum Hunsrück-Haus zurück. Die Schüler können eine kurze Pause machen, bevor sie in der Abschlussrunde ihre Eindrücke und Meinungen zum Projekt mündlich durch die Blitzlicht-Methode mitteilen können. Wenn noch Zeit vorhanden ist, können sie sich die Ausstellung zum Nationalpark im Hunsrück-Haus anschauen. Ansonsten kehren die Schüler wieder in die Schule zurück. Für den Fall, dass eine Gruppe besonders schnell ist, können sie bereits mit ihrer Auswertung und gegebenenfalls dem Austausch innerhalb der Gruppen beginnen.

3.4.3 Didaktik

Der Schwerpunkt der Exkursion ist die Vermittlung zweier Methoden zur Untersuchung eines Moores, wobei diese auch in abgewandelter Form für andere Biotoptypen angewendet werden können. Zudem sollen die Schüler mit dieser Untersuchung das allgemeine Vorgehen bei wissenschaftlichen Forschungen im naturwissenschaftlichen Be-

reich kennenlernen. Die verwendeten Methoden sind zum einen die Gewässergüte, also die chemisch-physikalische Untersuchung des Moorwassers sowie zum anderen die Vegetationsaufnahme und Zeigerwertanalyse nach Ellenberg. Als alternative Methode können hydrologische Untersuchungen erfolgen, wie beispielsweise die Messung der Wasserstände, Durchflussmengen, Niederschläge und Verdunstung. Problematisch ist jedoch die technische Umsetzung, weil teure Geräte vonnöten sind und deren Installation unter Umständen mit Richtlinien des Nationalparks in Konflikt treten kann. Eine weitere Methode stellt die chemisch-physikalische Untersuchung des Torfkörpers dar. Allerdings können aufgrund der besonderen Schutzbedürftigkeit im Nationalpark keine Bodenproben entnommen werden. Des Weiteren können diese nur im Labor bzw. in der Schule untersucht werden, wenn die Ausstattung vorhanden ist. Zur Auswertung der Vegetationsaufnahme werden die Zeigerwerte nach Ellenberg herangezogen, um den Standort zu charakterisieren, wobei als alternative Methode die Aufstellung von Pflanzengesellschaften nach Braun-Blanquet angewendet werden kann. Jedoch ist dies bei der Auswertung sehr komplex und erfordert viele Materialien, um die Arten in Tabellen zu gruppieren und in die Systematik der Pflanzensoziologie einzuordnen. Daher wird auf eine Durchführung dieser Methode verzichtet. Zudem bietet sich die Möglichkeit nur die Gewässergüte oder die Vegetationsaufnahme durchzuführen, um die Schüler nicht zu überfordern. Problematisch ist allerdings, dass die chemisch-physikalischen Parameter nur begrenzt gültig und stark von den momentanen Begebenheiten abhängig sind, wodurch die Daten verfälscht werden können. Bei der Vegetationsaufnahme und Zeigerwertanalyse können zwar langfristig Rückschlüsse auf die abiotischen Faktoren geschlossen, aber keine konkreten Ursachen möglicher Belastungen ermittelt werden. Im Zusammenhang mit der Umweltbildung wird den Schülern durch den Besuch des ALOs ein affektiver Zugang ermöglicht, der neben Umweltwissen eine weitere Voraussetzung für die Entwicklung von Umweltverhalten ist. Zudem erfahren die Schüler unmittelbar die Folgen der Entwässerung am Untersuchungsort sowie die Umsetzung der Renaturierungsmaßnahmen.

Um den Schülern einen Zugang zur Mooruntersuchung zu ermöglichen, wird der aktuelle Zustand der Moore in Deutschland fokussiert. Hierbei sollen die Schüler einerseits mit der zunehmenden Zerstörung konfrontiert werden, andererseits sollen sie sich die

Frage stellen, warum Moore überhaupt schützenswert sind. Überraschend kann für die Schüler sein, dass nur noch ein Bruchteil der ursprünglichen Moore Deutschlands existiert, obwohl diese wichtige Ökosystemdienstleistungen erfüllen. Um das Lernbedürfnis der Schüler zu wecken, stellen sich die Fragen, wie der Zustand eines Moores erfasst werden kann und was sie auch selbst vor Ort durchführen können. Spannend an dem Lerngegenstand ist, dass die Schüler ein Moor untersuchen, das im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen wiedervernässt worden ist und sie mithilfe ihrer Untersuchung Aussagen über den Zustand des Moores treffen können. Dies knüpft an das Interesse der Schüler an, selbst praktische Arbeiten durchführen und das wissenschaftliche Arbeiten nachempfinden zu können. Da die Gewässergüte und die Vegetationsaufnahme zur Untersuchung des Zustands des Moores vor allem in der Vorbereitung sehr aufwändig sind, können die Schüler nicht an der Unterrichtsplanung beteiligt werden.

Die größten Schwierigkeiten beim wissenschaftlichen Arbeiten bestehen bei der Vielzahl und der Stimmigkeit der Schritte in Bezug auf die Forschungsfrage. Zudem sind die Untersuchungsmethoden den Schülern in der Regel noch nicht bekannt, sodass auch Probleme im psychomotorischen Bereich auftreten können. Da viele Daten erhoben werden, müssen sie zunächst gesammelt und geordnet werden, bevor sie zur Auswertung, Interpretation und dem Rückbezug zur Forschungsfrage herangezogen werden können. Auch diese Schritte können die Schüler vor Schwierigkeiten stellen. Angesichts dieser Herausforderungen werden aus didaktischen und organisatorischen Gründen die Forschungsfrage sowie die Planung der Durchführung vorgegeben und die Auswertung sowie Interpretation der Daten in den nachfolgenden Unterricht verlagert. Demzufolge müssen sich die Schüler lediglich mit der Durchführung der Untersuchung vor Ort und der Protokollation der Daten auseinandersetzen. Sollten diese jedoch vor dem vereinbarten Ende erhoben worden sein, kann als Puffer bereits mit der Datenauswertung begonnen werden.

Bezüglich der Informationen über das Untersuchungsgebiet werden die Schüler lediglich darüber aufgeklärt, dass das Moor wiedervernässt worden ist, weil ursprünglich ein Entwässerungsgraben das gesamte Wasser aus dem Moor abgeführt hat. Auch wenn die Gesteine Einfluss auf die Nährstoffverhältnisse haben, werden diese aus didaktischen Gründen vernachlässigt, um die Kompliziertheit des Lerngegenstands zu

verringern und den Zugang zu erleichtern. Ebenso müssen Aspekte bei der Gewässergüte für das bessere Verständnis didaktisch reduziert werden: Die durch vermehrte Nährstofffreisetzung bedingte Vegetationsänderung wird generalisiert dargestellt, ohne Details über die neue Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft und die ausgelösten Prozesse zu erörtern. Zudem werden die Mikroorganismen, die an den Umwandelungsschritten im Stickstoffkreislauf beteiligt sind, nicht differenziert, um die Schüler angesichts der Anzahl an Fachbegriffen nicht zu überfordern. Ebenso werden die chemischen Reaktionen, die im Stickstoffkreislauf stattfinden, nur auf qualitativer Ebene und demzufolge ohne Verwendung von Reaktionsgleichungen beschrieben. Andernfalls kann dies zu einer Überforderung der Schüler führen. Gleichzeitig stellt dieser Aspekt nicht den Schwerpunkt der Exkursion dar. Die Unterschiede der Gewässergüte im Aktrotelm und Katotelm werden vernachlässigt, weil dazu Kenntnisse zu den Bedingungen innerhalb der Schichten notwendig sind und die Schüler Daten von zwei verschiedenen Schichten auswerten und interpretieren müssen. Es stellt jedoch bereits für die Schüler eine Herausforderung dar, die Auswertung und Interpretation von einem Datensatz vorzunehmen, weshalb ein weiterer aus einer anderen Schicht zu Problemen führen kann. Die Anzahl der Zeigerwerte nach Ellenberg werden aus folgenden Gründen auf die Lichtzahl, Reaktionszahl, Feuchtezahl und Stickstoffzahl reduziert: Die bei Ellenberg ebenfalls aufgeführte Kontinentalitäts- und Salzzahl werden vernachlässigt, weil sie nicht im Zusammenhang mit der Forschungsfrage stehen und daher nicht relevant für die Auswertung sind. Zwar wird bei der Gewässergüte die Temperatur bestimmt, dennoch steht sie nicht im Fokus der Untersuchung, weshalb die Temperaturzahl nach Ellenberg unberücksichtigt wird. Die Reaktions- und Stickstoffzahl werden auch bei der Gewässergüte mittels pH-Wert und anorganischen Stickstoff bestimmt und dienen daher als Vergleich, ob deren Messung in der Vegetation widerspiegelt und gegebenenfalls Fehlerbetrachtungen vorgenommen werden müssen. Messungen bezüglich des Wasserstands sind aus technischen Gründen nicht möglich, aber von großer Bedeutung für den Zustand eines Moores, sodass mit der Feuchtezahl Aussagen über die Wasserverhältnisse getroffen werden können.

Die Schüler sollen mindestens behalten, dass der Zustand eines Moores mithilfe der Gewässergüte und Vegetationsaufnahme erfasst kann. Zudem sollen sie wissen, wie

die beiden im Ökosystem zusammenhängen und warum beide angewendet werden, um aussagekräftige Daten erheben zu können. Die Schüler sollen auch die Vorgehensweise beim wissenschaftlichen Arbeiten ebenso wie die generelle Durchführung einer der beiden Methoden nachvollziehen und wiedergeben können. Neben Fachwissen und fachgemäßen Arbeitsweisen sollen sie Moore als besondere, schützenswerte Ökosysteme wertschätzen. Da die Protokolle und Hintergrundinformationen als gemeinsame Plattform für die Weiterarbeit dienen, besteht die einzige Hausaufgabe darin, diese Materialien in der nächsten Stunde mitzubringen.

3.4.4 Methodik

Der Unterricht weist in verschiedenen Phasen unterschiedliche Unterrichtsformen auf. In der ersten Einstiegsphase wird mit der darbietenden Form mit fragend-entwickelnden Zügen eine lehrerzentrierte Unterrichtsform angewendet. Hierbei erfolgt ein Expertenvortrag durch einen Ranger des Nationalparks, der die Exkursion leitet. Die Schüler werden durch diesen Vortrag, der mithilfe einer PPP visuell unterstützt wird, inhaltlich auf den Anlass der Mooruntersuchung vorbereitet. Des Weiteren sollen sie über die Zusammenhänge zwischen der Zerstörung der Moore, der Leistungen dieser Ökosysteme und den Maßnahmen zu deren Schutz informiert werden. Vorteilhaft bei dieser Methode, dass viele Informationen in kurzer Zeit vermittelt werden können, um den Schülern einen Überblick über die komplexen Zusammenhänge zwischen Zerstörung, Leistungen, Schutz der Moore und Problemen bei der Renaturierung zu geben. Da diese Themen in der Nachbereitung nochmals selbstständig erarbeitet werden, haben sie bereits eine kurze Zusammenfassung dazu erhalten. Um die Schüler dennoch in diese einführende Unterrichtsphase einzubeziehen, sollen Fragen durch den Ranger den Vortrag interessanter gestalten, weil die Schüler ihre Vorkenntnisse oder Vermutungen äußern können. So können sie bei den Gründen, warum Moore geschützt werden, selbstständig mitarbeiten.

Die von dem Ranger vorgetragene Information, dass das Moor renaturiert worden ist, leitet zur ersten Erarbeitungsphase über, die durch diesen Erkenntnisschritt didaktisch festgelegt ist. In diesem Zusammenhang stellt sich die Forschungsfrage, in welchem

Zustand sich das Moor nach der Wiedervernässung befindet. Die Schüler können selbstständig mitarbeiten, indem sie verschiedene Methoden zur Untersuchung des Moores vorschlagen. Da nicht jede Methode im Nationalpark umgesetzt werden kann, werden sie vom Ranger darüber informiert, wieso eine Methode nicht angewendet werden kann und warum die Gewässergüte und Vegetationsaufnahme durchgeführt werden. Die Schritte beim wissenschaftlichen Arbeiten werden auch mit den Schülern erarbeitet, denn diese sind weitgehend aus der Schule durch das Experimentieren bekannt. Zudem können sie die Hypothesen selbst formulieren, wobei durch den Ranger eine stärkere Lenkung erforderlich ist, wenn diese im Rahmen der Exkursion nicht überprüfbar sind. Mit den Erkenntnissen zum wissenschaftlichen Arbeiten und welche Methoden durchgeführt werden, wird zur ersten Sicherungsphase übergeleitet, in der im Wesentlichen die Aufgaben und der weitere Ablauf durch den Ranger präsentiert werden. Um an dieser Stelle nicht zu viel Zeit zu verlieren, erfolgen diese Aspekte und Informationen über den Umgang mit Chemikalien durch den Ranger als Vortrag.

Der zweite Einstieg erfolgt nach der Verteilung der Materialien durch die Erkundung des Moores, um einen Überblick über das Gelände zu bekommen. Da die Arbeitsaufträge auf Arbeitsblättern vermerkt sind, können die Schüler anschließend direkt mit der Untersuchung des Moores beginnen, was die gesamte Erarbeitungsphase einnimmt. In dieser Phase wird mit der arbeitsteiligen Gruppenarbeit eine schülerzentrierte Sozialform angewendet, bei der der Ranger und die begleitende Lehrkraft nur als Berater zur Verfügung stehen. Die Arbeitsteilung wird angewendet, weil beide Methoden viel Zeit beanspruchen und die Schüler durch die Vielzahl an Informationen überfordert werden können. Daher sollen sie sich intensiv mit einer Methode beschäftigen, um Fehler durch Überforderung zu vermeiden und gleichzeitig ihre Kommunikationskompetenz zu schulen, weil sie ihre Erkenntnisse mit ihren Gruppenmitgliedern austauschen müssen. Für jede Untersuchungsmethode sind zwei Schüler pro Gruppe zuständig, wobei der Gruppenleiter bei Fünfergruppen als Unterstützer hilft und sich mit beiden Methoden auseinandersetzen muss. Zudem ist er für die Probenentnahme, die Messung der Temperatur und des pH-Werts der Wasserprobe zuständig.

Den Experten der Gewässergüte stehen Schutzbrillen und -handschuhe sowie zwei Analyseboxen oder drei Boxen mit den benötigten Materialien zur Verfügung. Sie ent-

halten die Analysereagenzien, die ohne Pipetten direkt oder bei Feststoffen mit kleinen Löffeln in die Untersuchungsgefäße getropft bzw. überführt werden. Auch wenn bei einigen Chemikalien ein gewisses Gefahrenpotential besteht und die Untersuchungen im Freiland vorgenommen werden, so wird eine unabsichtliche Freisetzung der Reagenzien durch die Konstruktion ihrer Behältnisse verhindert. Diese sind mit einer Tropfvorrichtung versehen, weshalb nur bei Zusammendrücken des Behältnisses wenige Tropfen der Chemikalie austreten. Der Analysebox kann bereits ab der vierten Klasse verwendet werden, weshalb Oberstufenschüler keine Probleme hinsichtlich des Umgangs mit den Chemikalien aufweisen sollten. Zusammen mit der Schutzbrille und den -handschuhen wird das Gefahrenpotential minimiert. In den Boxen bzw. den Koffern sind neben einem Messbecher zur Entnahme der Wasserprobe auch ein Trichter und Filterpapier enthalten, denn die Wasserproben dürfen zur Vermeidung von Verfälschungen keine Trübungen haben. Die Konzentrationen werden mithilfe einer Farbkarte bestimmt, weil jede Nachweisreaktion bei verschiedenen Konzentrationen unterschiedliche farbliche Abstufungen aufweist. Somit können im Freiland schnell und ohne großen Aufwand die Konzentrationen von Phosphat, Nitrat, Nitrit und Ammonium sowie die Gesamthärte bestimmt werden. Hierfür müssen die Reaktionsgefäße lediglich auf die Farbkarte gestellt werden, sodass beim Vergleich mit den farblichen Abstufungen die Konzentrationen ermittelt werden. Zwar ist diese Methode nicht so exakt wie jene, welche in Kapitel 2.3 aufgeführt wurden, kann aber schnell und ohne aufwändige Apparaturen im Freiland durchgeführt werden. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt nicht auf der Exaktheit der Ergebnisse wie es für wissenschaftliche Untersuchungen notwendig ist. Zudem müssen die Schüler für diese Methoden Kompetenzen in der analytischen Chemie besitzen, weshalb unter Berücksichtigung der vermuteten Fähigkeiten auf eine Exaktheit der Ergebnisse verzichtet und eine für Schüler angepasste Methode durchgeführt wird. Da der pH-Wert mit den vorgesehenen Reagenzien nur sehr grob gemessen werden kann, erfolgt die Messung mithilfe von pH-Papier mit kleinen Abstufungen. Die Schüler erhalten ein Arbeitsblatt mit den Aufgaben sowie mit Material- und Chemikalienlisten und der Durchführung der einzelnen Analysen. Für jede Chemikalie sind zudem die Gefahrenpiktogramme aufgeführt, um auf das Gefahrenpotential aufmerksam zu machen. Die Analysen sind so konzipiert, dass selbst Schüler mit wenigen Kenntnissen zu chemischen Arbeitstechniken die Untersuchung durch-

führen können. Nachteilig ist jedoch die subjektive Einschätzung der Farbigkeit, die von Person zu Person abweichen kann. Die erhobenen Daten werden auf einem weiteren Arbeitsblatt in einer Tabelle protokolliert, auf dem auch die Auswertung erfolgt. Dies stellt die gemeinsame Plattform für die Weiterarbeit dar und dient als Sicherung der Ergebnisse. Für die Auswertung, die in Abhängigkeit vom Arbeitstempo auch schon vor Ort erfolgen kann, erhalten die Schüler ein Informationsblatt mit Tabellen und Texten über die einzelnen Parameter mit Bezug zu den Mooren. Da es keine Bewertungsstufen speziell für Moore gibt, müssen diese von Fließgewässern herangezogen werden, sodass diese Werte nur unter Vorbehalt gelten. Aus diesem Grund sind die Informationstexte ergänzt worden, weil diese die Besonderheiten in Mooren berücksichtigen. Für die Auswertung sind auf dem Arbeitsblatt mit der Durchführung mehrere Leitfragen festgehalten, an denen sich die Schüler orientieren können.

Die Experten der Vegetationsaufnahme erhalten ein Arbeitsblatt mit den Arbeitsaufträgen und der Durchführung ihrer Untersuchungsmethode. Um die Untersuchungsfläche abzumessen und abzustecken, erhalten sie einen Zollstock sowie Kreppband, falls sie entlang des Stegs arbeiten. Ansonsten müssen sie kleine Äste verwenden, um ihre Flächengrenzen zu markieren. Da die Schüler die Pflanzen in ihrer Untersuchungsfläche bestimmen müssen, erhalten sie ein Poster von der Stiftung für Natur und Umwelt mit Abbildungen der in Rheinland-Pfalz vorkommenden Moorpflanzen und ein Ergänzungsblatt mit Abbildungen zu weiteren Pflanzenarten, die nicht auf dem Poster dargestellt sind. Zudem dienen kurze Beschreibungen auf einem separaten Informationsblatt als Hilfe, sollten die Schüler die Pflanze nicht über die Abbildung bestimmen können. Des Weiteren sind die bevorzugten Standorte in Bezug auf die Feuchtigkeits-, Säure-Basen- und Nährstoffverhältnisse aufgeführt. Ein wesentlicher Vorteil der Begrenzung der möglichen Arten liegt darin, dass die Schüler nicht überfordert sind, wenn sie mithilfe von Bestimmungsschlüsseln die Pflanzenarten ermitteln sollen. Bei der Verwendung von dichotomen Bestimmungsschlüsseln sind Kenntnisse zur Fachsprache und zum Bau der Pflanzen ebenso unverzichtbar wie eigene Übungseinheiten. Zudem sind in Mooren häufig Gräser vertreten, die aufgrund ihrer kleinen Strukturen das eindeutige Bestimmen erschweren. Müssen die Schüler die Pflanzen aus wenigen vorgeschlagenen Arten auswählen, sind sie weniger überfordert. Der Einsatz eines dichoto-

men Bestimmungsschlüssels kann vom eigentlichen Lernziel ablenken. Dennoch besteht die Gefahr, dass eine Art falsch bestimmt wird, weil sie nicht in der Bestimmungshilfe aufgeführt ist. Aus diesem Grund steht den Schülern zum einen der Ranger mit seinen Artenkenntnissen zur Verfügung. Zum anderen können sie in Bestimmungsbüchern speziell nach der Pflanze suchen. Da der inhaltliche Schwerpunkt der Exkursion nicht die Artbestimmung ist, sondern für die Zeigerwertanalyse angewendet werden muss, wird daher der Umfang der Bestimmungshilfen didaktisch reduziert. Die gefundenen Pflanzenarten werden auf einem Protokoll in einer Tabelle festgehalten, in der auch die Zeigerwerte nach Ellenberg eingetragen werden. Dieses Protokoll dient als Sicherung und zugleich als gemeinsame Plattform für die Weiterarbeit. Um die Fülle an Materialien bezüglich der Zeigerwerte zu reduzieren, sind ebenfalls nur die in den Bestimmungshilfen aufgeführten Arten in einer Tabelle zusammengetragen. Falls eine nicht aufgeführte Art gefunden worden ist, können die Schüler im Internet nach den entsprechenden Werten recherchieren. Neben der Tabelle ist zudem die Bedeutung der Zeigerwerte erläutert, da dies für die Interpretation von Wichtigkeit ist. Die Schüler erhalten die Materialien zur Zeigerwertanalyse deshalb schon vor Ort, falls sie vor Ende der Erarbeitungsphase alle Pflanzen bestimmt haben. Problematisch gestaltet sich die Bestimmung der Torfmoose, die ohne Mikroskop und Erfahrung nicht möglich ist. Die Zeigerwerte unterscheiden sich mitunter sehr stark, sodass keine Generalisierung erfolgen kann und die Torfmoose aus diesem Grund bei der Zeigerwertanalyse nicht berücksichtigt werden.

Der Gruppenleiter erhält neben einem separaten Arbeitsauftrag auch die Materialien der Gewässergüte und Vegetationsaufnahme, die für die Auswertung von Bedeutung sind. Er unterstützt seine Gruppenmitglieder und hat einen Überblick über beide Untersuchungen, sodass er bei der Auswertung die Einzelergebnisse besser in Beziehung setzen kann. Eine separate Sicherungsphase erfolgt nicht, weil die Schüler ihre Ergebnisse während der Erarbeitungsphase auf den Protokollen festhalten.

3.5 Nachbereitende Stunden

3.5.1 Auswertung der Exkursion

3.5.1.1 Lernziele und Kompetenzen

Lernziele: Die Schüler...

- ... erläutern ihre Untersuchungsergebnisse den Gruppenmitgliedern unter Zuhilfenahme ihrer Protokolle. (kognitiv)
- ... interpretieren die Ergebnisse der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme mithilfe der Erkenntnisse ihrer Gruppenarbeit und unter Verwendung von Leitfragen auf einem Arbeitsblatt. (kognitiv)
- ... diskutieren die gesammelten Ergebnisse unter Verwendung von Tabellen/Diagrammen und unter Berücksichtigung möglicher Fehlerquellen. (kognitiv)

Kompetenzen: Die Schüler...

- ... analysieren das Ökosystem Moor mithilfe der Ergebnisse der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme. (fachspezifische Methoden)
- ... nehmen Fehlerbetrachtungen bei biologischen Untersuchungen exemplarisch für die Gewässergüte und die Vegetationsaufnahme vor. (naturwissenschaftliche Methoden)
- ... wenden Fachsprache der biologischen Untersuchungsmethoden angemessen an. (Kommunikation)

3.5.1.2 Verlauf

Anknüpfend an die vorangegangene Exkursion zeigt die Lehrperson erneut den Ablauf beim wissenschaftlichen Arbeiten, um die erledigten Punkte (1-5) sowie die Forschungsfrage und die Hypothesen ins Gedächtnis zu rufen (Anhang 6.1, Folie 2-4). Die noch ausstehenden Aspekte sind die Auswertung und Interpretation der erhobenen Daten sowie der Rückbezug zur Forschungsfrage und den Hypothesen. Der Arbeitsauftrag wird von der Lehrperson visualisiert (Folie 5): Falls die Auswertung durch die Ex-

perten noch nicht während der Exkursion erfolgt ist, so stellt dies die erste Phase in der Erarbeitung dar. Anschließend erfolgen in der zweiten Phase der Austausch der Ergebnisse und die Auswertung innerhalb der Gruppen. Zudem werden die Daten von einzelnen Mitgliedern der Gruppen am Lehrer-Computer in vorgefertigte Tabellen eingetragen, was zum Vergleich der Ergebnisse zwischen den Gruppen in der Sicherungsphase dient.

Die Auswertung der Gewässergüte und Vegetationsaufnahme ist in Kapitel 3.4.2 erläutert. Die Gruppen tauschen in der Erarbeitungsphase die Ergebnisse aus und interpretieren diese, um die Forschungsfrage sowie die Hypothesen für ihren Standort beantworten zu können. Hierfür erhalten die Schüler ein Arbeitsblatt, auf dem Leitfragen für die Auswertung aufgelistet sind. Die Schüler sollen mithilfe des pH-Werts und der Stickstoffgehalte ihren Standort einem ökologischen Moortypen zuordnen. Zusätzlich soll der Standort mithilfe der mittleren quantitativen Zeigerwerte charakterisiert und mit den pH-Werten und Stickstoffgehalten verglichen werden. Somit können die Schüler überprüfen, ob sich die Werte der Gewässergüte mit den Resultaten der Vegetationsaufnahme decken. Dies ist wichtig, weil die chemisch-physikalischen Parameter nur den aktuellen Zustand wiedergeben und beispielsweise durch starke Regenfälle beeinflusst werden. Des Weiteren sollen Belastungen mithilfe der Gewässergüte festgestellt werden, die sich auch in der Vegetation widerspiegeln. Von Bedeutung ist auch die Reflexion der Untersuchung und der Vorgehensweise, da stets Fehler auftreten können, die in unterschiedlichem Ausmaß die Ergebnisse beeinflussen. Die Lehrperson steht bei Fragen zur Verfügung, hält sich aber ansonsten im Hintergrund. Nach Eintragung aller Daten in die Excel-Tabelle muss sie gegebenenfalls die Darstellung der Diagramme anpassen.

In der Sicherungsphase können Probleme und Fragen angesprochen werden, bevor die Daten mithilfe von Excel visualisiert werden. Zur Sicherung der Gesamtauswertung erhalten die Schüler ein Arbeitsblatt, auf dem sie die Forschungsfrage und Hypothesen eintragen sollen. Die in Excel festgehaltenen Ergebnisse erhalten die Schüler in ausgedruckter Form in der nachfolgenden Stunde. Zunächst sollen die Schüler die Diagramme und Tabellen beschreiben und anschließend die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen miteinander vergleichen. Mithilfe der ermittelten pH-Werte und dem be-

rechneten Gehalt an anorganischem Stickstoff (der organische Stickstoff wurde nicht bestimmt) soll näherungsweise der ökologische Moortyp der Untersuchungsgebiets bestimmt werden. Außerdem sollen Belastungen durch die Ergebnisse der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme bestimmt und mögliche Ursachen genannt werden. Da Moore empfindlich auf einen gestörten Wasserhaushalt reagieren und der Wasserpegel bei der Untersuchung nicht gemessen worden ist, können daher nur mithilfe der Vegetationsaufnahme auf Störungen dieser Art geschlossen werden. Zudem sollen sie beurteilen, ob die Ergebnisse der Gewässergüte sich in der Vegetation widerspiegeln und mögliche Fehlerquellen diskutieren. Die Lehrperson sollte in diesem Zusammenhang darauf hinweisen, dass alle Methoden mit mehr oder weniger großen Fehlern behaftet sind und dies bei der Interpretation von Daten berücksichtigt werden muss. Die Antworten zu den einzelnen Aufgaben werden stichpunktartig von der Lehrperson an der Tafel oder auf einer Folie festgehalten. Von der Lehrperson wird ein hohes Maß an Flexibilität gefordert, weil die Ergebnisse der Untersuchungen erst am Ende der Stunde abzusehen sind. Zuletzt werden die Hypothesen verifiziert oder falsifiziert und die Forschungsfrage beantwortet.

3.5.1.3 Didaktik

Der inhaltliche Schwerpunkt ist die Auswertung der bei der Exkursion erhobenen Daten. Zum einen müssen die Gruppenmitglieder die Ergebnisse der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme auswerten, falls dies noch nicht während der Exkursion erfolgt ist. Zum anderen müssen die Gruppenmitglieder innerhalb der Gruppe ihre Ergebnisse und Auswertungen austauschen, um dann ausgehend von ihren gewonnenen Erkenntnissen eine Gruppenauswertung durchzuführen. Schließlich werden alle Gruppenergebnisse miteinander verglichen, um eine Gesamtauswertung zu unternehmen und gegebenenfalls eine Fehlerbetrachtung durchzuführen, falls die Ergebnisse eine breite Varianz zeigen. In diesem Zusammenhang findet auch ein Rückbezug zur Forschungsfrage und zu den Hypothesen statt, um den Erkenntnisprozess der wissenschaftlichen Untersuchung zu vollenden. Eine alternative Stoffauswahl ist nicht möglich, denn die Inhalte sind durch die vorangegangene Exkursion determiniert worden. Der Inhalt lässt ebenfalls keine andere Strukturierung zu, weil die Gesamtauswertung

im Kurs nur erfolgen kann, wenn zuvor die Auswertung innerhalb der Gruppe durchgeführt worden ist. Der Zugang zum Inhalt erfolgt durch Anknüpfung an das Interesse der Schüler, welche Resultate sie bei den Untersuchungen erzielt haben, was zugleich das Lernbedürfnis fördert. Unterstützt wird dies durch die vorherige Arbeitsteilung, weil die Schüler bislang nicht wissen, welche Ergebnisse bei der anderen Methode erzielt worden sind, sodass dies ihre Neugier weckt.

Schwierigkeiten bestehen insbesondere bei der Auswertung und Interpretation der Daten sowie bei der Zusammenführung der Ergebnisse der beiden Methoden, die gemeinsam zu einem Endprodukt führen. Dies bezieht sich sowohl auf die Auswertung innerhalb der Gruppen als auch auf Gesamtauswertung im Kurs. Letztere wird durch die Datenmenge zusätzlich erschwert. Des Weiteren können Probleme bei der Berücksichtigung von Fehlerquellen auftreten, da die Schüler einerseits Fehler als solche identifizieren und andererseits die Ursache feststellen müssen. Dabei müssen sie ihre Durchführung reflektieren, die Standortfaktoren (Wiedervernässung, Regenfälle etc.) berücksichtigen und die Genauigkeit der Methoden hinterfragen, was ein Verständnis über die Zusammenhänge der Untersuchung voraussetzt. Außerdem reichen die Tabellen allein nicht aus, weil es keine spezifischen Bewertungsstufen für Moore gibt, sodass das Hintergrundwissen zu den chemisch-physikalischen Parametern und zu den einzelnen Pflanzenarten berücksichtigt werden muss. Auch wenn die Arbeitsteilung bei der Durchführung der Mooruntersuchung für die Schüler eine Erleichterung dargestellt hat, kann sie bei der Gruppenauswertung Schwierigkeiten verursachen, weil die Experten sich gegenseitig ihre Ergebnisse erklären müssen und dabei die Funktion als Lehrende übernehmen. Dies setzt voraus, dass sie die Zusammenhänge ihrer Untersuchung verstanden haben. Um diese Schwierigkeiten zu beheben, sollen Leitfragen eine zielführende Auswertung erleichtern und eine Struktur vorgeben, die auch bei der Gesamtauswertung im Kurs berücksichtigt wird. Zugleich werden die Schüler dazu ermutigt, die Untersuchungsmethoden kritisch zu hinterfragen, weil diese mit Fehlern behaftet sind und bei Freilanduntersuchungen viele Faktoren berücksichtigt werden müssen, die nicht mit zwei Methoden erfasst werden können. Um alle Gruppenergebnisse zu würdigen, kann die Datenmenge nicht reduziert werden, weshalb eine Überforderung der Schüler nur methodisch vermieden werden kann: Eine übersichtliche Darstel-

lung mithilfe von Tabellen und Diagrammen kann sich als sinnvoll erweisen. Deren Gestaltung setzen neben fachspezifischem Wissen vor allem auch Kenntnisse zur Datenverarbeitung und deren Programme voraus. Dies kann in Abhängigkeit von der didaktischen Schwerpunktsetzung der Lehrkraft von den Schülern unter Anleitung selbst durchgeführt werden. Fokussiert die Lehrkraft dagegen die Interpretation der Daten und möchte im Sinne der didaktischen Reduktion auf eine Datenverarbeitung durch die Schüler verzichten, kann sie die entsprechenden Tabellen und Diagramme selbst erstellen, sodass die Schüler lediglich ihre Ergebnisse eintragen müssen. In diesem Fall ist auf eine eigenständige Erstellung verzichtet worden, um die Schüler angesichts der Datenmenge nicht zu überfordern, weil die Interpretation von Diagrammen den Schülern Schwierigkeiten bereitet. Insbesondere wenn die Schüler mit beispielsweise Excel nicht vertraut sind, muss eine gesonderte Unterrichtsstunde für die Datenverarbeitung eingeplant werden.

Der Wissenserwerb bezieht sich auf das generelle Vorgehen bei der Auswertung und Interpretation von Daten. Zudem sollen die Schüler wissen, dass alle Methoden mit Fehlern behaftet sind und diese bei Untersuchungen berücksichtigt werden müssen. Jenes trifft insbesondere auf Freilanduntersuchungen zu, weil viele Faktoren zusammenwirken, die mit einer Methode nicht erfasst werden können. Der Erkenntnisprozess ist bei dieser Unterrichtsstunde von größerer Bedeutung als die gewonnenen Erkenntnisse.

3.5.1.4 Methodik

Als Einstieg visualisiert die Lehrkraft zunächst die Schritte beim wissenschaftlichen Arbeiten mit einer PPP, um den Schülern in Erinnerung zu rufen, was sie bereits während der Exkursion erledigt haben und gleichzeitig zu zeigen, welche Schritte noch unternommen werden müssen. Zudem werden die Forschungsfrage und die Hypothesen von der Lehrkraft an die Tafel geschrieben, um die Zielsetzung der Untersuchungen zu betonen und diese zugleich als Ausgangspunkt des zusammenfassenden Tafelbildes dienen. Da lediglich die Auswertung, Interpretation und Hypothesenüberprüfung ausstehen, wird ausgehend von diesem Erkenntnisschritt direkt in die Erarbeitungsphase

übergeleitet. In dieser Phase arbeiten die Schüler erneut in ihren Gruppen zusammen, um ihre Ergebnisse auszutauschen und gemeinsam auszuwerten. Die Erkenntnisse werden auf einem Arbeitsblatt festgehalten, wobei Leitfragen die Schüler bei der Auswertung unterstützen sollen. Für die Auswertung sind als Hilfsmittel die Protokolle und Hintergrundinformationen vonnöten, die von Schülern mitgebracht werden müssen. Zudem werden die Ergebnisse der Gewässergüte und Vegetationsaufnahme in Excel-Tabellen gesammelt, um diese im Klassenverband auszuwerten. Die Lehrkraft steht in dieser Phase als Berater zur Verfügung, sollte jedoch flexibel sein und das Verfahren zu einer fragend-entwickelnden Unterrichtsform wechseln, wenn die Mehrheit der Schüler Schwierigkeiten in dieser Phase erkennen lassen.

In der Sicherungsphase wird die Gesamtauswertung fragend-entwickelnd erarbeitet, denn anhand der Datenmenge ist eine stärkere Lenkung durch die Lehrperson erforderlich und gegebenenfalls muss eine Fehlerbetrachtung vorgenommen werden. Als Medien für die Gewässergüte dienen eine Tabelle mit den pH-Werten und der Gesamthärte sowie ein Säulendiagramm mit den Konzentrationen der anorganischen Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Die Artmächtigkeiten der gefundenen Pflanzenarten sind in einer Tabelle festgehalten, während die Zeigerwerte nach Ellenberg in einem Säulendiagramm veranschaulicht werden. In der Oberstufe sollten die Schüler bereits mit dieser Art der Visualisierung vertraut sein, dennoch muss die Lehrkraft darauf achten, dass die Tabellen und Diagramme zunächst beschrieben und anschließend interpretiert werden. Um die Erkenntnisse festzuhalten, erhalten die Schüler ein weiteres Arbeitsblatt, auf dem sie zunächst die Forschungsfrage und die Hypothesen eintragen sollen. Leitfragen sollen auch an dieser Stelle die Gesamtauswertung erleichtern. Zunächst sollen die Schüler unter Verwendung der pH-Werte und des anorganischen Gesamtstickstoffs den ökologischen Moortyp ermitteln sowie mithilfe des Säulendiagramms mit den Nährstoffkonzentrationen mögliche Belastungen feststellen. Gegebenenfalls müssen die Schüler schrittweise durch die Lehrperson auf mögliche Ursachen gelenkt werden: Hohe Nährstoffgehalte lassen sich beispielsweise durch die Wiedervernässung erklären, weil dadurch vermehrt Nährstoffe freigesetzt werden. Darüber müssen die Schüler von Seiten der Lehrkraft informiert werden, weil für alle Eventualitäten keine Materialien zur Verfügung stehen können und dies zudem zu ei-

ner Überforderung der Schüler führen würde. Im letzten Schritt sollen die Daten der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme miteinander verglichen werden, um herauszufinden, ob mit zwei verschiedenen Methoden die gleiche Schlussfolgerung gezogen werden kann oder ob gegebenenfalls eine Fehleranalyse durchgeführt werden muss. Hierfür soll das Säulendiagramm herangezogen werden, das die Zeigerwerte veranschaulicht. Weisen die Zeigerwerte beispielsweise auf niedrigere pH-Werte hin, so lässt sich dies auf starke Regenfälle zurückführen. Zudem lassen sich mithilfe der Feuchtezahl Rückschlüsse auf den Wasserhaushalt ziehen, was mit der Gewässergüte nicht ermittelt werden kann. In dieser Phase muss die Lehrkraft entsprechend der Ergebnisse flexibel agieren und die Schüler kleinschrittig zu den einzelnen Punkten führen, damit die Schüler den Erkenntnisprozess nachvollziehen können. Die verschiedenen Aspekte werden von der Lehrkraft an der Tafel festgehalten, sodass das Tafelbild als Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse dient. Die Diagramme und Tabellen werden den Schülern zur Verfügung gestellt, damit sie die gewonnenen Erkenntnisse auch in Zukunft nachvollziehen können.

3.5.2 Moorschutz

3.5.2.1 Lernziele und Kompetenzen

Lernziele: Die Schüler...

- ... begründen die Notwendigkeit des Moorschutzes mit den Leistungen natürlicher Moore und den Folgen entwässerter Moore. (kognitiv)
- ... stellen die Beziehung zwischen Moor- und Klimaschutz anhand der präsentierten Plakate her. (affektiv)
- ... erkennen die Schutzbedürftigkeit der Moore anhand der präsentierten Plakate an. (affektiv)

Kompetenzen: Die Schüler...

- ... erschließen und nutzen Internetquellen zur Recherche von Informationen zum Schutz der Moore, des Klimas und der Umwelt. (allgemeine Methoden)

- ... wählen Informationen zu verschiedenen Themen den Moor-, Klima- und Umweltschutz betreffend gezielt aus und verknüpfen dies mit dem bereits erworbenen Wissen zu Mooren. (allgemeine Methoden)
- ... stellen die Inhalte ihrer Themen verständlich, strukturiert und übersichtlich auf Plakaten dar. (Kommunikation)
- ... reflektieren die Beziehung des Menschen zur Umwelt auf Grundlage der biologischen Kenntnisse zu Mooren. (Reflexion)

3.5.2.2 Verlauf

Das Thema Moorschutz soll die Unterrichtseinheit zur Exkursion abschließen und zu weiteren Themen der Ökologie überleiten, beispielsweise Klima- und Umweltschutz. Für den letzten Teil der Unterrichtseinheit können zwei oder drei Unterrichtsstunden eingeplant werden (Anhang 7.1). Die Schüler arbeiten überwiegend in Freiarbeit.

Der Einstieg in die Stunden zum Moor-, Klima- und Umweltschutz leitet die Lehrperson mit einem stummen Impuls ein. Hierbei zeigt sie eine Karikatur zu einer Klimakonferenz, eine Weltkarte mit dem Anteil der noch verbliebenen Moore und ein Bild zur Moorrenaturierung (Anhang 7.2, Folie 2). Die Schüler können ihre Äußerungen zu den einzelnen Abbildungen mitteilen, die von der Lehrperson kommentarlos an der Tafel mitgeschrieben werden. Wenn alle Schülerbeiträge gesammelt worden sind, unterstreicht die Lehrperson die Begriffe, die in den nächsten Stunden genauer untersucht werden sollen. Hierbei sollen die Schüler in Partner- oder Gruppenarbeit zu verschiedenen Themen zum Moor-, Umwelt- und Klimaschutz selbsterklärende Plakate ausarbeiten, die im Unterrichtsraum zur Reflektion ausgehängt werden. Um den Bezug zur Exkursion herzustellen, soll sich eine Gruppe mit der Moorrenaturierung im Nationalpark Hunsrück-Hochwald auseinandersetzen. Weitere Themen können abhängig von den Schwerpunkten und der Zielsetzung von der Lehrperson nach Belieben vorgeschlagen werden. Diese werden mithilfe einer Folie visualisiert und die Aufteilung von der Lehrperson mitgeschrieben (Folie 3), sodass sich folgende Themenvorschläge ergeben: Leistungen von Mooren, Nutzung von Mooren, Folgen entwässerter Moore, Moorschutz, Moorrenaturierung im Nationalpark Hunsrück-Hochwald, Klimawandel,

ökologischer Fußabdruck, Gewässerbelastungen und Belastungen der Böden. Zunächst müssen die Schüler Informationen im Internet recherchieren. Die Lehrperson kann dies als Hausaufgabe aufgeben oder eine Schulstunde für die Internetrecherche in der Schule einplanen, wobei die restlichen Informationen als Hausaufgabe recherchiert werden müssen. Bei letzterer Variante ist der Vorteil, dass sich die Schüler innerhalb der Gruppen austauschen können und die Lehrperson für Fragen zur Verfügung steht. Die Recherche kann in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit mittels Smartphones, Tablets oder Computer erfolgen. Als Sicherung, welche die Grundlage für die zweite Erarbeitungsphase in der nächsten Stunde darstellt, sollen die Schüler sämtliche Informationen und Bilder sammeln, die sie für ihre Plakate benötigen.

Anknüpfend an die Recherche-Aufgabe erstellen die Schüler in der zweiten Erarbeitungsphase ihre Plakate. Auf einen Einstieg wird verzichtet, da die Schüler in Freiarbeit ihre Aufgaben aus der vorangegangenen Stunde bzw. ihren Hausaufgaben fortführen. Die Lehrperson fungiert als Berater und hält sich ansonsten im Hintergrund. Bei einer Doppelstunde können 60 bis 75 Minuten für die Erstellung der Plakate eingeplant werden. In der zweiten Sicherungsphase werden die angefertigten Plakate im Unterrichtsraum ausgestellt, damit diese von den Schülern betrachtet und reflektiert werden können. Hierfür stehen der Lehrperson verschiedene Methoden zur Auswahl: Ausfüllen eines Bewertungsbogen, Verteilung von Klebepunkte für die besten Plakate oder Bewertung der einzelnen Plakate im Unterrichtsgespräch. Zudem können die Plakate von der Lehrperson mit Noten bewertet werden, wobei die Schüler im Vorfeld über eine Benotung und die Bewertungskriterien informiert werden müssen. Im Anschluss können die besten drei Plakate gemeinsam reflektiert werden. Alle Lernprodukte sollten von der Lehrperson fotografiert werden, sodass die Bilder den Schülern zur Verfügung gestellt werden können, insbesondere wenn die Inhalte für Lernzielkontrollen relevant sein sollten.

3.5.2.3 Didaktik

Der inhaltliche Schwerpunkt der letzten Unterrichtsstunden ist der Zusammenhang zwischen dem Schutz der Moore und des Klimas. Die Teilaspekte dieses Themenkom-

plexes sind die Moornutzung, die aus der Entwässerung resultierenden Folgen sowie die Ökosystemdienstleistungen der Moore. Da entwässerte Moore viel klimaschädliches Kohlenstoffdioxid und Lachgas freisetzen, besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zum Klimawandel. Zudem wird Nitrat freigesetzt, das die Böden und das Grundwasser belastet, weshalb dies auch in Beziehung mit der generellen Belastung der Böden und des Wassers steht. Moore zu schützen reicht allein nicht aus, weil sie zunächst renaturiert werden müssen, was ebenfalls im Nationalpark und dem Untersuchungsgebiet durchgeführt worden ist. Als alternative Stoffauswahl können nach Intention der Lehrkraft und in Abhängigkeit von der im Anschluss durchgeführten Unterrichtseinheit andere Themen zum Umwelt- und Klimaschutz herangezogen werden. So können die Biodiversität und deren Verlust durch menschliche Eingriffe im Zusammenhang mit den Mooren ebenso thematisiert werden wie eine nachhaltige Entwicklung und die Ziele der aktuell präsenten Fridays-for-Future-Bewegung. Diese letzten Unterrichtsstunden widmen sich mit konkreten Themen der Umweltbildung, sodass den Schülern mithilfe der Generierung von Fachwissen zu Mooren und dem affektiven Zugang durch die Naturbegegnung am ALO wichtigen Voraussetzung für das Umweltverhalten ermöglicht worden sind. Somit wird den Schüler eine kritische Auseinandersetzung mit diesen Themen zur Umweltbildung erleichtert.

Die Schüler haben bereits im Expertenvortrag während der Exkursion erfahren, dass Moore wichtige Ökosystemdienstleistungen vollbringen und gleichzeitig immer mehr Moore vom Menschen beeinträchtigt oder gar zerstört werden. Diesbezüglich wird auch der Klimaschutz angesprochen, der wesentlich mit dem Schutz der Moore zusammenhängt. Der Frageanreiz besteht darin, dass zumeist der Erhalt der Wälder zum Schutz des Klimas im Alltag thematisiert wird, obwohl Moore einen wesentlich größeren Beitrag zum Klimaschutz beitragen. Dieser Sachverhalt kann einen kognitiven Konflikt bei den Schülern auslösen, weshalb sie dazu angeregt werden, sich intensiver mit dem Lerngegenstand auseinanderzusetzen. Zudem haben die Schüler durch den Besuch des ALOs einen emotionalen Zugang zu diesen Ökosystemen erhalten, sodass der Lerngegenstand an das Interesse der Schüler anknüpft, diese zu schützen. Da die zuvor genannten Teilaspekte in einem großen Komplex zusammenhängen und die Zerstörung der Moore weitreichende Folgen hat, kann dies das Lernbedürfnis der Schüler

wecken. Des Weiteren können sie dazu angeregt werden, Lösungsstrategien für einen nachhaltigen Moorschutz zu entwickeln.

Die Schwierigkeit besteht in den komplexen Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Teilaspekten, weil jeder für sich bereits sehr inhaltsreich ist. Um die Schüler nicht zu überfordern, kann die Anzahl der Teilaspekte reduziert werden, wobei der Zusammenhang zwischen Moor- und Klimaschutz aufgrund seiner aktuellen Wichtigkeit im Bezug zur Klimadebatte nicht vernachlässigt werden sollte. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, dass der Moorschutz lediglich auf den Klimaschutz reduziert und den Schüler nicht bewusst wird, dass Moore auch in Wechselwirkung mit anderen Umweltaspekten stehen, die nicht weniger wichtig sind. Zudem müssen die Schüler wissen, dass die Entwässerung von Mooren der Grund für die Freisetzung der klimaschädlichen Gase ist und eine alleinige Unterschutzstellung nicht ausreicht, weil die Moore sich in Abhängigkeit vom Zerstörungsgrad nicht eigenständig erholen können. Dieser Aspekt muss berücksichtigt werden, um den Schülern die vielschichtigen Problematiken bewusst zu machen. Eine weitere Möglichkeit der didaktischen Reduktion ist eine oberflächlichere Auseinandersetzung mit den Teilaspekten, um die Zusammenhänge zwischen der Zerstörung der Moore, dem Klima und den Belastungen von Gewässern sowie Böden zu veranschaulichen. Dies erweist sich als vorteilhaft, um den Schülern bewusst zu machen, welche weitreichenden Konsequenzen die Zerstörung eines Ökosystems hat. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass die Schüler die Zusammenhänge aufgrund der damit einhergehenden Reduktion der fachlichen Tiefe nicht nachvollziehen können. Die Schwierigkeit, alle Teilaspekte gleichwertig ohne inhaltliche Abstriche zu behandeln, kann methodisch behoben werden, was im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird.

Die Schüler sollen mindestens behalten, dass Moore wichtige Ökosystemdienstleistungen vollbringen und somit auch einen großen Teil zum Klimaschutz beitragen. Die bisherige Nutzung des Menschen hat die meisten Moore in Deutschland voraus, weil die Entwässerung eine wichtige Voraussetzung ist. Dabei werden jedoch viele Prozesse im Ökosystem ausgelöst, die zum Torfabbau führen und die Moore zerstören. Durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid wird das Klima geschädigt, während freigesetztes Nitrat die Böden belastet. Daher müssen Moore geschützt und renaturiert werden,

was auch im Nationalpark umgesetzt worden ist. Hierbei ist die Wiedervernässung eine wichtige Voraussetzung, aber für einen langfristigen Schutz müssen Moore nachhaltiger oder gar nicht mehr bewirtschaftet werden.

3.5.2.4 Methodik

Die Unterrichtsstunden zum Moorschutz finden abgesehen von der Einstiegsphase in einer schülerzentrierten Unterrichtsform statt. Der erste Erkenntnisschritt ist der Zusammenhang zwischen Moorschutz und Klimaschutz, der von der Lehrperson mit einer Bilderkollage als stiller Impuls visualisiert wird. Dies soll die Schüler in der Einstiegsphase zum Lerngegenstand führen. Auf der in einer PPP dargestellten Bilderkollage sind eine Karikatur zur Klimakonferenz sowie eine Weltkarte mit dem Anteil der noch verbliebenen Moore dargestellt. Zudem soll ein Bild mit der Moorrenaturierung im Nationalpark einen aktuellen Bezug zur Mooruntersuchung herstellen. Die Schülerbeiträge werden kommentarlos von der Lehrkraft an der Tafel gesammelt, um diese im Anschluss an die aktivierende Phase zu strukturieren. Zwar sind Karikaturen kein häufig verwendetes Medium im Biologieunterricht, dennoch sollte den Schülern deren Funktion aus anderen Unterrichtsfächern, insbesondere aus dem Sozialkundeunterricht, bekannt sein. Des Weiteren sollen die Schüler die Methode des stillen Impulses kennen, da es ansonsten für die Schüler ungewohnt sein könnte, wenn die Lehrperson keine Frage stellt oder keine Aufgabe erteilt. Nachdem die Schüler zur Erkenntnis gelangt sind, dass die verschiedenen Themen zusammenhängen, erfolgt der Arbeitsauftrag von Seiten der Lehrkraft, um die Erarbeitungsphase dieser und der nachfolgenden Unterrichtsstunde einzuleiten.

Die in der Didaktik angesprochene Problematik, dass die Teilaspekte sehr umfangreich sind, wird mithilfe einer arbeitsteiligen Gruppenarbeit behoben. Hierbei beschäftigt sich jede aus drei Schülern bestehende Gruppe (bei kleineren Kursen ist auch eine Partnerarbeit angebracht) mit einem Teilaspekt und erstellt ein Plakat, um die Ergebnisse für die anderen Gruppen festzuhalten. Durch diese Methode erarbeiten sich die Schüler ihr Thema selbstständig, was sie in Teamarbeit kreativ umsetzen können. Die Lehrperson legt im Vorfeld fest, ob es sich dabei um ein Plakat handelt, das als Unter-

stützung in einem Vortrag dient oder ob es als ein informierendes Plakat umgesetzt werden soll, das selbsterklärend ist und als Aushang dient. Die Vorteile der letzten Variante ist, dass die Plakate auch ohne Vortrag alle notwendigen Informationen enthalten und im Schulgebäude ausgehängt werden können. Damit werden auch Menschen erreicht, die nicht unmittelbar am Projekt beteiligt sind, sodass den Mooren eine größere Aufmerksamkeit zuteilwird.

Nachdem die Lehrkraft die zu bearbeitenden Themen verteilt und die Bewertungskriterien festgelegt hat, erfolgt die Erarbeitungsphase, in der zunächst die Informationsrecherche im Internet erfolgt. In Abhängigkeit von der technischen Ausstattung kann dies mit Smartphones, Tablets oder Computern/Laptops erfolgen oder alternativ als Hausaufgabe erteilt werden. Da jedoch der Austausch innerhalb der Gruppen wichtig für den Erwerb sozialer Kompetenzen ist, sollte der Recherche auch Zeit während des Unterrichts eingeräumt werden. Zudem können die Schüler ihre Schwerpunkte besser festlegen und zugleich steht die Lehrperson bei Problemen als Berater zur Verfügung, die sich ansonsten im Hintergrund des Unterrichtsgeschehens hält. Die Internetrecherche sollte in der Oberstufe eine bekannte Methode sein, sodass die Schüler eigenständig agieren können und keine Instruktionen durch die Lehrkraft benötigen.

Für die Gestaltung der Plakate können, nach Verfügbarkeit, verschiedene Materialien von der Schule gestellt oder müssen von den Schülern selbst mitgebracht werden. Um die kreative Gestaltung der Plakate nicht einzuschränken, muss den Schülern ausreichend Zeit eingeräumt werden. Zudem sollte dies ausschließlich im Unterricht erfolgen, damit die Lehrperson den Lern- und Arbeitsprozess der Schüler nachvollziehen kann, was insbesondere bei einer Bewertung von Wichtigkeit ist. Die Unterrichtsergebnisse können als gemeinsame Plattform für die Weiterarbeit dienen, sollte die darauffolgende Unterrichtseinheit im Zusammenhang mit Umweltbelastungen stehen. Daher müssen die Plakate für die Schüler als Bilder oder Ähnliches zur Verfügung stehen, weil sie die einzige Sicherung darstellen. In der Sicherungsphase sollen die Plakate im Unterrichtsraum verteilt werden, sodass die Schüler sich die Inhalte der Lernprodukte durchlesen und diese gegebenenfalls zur Förderung ihrer Reflexionskompetenz bewerten können, indem sie auf den besten Plakaten Klebepunkte verteilen.

4 Ergebnisse

Das Projekt zur Untersuchung des Moores wird mit dem Leistungskurs Biologie der Stufe 12 am Göttenbach-Gymnasium in Idar-Oberstein im Zeitraum vom 12.08. bis 23.08.2019 durchgeführt. Der Leistungskurs besteht aus 15 weiblichen und acht männlichen Schülern. Da es sich um einen Probedurchlauf handelt, werden die Unterrichtsstunden und die Exkursion von dem Autor dieser Arbeit durchgeführt.

4.1 Erste vorbereitende Stunde

Die erste vorbereitende Stunde erfolgt am 12.08.2019 in der vierten Stunde von 10:50 bis 11:35 Uhr. Zu Beginn werden die Schüler von der Lehrkraft des Kurses begrüßt, die anschließend die Leitung dem Autor dieser Arbeit, nachfolgend als Lehrperson bezeichnet, übergibt. Zunächst werden nach der Vorstellung die organisatorischen Aspekte zum Datenschutz und zur Teilnahme an dem Projekt besprochen, wofür die Schüler entsprechende Erklärungen ausgehändigt bekommen. Anschließend erfolgt die eigentliche Einführung in das Projekt, indem die Lehrperson mithilfe einer PPP die Ziele und Inhalte der Exkursion erläutert. Sie erklärt, dass neben theoretischem Wissen auch das praktische Arbeiten von Bedeutung ist, um ein vertieftes Verständnis von Ökosystemen zu erlangen. Daher sollen die Schüler ein Moor im Nationalpark Hunsrück-Hochwald untersuchen. Wichtig ist jedoch, dass grundlegende Kenntnisse zu Mooren vonnöten sind, um dieses Ökosystem erfolgreich untersuchen zu können. Aus diesem Grund leitet die Lehrperson zur Frage über, was ein Moor ist. Nach kurzem Zögern meldet sich Schüler A und erklärt, dass es sich um ein feuchtes Gebiet handelt, das wie ein Sumpf aussieht. Die Lehrperson erwidert, dass dieser Ansatz gut ist und fordert weitere Schüler auf, Überlegungen anzustellen. Daraufhin fühlen sich die Schüler ermutigt, weil sich nun mehrere Schüler melden. Die Lehrperson sammelt die Ideen, um einen Eindruck vom Vorwissen zu bekommen. Schüler B beschreibt, dass ein Moor einem See ähnelt und Schüler C erläutert, dass der Boden nass ist wie Schlamm und dort Moose wachsen, worauf man gehen kann. Schüler D erwähnt, dass es dort Torf gibt. Schüler A erwidert daraufhin, dass man im Schlamm einsinken kann. Da keine weiteren Schülerbeiträge erfolgen, blendet die Lehrperson die stichpunktartige Defini-

tion eines Moores mithilfe der Präsentation ein und erklärt, dass es sich, wie die Schüler richtig erkannt haben, um Feuchtgebiete handelt, die Torf ausbilden. Moore sind permanent durch Grundwasser oder Niederschläge wassergesättigt, sodass die Pflanzen aufgrund des Sauerstoffmangels durch die dort lebenden Mikroorganismen nur unvollständig zersetzt werden. Deshalb können im Torf noch großteilige Pflanzenbestandteile enthalten sein. Die Lehrperson erläutert, dass das Torfwachstum im Schnitt 1 mm pro Jahr beträgt und man deshalb das Alter eines Moores abschätzen kann, die mehrere Hundert oder sogar Tausende Jahre alt sind. Als Überleitung zur Erarbeitungsphase dient die Aussage der Lehrkraft, dass Moor nicht gleich Moor ist und die Schüler verschiedene Moortypen kennenlernen. Hierfür sollen sie sich einen Film anschauen und währenddessen ein Arbeitsblatt ausfüllen. Nach Aushändigung des Arbeitsblattes steht den Schülern eine Minute Zeit zur Verfügung, um sich die Aufgaben durchzulesen. Da keine Fragen aufkommen, kann die Lehrperson den Film „Mystisches Moor“ direkt zeigen und zieht sich während der Erarbeitungsphase zurück. Die Schüler schauen sich aufmerksam den 30-minütigen Film ohne Unterbrechung an und beantworten die Fragen, wie es in der Aufgabenstellung gefordert wird. Aus Zeitmangel kann die Sicherung erst in der nächsten Stunde erfolgen, weil die organisatorischen Aspekte zu Beginn nicht einberechnet worden sind. Die Hausaufgaben werden allerdings noch mit der Erklärung ausgeteilt, dass diese für die nächste Stunde wichtig sind. Die Lehrperson stellt in Ausblick, dass die Realität deutlich komplexer ist und es für genauere Untersuchungen nicht ausreicht, Moore in Hoch- und Niedermoore einzuteilen und beendet damit die Unterrichtsstunde.

4.2 Zweite vorbereitende Stunde

Die zweite vorbereitende Doppelstunde erfolgt am 15.08.2019 in der dritten und vierten Unterrichtsstunde von 10:00 bis 11:35 Uhr. Nach der Begrüßung erfolgt die Besprechung der Aufgaben zum Film, die aus zeitlichen Gründen in der vorangegangenen Stunde nicht abgeglichen werden konnten. Die Lehrperson visualisiert die Tabelle, die Nieder- und Hochmoore gegenüberstellen, auf dem interaktiven Whiteboard und die Schüler können ihrer Ergebnisse mitteilen, die von der Lehrperson schriftlich festgehal-

ten werden. Diese Unterrichtsphase zeichnet sich durch eine sehr hohe Schülerbeteiligung aus. Der nachfolgenden Tabelle sind die Beiträge der Schüler zu entnehmen:

Tab. 6: Ergebnisse der Schülerbeiträge zum Vergleich von Nieder- und Hochmooren (eigene Darstellung)

	Niedermoor	Hochmoor
Wasserversorgung	Fluss	nur Niederschlag
Beschreibung der Vegetation	artenreich üppig	krüppeliger Baumwuchs karg, nasser Boden artenarm offene Wasserflächen
Nährstoffe	nährstoffreich	nährstoffarm
Vorkommende Pflanzen (je zwei Beispiele)	Fieberklee Moose	Wollgräser Torfmoose Wasserschlauch
Vorkommende Tiere (je zwei Beispiele)	Moorfrosch Wasserspinne Doppelschnepfe	Birkhuhn Kreuzotter Höllenotter Brachvogel

Die zweite Aufgabe wird mündlich von einem Schüler vorgetragen, der erklärt, dass Torfmoose Huminsäuren abgeben, die zu einer Versauerung führen und anderen Pflanzen die Nährstoffe entziehen. Aus diesem Grund können andere Pflanzenarten nur schlecht dort wachsen. Da es keine Ergänzungen von den Schülern gibt und die Lösung nahezu der Musterlösung entspricht, werden zu dieser Aufgabe keine weiteren Beiträge besprochen. Die vorletzte Aufgabe wird von zwei Schülern erläutert: Schüler A erklärt, dass der Wasserschlauch unter Wasser Blasen besitzt, mit denen er kleine Tiere einfangen kann, die er dann verdaut. Auf Nachfrage der Lehrperson, wie diese Strategie bezeichnet wird, wissen weder Schüler A noch der gesamte Kurs die Antwort, woraufhin die Lehrperson den Begriff „Insektivor/Karnivor“ vorgibt. Das zweite in dem Film erwähnte obligatorische Beispiel wird von Schüler B erklärt, der jedoch den Namen der Pflanzen, Sonnentau, nicht mehr weiß. Auch der gesamte Kurs kann sich nicht an den Namen der Pflanze erinnern, sodass auch die Lehrperson diesen erneut vorgibt.

Die letzte Aufgabe zu den Nutzungsmöglichkeiten der Moore wird von Schüler C beschrieben, bei der die Nutzung als Heilkräuter, zur Weide und von Torf als Brennmaterial genannt werden. Da keine weiteren Fragen zu den Aufgaben und dem Film bestehen, werden die Hausaufgaben zu den hydrologischen und ökologischen Moortypen besprochen. Schüler A stellt seine Mindmap zu den verschiedenen Moortypen vor, indem er sie mithilfe einer Dokumentenkamera visualisiert. Unterschieden werden die allgemeinen, bereits bekannten Moortypen mit ihren verschiedenen Eigenschaften bezüglich Herkunft des Wassers sowie der Nährstoff- und Säure-Basen-Verhältnisse und die komplexere Realität mit den Vertretern hydrologischen und ökologischen Moortypen. Bei den allgemeinen Moortypen wird zudem der Übergang vom Nieder- über das Übergangs- zum Hochmoor aufgezeigt. Eine weitere Möglichkeit zur Gestaltung wird von Schüler B präsentiert, der die Verbindungen zwischen den allgemeinen und den hydrologischen bzw. ökologischen Moortypen aufzeigt, was die Komplexität der Ökosysteme betont. Da keine weiteren Wortmeldungen zur ersten Aufgabe erfolgen, wird die zweite Aufgabe von einem Schüler mündlich vorgetragen, bei der Verdunstung, Niederschlag, Relief und Einfluss von Oberflächengewässern als Einflussfaktoren für die Entstehung der hydrologischen Moortypen genannt werden. Bei der letzten Aufgabe stellt ein Schüler die Vermutung auf, dass insbesondere die nährstoffarmen Moortypen von der Nährstoffzufuhr beeinflusst werden, weil die Pflanzen dort an die Bedingungen angepasst sind und sich dies auf die Zusammensetzung der Pflanzenarten auswirkt. Damit wird die Besprechung der Hausaufgaben abgeschlossen. Insgesamt ist die Schülerbeteiligung geringer als bei der Besprechung der Aufgaben zum Film. Die Lehrperson leitet zu den im Nationalpark vorkommenden hydrologischen Moortypen über, indem sie Folie 2 der Präsentation aufzeigt, auf der die drei Moortypen – Hang-, Quell- und Zwischenmoore mit Regenmoor-Resten – schriftlich und mit einer Abbildung visualisiert sind. Die Abbildung zeigt, dass diese drei Moortypen kombiniert auftreten können und erklärt, dass man die Unterschiede für Untersuchungen kennen sollte. Daher sollen sich die Schüler die Eigenschaften dieser hydrologischen Moortypen erarbeiten, was in Form eines Gruppenpuzzles erfolgt. Die Sozialform ist den Schülern bereits bekannt, sodass keine weiteren Erklärungen notwendig sind. Die Schüler teilen sich selbstständig in die Stammgruppen ein, was jedoch einige Minuten dauert. Deshalb wird die Einteilung der Expertengruppen von der Lehrperson über-

nommen. Jeder Schüler bekommt einen Informationstext zu dem jeweiligen Moortyp und eine Übersichtstabelle ausgehängt, in der alle Ergebnisse festgehalten werden. Die Erarbeitungsphase erfolgt bis zum Ende der ersten Stunde in der vorgegebenen Zeit von 15 Minuten in ruhiger Atmosphäre. Das Lerntempo ist teilweise sehr unterschiedlich, weil einige Schüler nach zehn Minuten fertig sind, während andere in der fünfminütigen Pause noch weiterarbeiten. Nach der Pause treffen sich die Schüler erneut in ihren Stammgruppen und erklären sich gegenseitig ihre Ergebnisse, die von allen in der Tabelle festgehalten werden. Auch hier zeigen sich Unterschiede im Tempo, da manche Schüler nach zehn Minuten ihre Tabelle ausgefüllt haben, während andere die restlichen Ergebnisse außerhalb des Unterrichts austauschen müssen, weil sie nach 20 Minuten noch nicht fertig sind. In den letzten 25 Minuten erfolgen die Informationen zum Nationalpark und zur Exkursion. Die Lehrperson leitet zu dieser Phase mit der Frage „Was ist ein Nationalpark?“ (Folie 5) über und sammelt die Schülerbeiträge an der Tafel. Schüler A erklärt, dass in einem Nationalpark die Natur geschützt wird und dass dort gelegentlich Führungen für naturinteressierte Leute gemacht werden. Schüler B ergänzt, in diesem Gebiet die Natur so gelassen wird, wie sie ist. Daraufhin erklärt Schüler C, dass Tiere dort in Ruhe leben können. Schließlich ergänzt Schüler A, dass oftmals Touristen mit Nationalparks angezogen werden sollen. Zuletzt wird von Schüler D die Frage aufgeworfen, wo der Unterschied zwischen einem Nationalpark und einem normalen Wald ist, weil beide letztendlich geschützt werden. Die Lehrperson verweist auf die von ihr nun vorgestellten Charakteristika (Folie 6 und 7), die mit den Schülerbeiträgen verglichen werden. Diese stimmen weitestgehend mit den Schülerantworten überein, wobei folgende Aspekte ergänzt werden: So weit es die Schutzbedingungen erlauben, können im Nationalpark wissenschaftliche Umweltbeobachtungen sowie Projekte zur naturkundlichen Bildung unternommen werden, wie es auch im Nationalpark mit der Mooruntersuchung erfolgt. Die Frage von Schüler D wird mit dem letzten Punkt beantwortet, weil eine wirtschaftliche Nutzung, wie beispielsweise Holzentnahmen und Jagd, weitgehend ausgeschlossen ist oder unter strikten Vorgaben der Naturschutzbehörden erfolgen muss. Wichtige Daten zum Nationalpark zur Eröffnung, Lage und Größe werden von der Lehrperson vorgetragen (Folie 9), bevor sie die Zonen des Nationalparks erklärt. Sie erläutert, dass die Naturzone 1a der Wildnisbereich ist, bei dem die Natur Natur sein darf, was bisher bei 30 % der Fläche der Fall ist und dies

innerhalb von 30 Jahren auf 75 % erweitert werden soll. Bei der Naturzone 1b handelt es sich um Entwicklungsbereiche, die schrittweise in Wildnisbereiche überführt werden. Schließlich gibt es noch die Pflegezone, bei der Entwicklungs- und Pflegemaßnahmen möglich sind. Zudem können dort wertvolle Biotope, unter anderem auch Moore, erhalten werden, was in den Wildnisbereichen nicht möglich wäre. Die Bedeutung des Nationalparks in Rheinland-Pfalz wird damit erläutert, dass sich diese Region durch biologische Vielfalt auszeichnet, eine Heimat für seltene Tier- und Pflanzenarten ist und auch die Renaturierung der dort vorhandenen Moore vorgenommen wird (Folie 10). Dies führt zur Überleitung zu den Mooren im Nationalpark, deren Alter bis zu 5000 Jahre geschätzt werden (Folie 11). Die Lehrperson fasst die vorkommenden hydrologischen Moortypen nur kurz zusammen, weil sie bereits in der ersten Hälfte der Stunde von den Schülern intensiv untersucht wurden. Zudem werden die ökologischen Moortypen, die im Nationalpark vorkommen, genannt. Da keine Frage zu den bisherigen Punkten bestehen, stellt die Lehrperson eine Wissenscheckliste mit den Inhalten vor, welche die Schüler für die Exkursion beherrschen sollten (Folie 12). Daraufhin erfolgen die Informationen zur Exkursion sowie die Packliste (Folie 13 und 14). Als Abschluss werden die Verhaltensregeln im Nationalpark besprochen, die zunächst von den Schülern im Unterrichtsgespräch gesammelt und dann von der Lehrperson ergänzt werden (Folie 16). In diesem Zusammenhang wird bereits erklärt, dass das Moor aus Schutzgründen nicht betreten werden darf, aber ein Steg die Erkundung des Moores ermöglicht. Der Kurs wird in fünf Gruppen aufgeteilt, wobei die Gruppen eins bis drei jeweils aus fünf und die Gruppen vier und fünf aus jeweils vier Schülern bestehen. Es bestehen keine weiteren Fragen, sodass die Stunde von der Lehrperson beendet wird.

4.3 Exkursion

Die Exkursion in den Nationalpark Hunsrück-Hochwald erfolgt am 19.08.2019 von 9:00 bis 12:30 Uhr, die erneut vom Autor dieser Arbeit geleitet und im Folgenden als „Exkursionseiter“ wird. Zudem sind vier Vertreter vom Nationalpark anwesend, die bei der Betreuung der Gruppen während der Untersuchung als Berater zur Verfügung stehen. Hierbei handelt es sich um einen Ranger, zwei Praktikanten und den für die Umweltbildung zuständigen Ansprechpartner im Nationalpark.

Nach der Begrüßung im Hunsrückhaus erfolgt ein Vortrag von Seiten des Exkursionsleiters, der auf die Untersuchungen im Moor hinführen soll. Zu Beginn erklärt er, dass Moore ursprünglich 4,5 Prozent der Fläche Deutschlands bedeckt haben (Folie 2). Die Schüler sollen schätzen, wie viel Prozent von diesen Mooren durch die Nutzung zerstört worden sind. Nach einigem Zögern vermuten sie, dass 20 bis 40 Prozent zerstört worden und zeigen sich überrascht, als der Exkursionsleiter erklärt, dass mindestens 95 Prozent der Moore Deutschlands nicht mehr existieren. Nach Erläuterung der Gründe für die Moorzerstörung fragt der Exkursionsleiter (Folie 3), weshalb Moore geschützt werden müssen (Folie 4). Schüler A antwortet, dass dort bestimmte Tier- und Pflanzenarten leben, die nur in Mooren existieren können und ihren Lebensraum verlieren. Daraufhin ergänzt Schüler B, dass sie die Artenvielfalt erhalten. Da keine weiteren Beiträge erfolgen, vervollständigt der Exkursionsleiter die Äußerungen der Schüler und erklärt die Bedeutung der Moore für den Hochwasserschutz, die Wasserfilterung und den Klimaschutz (Folie 5). Der Exkursionsleiter bringt damit in Zusammenhang, dass entwässerte Moore diese Leistungen nicht mehr erfüllen können und beschreibt exemplarisch die weitreichenden Folgen der Entwässerung (Folie 6). Er betont, dass sich jedoch die Einstellung gegenüber den Mooren in den vergangenen Jahren auch auf politischer Ebene gewandelt hat, weshalb beispielsweise vom BMU Entwicklungskonzepte für Moore gefordert und viele Projekte und Strategien zum Schutz der Moore bereits umgesetzt werden (Folie 7). Der Exkursionsleiter gibt jedoch zu bedenken, dass viele Moore in einem sehr schlechten Zustand sind und nicht mehr bestehen können, wenn keine besonderen Maßnahmen ergriffen werden. Den Schülern wird erklärt, dass diese Revitalisierungsmaßnahmen sehr aufwändig sind und über einen langen Zeitraum umgesetzt werden müssen, da sich Moore nur langsam erholen. Zudem ist die Zerstörung teilweise soweit fortgeschritten, dass bei einigen Mooren eine Rückkehr zum ursprünglichen Zustand nicht mehr möglich ist. Dennoch hebt er hervor, dass die Renaturierung von großer Bedeutung ist, weil die Leistungen der Moore langfristig gesehen den Aufwand rechtfertigen. Als Überleitung zur Mooruntersuchung stellt der Exkursionsleiter das Moor Ehlesbruch vor, welches ebenfalls renaturiert wird (Folie 9). Ursprünglich hat ein Entwässerungsgraben das Wasser aus dem Moor abgeführt, in dem im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen Stauwerke errichtet worden sind, um die Wassersättigung im Moor wiederherzustellen. Um den Zustand eines Moores zu

erfassen, können verschiedene Methoden angewendet werden, die zunächst von den Schülern erfragt werden (Folie 10). Hierbei werden die Messung des pH-Werts, des Sauerstoffgehalts, die Untersuchung des Bodens und die Erfassung der Pflanzenarten von den Schülern vorgeschlagen. Der Exkursionsleiter ergänzt daher nur noch die hydrologischen Untersuchungen und fasst die genannten chemischen Parameter unter der Gewässergüte zusammen (Folie 11). Es folgt die Begründung, warum die Untersuchung der Vegetation und der Gewässergüte vor Ort durchgeführt werden und wie diese im Gesamten zusammenhängen (Folie 13). Hierbei erklärt er, dass Eingriffe auf einen Faktor auch Folgen für die anderen haben. Die Bedeutung und Anwendungen der Gewässergüte und der Vegetation bei Forschungen werden vom Exkursionsleiter erklärt (Folie 14 und 15). Dieser fragt die Schüler, wie sie vorgehen würden, wenn sie das Moor untersuchen wollen (Folie 16). Lediglich ein Schüler erwidert, dass man Geräte oder Ähnliches benötigt, um den Sauerstoffgehalt und den pH-Wert zu bestimmen. Der Exkursionsleiter bestätigt diesen Aspekt, ergänzt aber, dass zuvor noch zwei wichtige Schritte unternommen werden müssen, die auch beim Experimentieren in der Schule stets durchgeführt werden. Da die Schüler keine Antwort dazu beitragen, erklärt der Exkursionsleiter, dass zuvor immer eine Forschungsfrage und Hypothesen formuliert werden müssen. Erst dann wird die Untersuchung zur Überprüfung geplant und anschließend durchgeführt. Die Daten werden gesammelt und geordnet, um sie auszuwerten und zu interpretieren. Im letzten Schritt erfolgt der Rückbezug zur Forschungsfrage und den Hypothesen. Die Forschungsfrage „In welchem Zustand befindet sich das Moor nach der Wiedervernässung?“ wird von dem Exkursionsleiter vorgegeben und die Schüler stellen die Hypothese auf, dass sich das Moor wieder in einem guten Zustand befindet. Zusätzlich wird von einem Schüler die Hypothese vorgeschlagen, dass sich dieses noch nicht von der Entwässerung erholt hat. Anschließend erfolgen die Arbeitsaufträge (Folie 20), der weitere Verlauf der Exkursion (Folie 21) sowie die nachbereitenden Aufgaben in der Schule (Folie 22). Der Exkursionsleiter weist die Schüler daraufhin, dass alle Daten vor Ort erhoben werden müssen, weil ansonsten keine Proben mitgenommen werden können. Da in der vorbereitenden Stunde bereits die Verhaltensregeln im Nationalpark erarbeitet wurden, verweist der Exkursionsleiter insbesondere auf die Sicherheitshinweise bei der Gewässeranalyse (Folie 23): Zum eigenen Schutz müssen Handschuhe und Schutzbrillen getragen werden, zum Schutz des Moo-

res muss sorgfältig gearbeitet werden, damit keine Chemikalien in das geschützte Gebiet gelangen. Es bestehen von Seiten der Schüler keine Fragen, sodass der Experten-vortrag um 9:30 Uhr beendet ist und sich der Kurs zunächst zur Blockhütte begibt.

Nach zwanzig Minuten erreicht der Kurs den Treffpunkt und die Schüler erhalten dort ihre Arbeitsblätter sowie ihre in Boxen verpackten Materialien. Da der Steg von Adlerfarn und Pfeifengras zu einem großen Teil überwachsen ist und rutschige Stellen aufweist, kann das Moor nicht durchquert werden. Zudem sind nur vier geeignete Stellen zur Probenentnahme vorhanden, die ohne Betreten des Moors und ohne Sicherheitsrisiken von den Schülern erreicht werden können. Die Gruppen werden den Betreuern des Nationalparks zugewiesen und auf die verschiedenen Standorte verteilt, welche der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen sind.

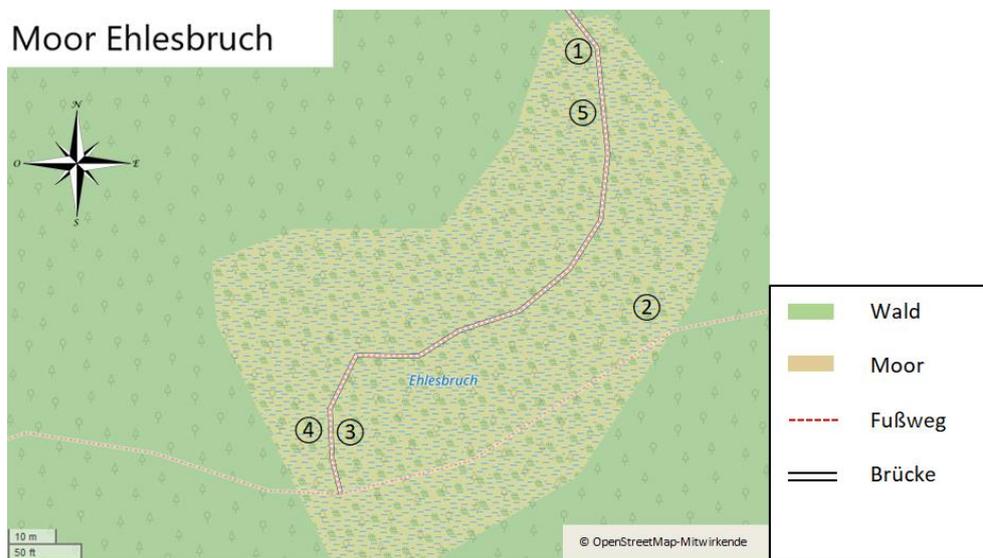


Abb. 10: Probeentnahmestellen und Untersuchungsflächen der Gruppen eins bis fünf im Moor Ehlesbruch (OpenStreetMaps 2019, veröffentlicht durch Open Database License ODbL; bearbeitet durch Autor).

Jeweils ein Vertreter des Nationalparks betreut die Gruppen eins und fünf bzw. drei und vier, die beiden Praktikanten betreuen die zweite Gruppe drei. Die Lehrkraft betreut zudem die Gruppen eins und zwei. Indes wechselt der Exkursionsleiter während der Erarbeitungsphase zwischen den Gruppen, um für Fragen und Anregungen zur Verfügung zu stehen. Da sich die Untersuchungsflächen der Vegetationsaufnahme im Randbereich des Moors befinden, können die für die Gewässeranalyse zuständigen Schüler in unmittelbarer Nähe ihrer Gruppenmitglieder ihre Untersuchungen durchführen. Die Gruppen vier und fünf untersuchen die gleiche Wasserprobe, weil sonst

keine geeignete Entnahmestelle vorhanden ist. Allerdings befinden sich die Untersuchungsflächen für die Vegetationsaufnahme entlang der rechten und linken Seite des Stegs, sodass beide Gruppen unterschiedliche Aufnahmeflächen bearbeiten können. Die Experten der Gewässergüte können unter den zuvor genannten Umständen nicht an einem Standort arbeiten und müssen demnach die Materialien der Gemeinschaftsbox aufteilen sowie die Skalen der pH-Indikatoren abfotografieren. Als erneuten Treffpunkt wird die Blockhütte festgelegt, an der sich alle Gruppen bis 11:45 Uhr wieder efinden sollen.

Nachdem sich die Schüler mit ihren Materialien ausgestattet haben, begeben sie sich mit ihren Betreuern zu ihren Untersuchungsflächen. Die gemeinsame Erkundung des Geländes entfällt, weil eine Umrundung des Moores aufgrund der ausgeprägten Vegetation nicht möglich ist und die Gruppen drei bis fünf einen Umweg von 500 bis 700 m gehen müssen, was in der ursprünglichen Planung nicht vorgesehen ist und daher zu zeitlichen Problemen führen kann. An ihren Standorten angekommen, erfolgt die Entnahme der Wasserprobe sowie die Messung des pH-Werts und der Temperatur durch den Gruppenleiter bzw. durch einen Schüler, der bei Vierergruppen die Aufgaben des Gruppenleiters übernimmt. Die Wasserentnahme gestaltet sich schwierig, weil die Stellen meist nicht sehr tief sind, sodass mit dem Messbecher nur kleine Mengen Wasser entnommen werden können. Angesichts der Menge an Arbeitsblättern zeigen sich manche Gruppen überfordert, wobei sie sich nach Hilfestellungen des Exkursionsleiters und der Betreuer mit ihren Aufgaben zurechtfinden. Alle Gruppen können zwischen 10:20 und 10:30 Uhr mit der Vegetationsaufnahme und der Untersuchung der Gewässergüte beginnen. Obwohl meist nur kleine Wasservolumina entnommen werden können, genügen diese insgesamt zur Bestimmung der Parameter. Des Weiteren filtrieren die Filterpapiere nur in einer langsamen Geschwindigkeit, sodass sich die Durchführung der chemischen Analyse zeitlich verzögert. Ansonsten treten keine Schwierigkeiten auf, denn die Gruppen können ihre Untersuchungen selbstständig durchführen und benötigen keine Hilfestellungen von Seiten der Betreuer oder des Exkursionsleiters. Bei der Vegetationsaufnahme zeigen sich Unklarheiten über die Bedeutung und Berechnung der Zeigerwerte. Zudem sind nicht alle Pflanzenarten auf der Liste aufgeführt, sodass der Exkursionsleiter und die Betreuer mit weiteren Bestimmungshilfen

unterstützen müssen. Nach kurzen Erläuterungen können diese Probleme jedoch behoben werden. Trotz der anfänglichen Schwierigkeiten können die Schüler die Vegetationsaufnahme selbstständig durchführen. Um 11:30 Uhr kann planmäßig aufgeräumt werden, weil alle Gruppen mit ihren Untersuchungen fertig sind. Während einige Schüler pünktlich mit der Datenerhebung fertig werden, konnten andere bereits mit der Auswertung beginnen. Um 11:50 Uhr sind alle Gruppen an der Blockhütte eingetroffen, wo die Materialien wieder in die Gemeinschaftsbox verstaut werden. Die Abschlussrunde mit Feedback erfolgt vor Ort und die Schüler teilen ihre Eindrücke und Meinungen mittels der Blitzlicht-Methode mit, wobei die Aspekte protokolliert werden und der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen sind.

Tab. 7: Feedback des Leistungskurses zur Exkursion (eigene Darstellung)

Positiv	Negativ
<ul style="list-style-type: none"> • Abwechslung im Vergleich zum normalen Unterricht • 4er Gruppen sind gut • Zeit war super • Vorbereitung in der Schule war gut • Alles war gut beschriftet und gut zu finden • Exkursion war gut 	<ul style="list-style-type: none"> • Teilweise überfordert (vor allem Arbeitsblätter; vorher alles zusammen durchgehen) • Vegetationsaufnahme: bessere Bilder • Wenige Pflanzenarten vorhanden • Filterpapier vom Wasser • Vom Moor hat man wenig gesehen • Gruppenleiter nicht unbedingt notwendig

Anschließend erfolgt die Rückkehr zum Hunsrück-Haus, wo die Schüler eine Mittagspause machen können. Gegen 12:35 Uhr wird die Rückfahrt zur Schule angetreten.

4.4 Mooruntersuchung

In diesem Kapitel werden die Datenerhebungen der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme vorgestellt, um die Beschreibung der dazugehörigen Unterrichtsstunde nicht durch Diagramme und Tabellen zu unterbrechen. Abgesehen von den Gruppen drei und vier, die ihre Wasserprobe am gleichen Standort entnommen haben, wurden stets unterschiedliche Probestellen untersucht.

Bei der Gewässergüte ist der pH-Wert mit pH-Papier gemessen worden, während die Gesamthärte mit einem Nachweisreagenz bestimmt wurde. Die Werte der Gruppen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab. 8: pH-Wert und Gesamthärte [°d] im Moor Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung)

Parameter	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
pH-Wert	4,9	6,0	5,0	5,4	4,8
Gesamthärte [°d]	2,0	3,0	9,0	10,0	3,0

Der niedrigste pH-Wert mit 4,8 ist bei der fünften Gruppe gemessen worden, wobei die erste und dritte Gruppe mit 4,9 und 5,0 einen ähnlichen pH-Wert feststellen können. Dagegen weist die zweite Gruppe den höchsten pH-Wert mit 6,0 auf. Mit einem pH-Wert von 5,4 befindet sich die vierte Gruppe exakt in der Mitte der beiden Ausprägungen. Die Gesamthärte beträgt bei den Gruppen eins, zwei und fünf 2,0 bzw. 3,0 °d, während bei der dritten und vierten Gruppe eine Gesamthärte von 9,0 bzw. 10,0 °d gemessen worden ist.

Bei der Gewässergüte sind der Nitrat-, Ammonium-, Nitrit- und Phosphatgehalt des Oberflächenwassers bestimmt worden, wobei der anorganische Stickstoffgehalt aus den ersten drei Werten berechnet worden ist. Die durch Umrechnung erhaltenen Stickstoff- und Phosphorgehalte der verschiedenen Spezies sind der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

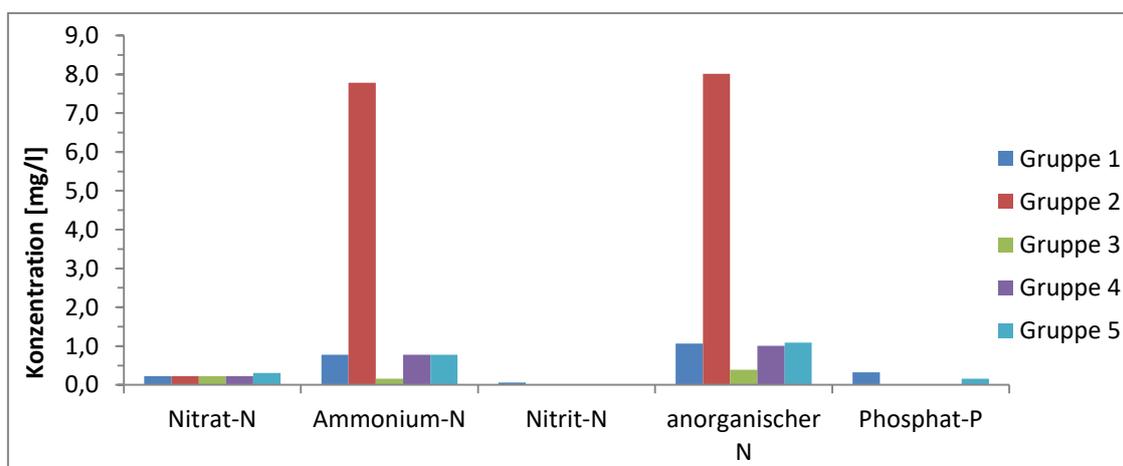


Abb. 11: Konzentrationen [mg/l] des Nitrat-N, Ammonium-N, Nitrit-N, anorganischen Stickstoffs und Phosphat-P im Oberflächenwasser des Moores Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung)

Bei vier Proben betragen die Konzentrationen des Nitrat-Stickstoffs 0,2 mg/l, während der Gehalt bei Gruppe fünf geringfügig größer ist. Auffällig ist vor allem der hohe Stickstoffgehalt des Ammoniums der zweiten Gruppe, der eine Konzentration von nahezu 8 mg/l aufweist, während drei Gruppen lediglich eine Konzentration von 0,8 mg/l bestimmt haben. Bei Gruppe drei ist nur eine Konzentration von 0,2 mg/l festzustellen. Anhand der Abbildung lässt sich erkennen, dass Nitrit nur bei der ersten Gruppe nachgewiesen werden kann. Bei der Summierung der anorganischen Stickstoffverbindungen lässt sich entsprechend ihrer hohen Ammoniumkonzentration die höchste Konzentration bei der zweiten Gruppe feststellen, während die dritte Gruppe mit 0,4 mg/l die geringste anorganische Stickstoffkonzentration zeigt. Die übrigen Gruppen weisen einen ähnlichen anorganischen Stickstoffgehalt von etwa 1,0 mg/l auf. Phosphat ist nur bei zwei Gruppen nachgewiesen worden: Die erste Gruppe hat eine Konzentration von 0,3 mg/l gemessen, während die fünfte Gruppe eine geringfügig niedrigere Konzentration an Phosphat-Phosphor von 0,2 mg/l aufweist.

Bei der Vegetationsaufnahme sind alle Arten der fünf verschiedenen Untersuchungsflächen mit einer Größe von fünf Quadratmetern aufgelistet und die Artmächtigkeit bestimmt worden. Der nachfolgenden Tabelle ist die Artmächtigkeit der jeweiligen Gruppe zu entnehmen.

Tab. 9: Artmächtigkeit der Vegetationsaufnahmen am Moor Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung)

Art	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Adlerfarn	3	2	5	1	3
Blaues Pfeifengras			5	3	3
Faden-Segge		5			4
Fichte	+	+		1	+
Flutterbinse				3	5
Frauenhaarmoos	3			1	
Glatte Segge	+	5			
Sumpf-Kratzdistel		+	+	+	
Sumpf-Weidenröschen				+	
Torfmoose	4	3	5	3	5
Wurmfarn			1	2	

Insgesamt sind elf verschiedene Pflanzenarten gefunden worden, die jedoch nicht in jeder Untersuchungsfläche vertreten sind. Die meisten Arten sind an den Standorten der vierten Gruppe und die wenigsten bei der ersten und dritten Gruppe gefunden worden. In den letzten beiden Untersuchungsflächen dominieren bestimmte Arten, die sich durch eine hohe Artmächtigkeit auszeichnen, während die bei der vierten Gruppe keine dominante Art festzustellen ist. Insgesamt sind vier verschiedene Grasarten gefunden worden, dagegen mit der Fichte nur eine Baumart, die zudem nur eine geringe Artmächtigkeit aufweist. Torfmoose und der Adlerfarn kommen in allen Untersuchungsflächen vor, während das Sumpf-Weidenröschen nur bei der vierten Gruppe gefunden worden ist.

Ausgehend von den gefundenen Arten und der jeweiligen Artmächtigkeit sind die mittleren quantitativen Zeigerwerte nach Ellenberg berechnet worden. In der nachfolgenden Abbildung sind die Lichtzahl (L), Feuchtezahl (F), Reaktionszahl (R) und die Stickstoffzahl (N) der fünf verschiedenen Untersuchungsflächen dargestellt. Die Torfmoose sind bei der Berechnung nicht berücksichtigt worden, weil diese nicht bis zur Art bestimmt wurden und demnach keine Zeigerwerte zugeordnet werden können.

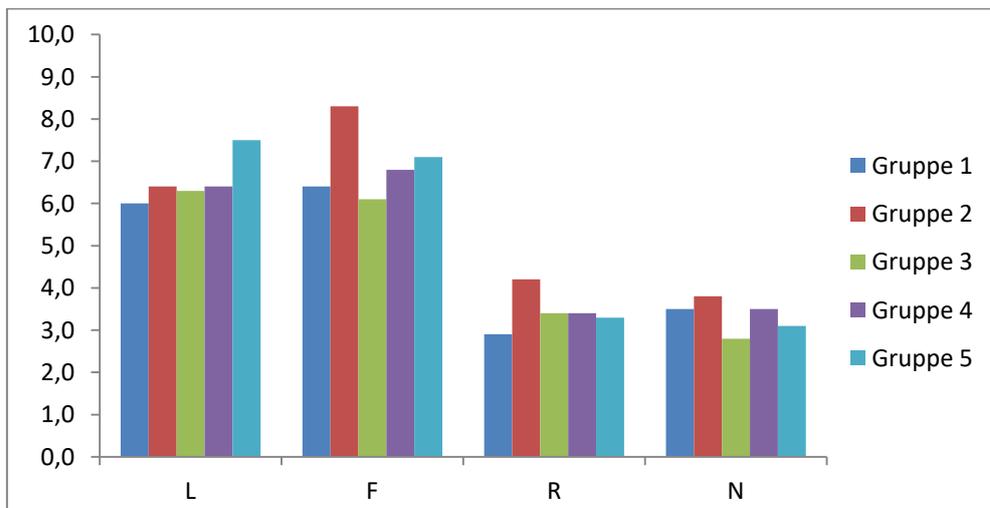


Abb. 12: Mittlere quantitative Zeigerwerte nach Ellenberg des Moores Ehlesbruch der Gruppen eins bis fünf (eigene Darstellung)

Auffällig ist, dass innerhalb jeder Kategorie nur geringe Unterschiede zwischen den Werten festzustellen sind, sodass sich die Untersuchungsflächen im Großen und Ganzen ähneln. Bei der Lichtzahl weisen die ersten vier Gruppen mit 6,0 bis 6,4 ähnliche Werte auf, während bei der fünften Gruppe mit 7,5 eine größere Lichtzahl festzustellen ist. Größere Schwankungen sind bei der Feuchtezahl zu beobachten, da der niedrigste Wert bei der zweiten Gruppe mit 6,1 und der größte Wert bei Gruppe drei mit

8,3 liegt. Sehr ähnlich sind dagegen die Werte der Reaktionszahl, insbesondere bei den letzten drei Gruppen, die bei 3,3 und 3,4 liegen. Der kleinste Wert ist bei der ersten Gruppe festzustellen, wobei er mit 2,9 nur geringfügig niedriger ist. Die zweite Gruppe weist mit 4,2 die größte Reaktionszahl auf. Die geringen Unterschiede sind auch bei der Stickstoffzahl festzustellen, weil sich die Werte der fünf Untersuchungsflächen zwischen 2,8 und 3,8 befinden.

4.5 Nachbereitende Stunde zur Auswertung der Exkursion

Die nachbereitende Stunde zur Exkursion findet in der darauffolgenden Unterrichtsstunde am 22.08.2019 im ersten Teil einer Doppelstunde von 10:00 bis 11:00 Uhr statt, wobei die eingeplanten 45 Minuten für die Inhalte nicht ausgereicht haben. Daher ist ein Teil der zweiten Stunde für die Besprechung der Gesamtauswertung verwendet worden.

Nach der Begrüßung greift die Lehrkraft die an die Exkursion anknüpfenden Schritte des wissenschaftlichen Arbeitens auf, die mit der PPP visualisiert werden. Dies dient als Checkliste für die bereits erledigten und noch ausstehenden Schritte. Die Lehrkraft erläutert, dass zunächst die Ergebnisse innerhalb der Experten ausgewertet werden müssen, falls jene Aufgabe noch nicht vor Ort erfolgt ist, wobei dies bei einem Großteil des Kurses bereits erledigt wurde. Anschließend sollen die Schüler ihre Ergebnisse innerhalb der Gruppen austauschen und mithilfe eines Arbeitsblatts die Gruppenauswertung durchführen. Währenddessen tragen die Schüler gruppenweise ihre Ergebnisse in vorgefertigte Excel-Tabellen ein, welche für die im Unterrichtsgespräch stattfindende Gesamtauswertung verwendet werden.

Die für die Gruppenauswertung eingeplanten 25 Minuten reichen nicht für alle Gruppen aus, was insbesondere auf jene zutrifft, deren Experten ihre Ergebnisse noch nicht ausgewertet haben. Andere Gruppen können dennoch die Gruppenauswertung vollständig durchführen. Die Lehrperson bricht daher nach 30 Minuten die Erarbeitungsphase ab, um die Ergebnisse innerhalb der Gruppen zu vergleichen. Für die Gesamtauswertung erhalten die Schüler ein Arbeitsblatt, auf dem sie zunächst die Forschungsfrage und Hypothesen eintragen, die von der Lehrkraft an die Tafel geschrieben wer-

den. Bevor die Ergebnisse interpretiert werden, erfolgt zunächst eine Beschreibung von den Schülern.

Die pH-Werte der Gruppen befinden sich im Bereich von 4,8 bis 6,0, sodass die Säure-Basen-Verhältnisse des Untersuchungsgebiets von den Schülern in den neutralen Bereich eingeordnet werden. Beim Vergleich mit den ökologischen Moortypen lässt sich das Untersuchungsgebiet als subneutral und folglich als basisches Moor klassifizieren. Auf die ermittelten Gesamthärten wird aus zeitlichen Gründen nicht näher eingegangen. Bei den Nährstoffverhältnissen, die in einem Säulendiagramm dargestellt werden, fällt einem Schüler vor allem die hohe Konzentration des Ammonium-Stickstoffs der zweiten Gruppe auf, die sich auch im anorganischen Gesamtstickstoff widerspiegelt. Er stuft dies als übermäßige Belastung ein. Die Lehrperson erklärt in diesem Zusammenhang, dass bei Mooren ein hoher Ammoniumgehalt nicht ungewöhnlich ist und sich die Bewertungsstufen auf Fließgewässer beziehen. Aus diesem Grund besteht nur eine begrenzte Gültigkeit der Bewertungsstufen, was bei der Interpretation berücksichtigt werden muss. Ein weiterer Schüler beschreibt, dass Nitrit und Phosphat bei manchen Gruppen gar nicht nachgewiesen worden ist. Die gemessene Nitrit-Konzentration ist nicht sehr hoch, sodass die Wasserprobe noch als „gut“ bewertet wird. Dagegen bewertet der Schüler die beiden phosphathaltigen Wasserproben mithilfe der Bewertungsstufen als „kritisch belastet“ bzw. „mäßig belastet“. Ein Schüler beschreibt, dass Nitrat in allen Wasserproben nachgewiesen worden ist, aber keine Belastung festzustellen ist, weil alle Konzentrationen geringer als 1 mg/l betragen. Der Lehrkraft fragt, welchem ökologischen Moortypen die Schüler das Moor zuordnen würden. Dem Untersuchungsgebiet wird das Basen-Zwischenmoor als ökologischer Moortyp durch einen Schüler zugeordnet. Allerdings gibt er zu bedenken, dass die anderen Gruppenergebnisse das Moor als polytroph und somit als Reichmoor klassifizieren. Die Schüler erscheinen unschlüssig, welchem ökologischen Moortyp sich das Moor zuordnen lässt. Daher erfahren sie Unterstützung durch die Lehrkraft, indem sie an den Nachteil chemisch-physikalischer Parameter, der im Expertenvortrag im Hunsrückhaus erwähnt wurde, erinnert. Daraufhin erwidert ein Schüler, dass diese Parameter nur den aktuellen Zustand an dieser Stelle zeigen. Die Lehrkraft bestätigt dies und fügt hinzu, dass mehrere Proben über einen längeren Zeitraum untersucht werden müssen, um aussa-

gekräftigte Daten zu erhalten. Zudem ist das Moor im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen wiedervernässt worden, sodass eine vermehrte Nährstofffreisetzung durchaus auftreten kann. Da die Schüler jedoch der erste Kurs ist, mit dem das Projekt durchgeführt wurde, können keine Vergleichsdaten herangezogen werden und die Zuordnung erfolgt unter Vorbehalt. Die Vegetationsaufnahme und die Zeigerwerte können aus zeitlichen Gründen nur kurz beschrieben werden. Zudem fällt der Lehrperson auf, dass bei der Berechnung der Zeigerwerte aufgrund einer missverständlichen Formulierung der Aufgabe Fehler aufgetreten sind, sodass diese nochmals berechnet werden müssen.

Insgesamt beschränkt sich die Beteiligung während dieser Phase auf nur fünf Schüler und die Lehrkraft muss gezielte Fragen stellen, um die Schüler bei der Auswertung der Daten unterstützen zu können. Für die Sicherungsphase sind 25 Minuten aufgebracht worden, wobei nicht alle Ergebnisse im Detail besprochen werden konnten.

4.6 Nachbereitende Stunden zum Moorschutz

Für die Bearbeitung der Themen bezüglich des Moor-, Klima- und Umweltschutzes sind drei Stunden verwendet worden. Die Recherche der Informationen erfolgt am 22.08.2019 von 11:00 bis 11:35 Uhr, da die Sicherung bezüglich der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Exkursion zu viel Zeit in Anspruch genommen hat. In der Doppelstunde am darauffolgenden Tag, dem 23.08.2019, von 10:00 Uhr bis 11:15 Uhr erfolgt die Erstellung der Plakate. Anschließend wird die Betrachtung der Lernprodukte bis zum Stundenende um 11:35 Uhr vorgenommen.

Der Einstieg erfolgt als stiller Impuls, bei dem die Lehrkraft drei Abbildungen mithilfe einer PPP zeigt: Bei der einen handelt es sich um eine Karikatur zur Klimakonferenz, die andere stellt den Anteil der verbliebenen Moore ausgehend von ihrer maximalen Verbreitung für alle Länder der Welt dar. Als dritte Abbildung wird der Bau eines Stauwerkes im Nationalpark Hunsrück-Hochwald gezeigt, um ein Moor im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen wiederzuvernässen. Die Schüler äußern ihre Vermutungen zu dem heutigen Thema, die kommentarlos von der Lehrkraft an die Tafel geschrieben werden. Zunächst wird die Karikatur von einem Schüler beschrieben und er interpre-

tiert diese, dass beim Klimaschutz erst gehandelt wird, wenn es zu spät ist. Ein weiterer Schüler ergänzt, dass der Lebensstandard nicht geändert werden soll, um das Klima zu retten. Bei der Weltkarte erklärt ein Schüler, dass es in Europa immer weniger Moore gibt, in Afrika teilweise gar keine mehr, während in Amerika noch viele Moore vorhanden sind. Bei dem Bild, welches die Moorrenaturierung zeigt, haben die Schüler Probleme, dies zu interpretieren, zumal die Abbildung zu klein und aufgrund der Lichtverhältnisse nicht gut zu erkennen ist. Ein Schüler äußert seine Vermutung, dass dort Torf abgebaut wird. Da keine weiteren Beiträge erfolgen, fasst die Lehrkraft die Schüleräußerungen zu Oberbegriffen zusammen: Bezüglich der Klimakonferenz steht als Themenkomplex der Klimawandel im Fokus, während sie die Beiträge zu den Mooren als Moorschutz zusammenfasst. Das Bild zur Moorrenaturierung ist falsch interpretiert worden, sodass sie die richtige Intention des Bildes erläutert. Anschließend erklärt sie, dass die Schüler zu verschiedenen Themen, die unter diesen Themenkomplexen zusammengefasst sind, Plakate erstellen sollen. In der verbliebenen Zeit sollen sie im Computerraum nach Informationen recherchieren, was als Hausaufgabe fertig gestellt werden soll. Am nächsten Tag werden dann die Plakate erstellt. Die Themen werden mithilfe der PPP visualisiert und den aus zwei bis drei Schülern bestehenden Gruppen zugeteilt. Zudem weist die Lehrkraft die Schüler daraufhin, dass die Plakate benotet werden. Die Kriterien sind bekannt, weil in der Vergangenheit bereits mehrfach eine Benotung von Plakaten vorgenommen wurde. In der Erarbeitungsphase erfolgt die selbstständige Recherche zu den verschiedenen Themen und die Lehrperson muss nur Fragen zur Themeneingrenzung beantworten. Am nächsten Tag erstellen die Schüler in ruhiger Atmosphäre ihre Plakate. Ihre Texte und Bilder haben sie ausgedruckt mitgebracht, sodass diese Phase ebenfalls selbstständig ausgeführt wird. Nach 75 Minuten können alle Gruppe ihre Plakate fertigstellen, die zum Anschauen und Lesen im Unterrichtsraum verteilt werden. Da es sich um selbsterklärende Plakate handelt, müssen sie nicht vorgestellt werden. Eine gemeinsame Reflexion erfolgt nicht, weil sie benotet werden. In Absprache mit dem Nationalpark können die Plakate, die dem Anhang (Anhang 8.3) zu entnehmen sind, im Hunsrück-Haus für eine gewisse Zeit ausgestellt werden.

5 Diskussion

5.1 Erste vorbereitende Stunde

Aus den Beobachtungen der Einzelfallstudie lässt sich feststellen, dass die erste vorbereitende Stunde weitestgehend so durchgeführt werden konnte, wie es in der Planung vorgesehen war. Zwar konnte die Sicherung erst in der nachfolgenden Stunde erfolgen, was jedoch auf die Besprechung der organisatorischen Aspekte zur Teilnahme der Schüler an der wissenschaftlichen Untersuchung im Rahmen der vorliegenden Arbeit zurückzuführen ist. Dies hat jene zehn Minuten erfordert, die für die Sicherung eingeplant waren, sodass das Zeitmanagement kein Problem darstellt. Die Einzelfallstudie spricht für die Auswahl der Inhalte und der Schwerpunktsetzung der ersten Stunde, weil bei den Schülern nur wenige Vorkenntnisse zu Mooren vorhanden sind. Demnach ist es sinnvoll, zunächst allgemein zu klären, was ein Moor ist und dann auf die allgemeine Unterscheidung zwischen Hoch- und Niedermooren einzugehen. Dies ist auch für die Umweltbildung relevant, weil somit Umweltwissen generiert wird, das eine wichtige Voraussetzung für Umweltverhalten darstellt. Die Struktur der Unterrichtsstunde folgt einem roten Faden, denn ausgehend von den Erkenntnissen, was ein Moor ist und dass es verschiedene Moortypen gibt, sind die Unterschiede der Hoch- und Niedermoore erarbeitet worden. Ebenso ergibt sich aus der Überleitung zur Hausaufgabe, dass die Realität deutliche komplexer ist und eine genauere Differenzierung der Moore erfolgen muss, der Schwerpunkt der nachfolgenden Stunde. Daher ist aus der vorbereitenden Unterrichtseinheit eine klare Struktur erkennen.

Bezüglich der verwendeten Materialien lässt sich aus den Unterrichtsbeobachtungen schließen, dass die PPP ein gutes Hilfsmittel ist, um die Überleitungen und Arbeitsaufträge zu visualisieren. Dennoch kann für die im Einstieg verwendete Folie zur Definition von Mooren eine alternative Methode eingesetzt werden, in der sich die Schüler diese selbst erarbeiten. Hierfür sollen sie nach Sammlung ihrer Vermutungen verschiedene Eigenschaften von Mooren und Sümpfen zuordnen. Dies kann mit großen Schildern umgesetzt werden, die an die Tafel gehängt und den beiden Feuchtgebieten zugeordnet werden sollen. Die Eigenschaften des Moores sind die permanente Wassersättigung, der unvollständige Abbau der organischen Substanz und das Vorhandensein von

Torf, im Gegensatz zu denen eines Sumpfes, welcher sich durch gelegentliches Austrocknen, einem vollständigen Abbau der organischen Substanz und die Abwesenheit von Torf auszeichnet. Diese Methode ermöglicht eine hohe Schüleraktivität und eigenständige Erarbeitung der Definition, weshalb sie der ursprünglichen Variante, bei der sie von der Lehrperson vorgegeben, vorzuziehen ist. Ein weiterer Vorteil der Gegenüberstellung der beiden Feuchtgebiete ergibt sich aus der Tatsache, dass diese Begriffe in der Umgangssprache fälschlicherweise synonym verwendet werden und somit eine klare Abgrenzung für die nachfolgenden Unterrichtsstunden erfolgt. Die Definition der Moore und die Abgrenzung von Sümpfen kann anschließend von den Schülern auf dem Arbeitsblatt ergänzt werden, sodass die vorgegebene Definition durch eine eigene Formulierung ersetzt wird. Für den Einstieg müssen dementsprechend insgesamt etwa zehn Minuten eingeplant werden, die durch eine im Anschluss erläuterte Verkürzung des Films gewonnen werden können.

Aus den Unterrichtsbeobachtungen kann die Feststellung getroffen werden, dass sich der Film für die Erarbeitung der Unterschiede zwischen Hoch- und Niedermooren sowie um einen ersten Eindruck zu diesen Ökosystemen zu gewinnen, als hilfreich erweist. Gleiches gilt für die Verwendung des Arbeitsblattes, deren ansprechende und verständliche Gestaltung sich darin widerspiegelt, dass die Schüler keine Fragen zu den Aufgaben haben und diese in der Besprechung, welche aus den oben genannten Gründen in der nachfolgenden Stunde erfolgt, korrekt beantworten können. Hierbei muss allerdings die vorgegebene Definition entfernt werden, damit die Schüler ihre eigene Formulierung ausgehend von den Zuordnungen an der Tafel notieren können. Lediglich die letzte Aufgabe zur Moornutzung ist nicht zielführend für diese Stunde, sodass sie für zukünftige Durchführungen des Projekts vernachlässigt werden kann. Dementsprechend erübrigen sich auch die letzten zehn Minuten des Films, die ebenfalls nichts mit dem eigentlichen Stundenthema zu tun haben. Damit werden jene zehn Minuten Unterrichtszeit gewonnen, die für die Erweiterung des Einstiegs genutzt werden können. Die Visualisierung der Tabelle in einer PPP und die mündliche Besprechung der anderen Aufgaben haben sich als gute Methoden herausgestellt, sodass dies bei zukünftigen Durchführungen des Projekts beibehalten werden kann. Als Überleitung zur Hausaufgabe, in der die hydrologischen ökologischen Moortypen eingeführt werden, kann

die Lehrperson eine Abbildung aus einer Fachzeitschrift zeigen, auf der die Moore im Hunsrück schematisch dargestellt sind. Der Frageanreiz liegt in der Nennung von hydrologischen Moortypen, wodurch die Schüler die Problematik erkennen, dass es offenbar noch andere Moortypen gibt. Abgesehen von den zuvor aufgeführten Änderungen kann nach den Erkenntnissen der Einzelfallstudie die erste vorbereitende Unterrichtsstunde weiterhin so durchgeführt werden.

5.2 Zweite vorbereitende Stunde

Zunächst wird aus Übersichtsgründen die erste Hälfte der Doppelstunde, in der sich die Schüler näher mit den hydrologischen Moortypen beschäftigen, reflektiert. Anschließend erfolgt die Reflektion der zweiten Hälfte, welche den Nationalpark fokussiert.

Die Ergebnisse der Hausaufgabenbesprechung zeigen, dass die Mindmap zur Strukturierung der verschiedenen Moortypen eine sinnvolle Methode ist, weil dadurch den Schülern die Komplexität der Moore bewusst wird und sie gleichzeitig eine gute Übersicht haben, was angesichts der Vielfalt der Fachbegriffe von großer Bedeutung ist. Lediglich die Tabelle muss überarbeitet werden, indem die N_C -Werte der ökologischen Moortypen durch die Konzentration des Gesamtstickstoffs ersetzt werden. Der N_C -Wert kann aus technischen Gründen nicht bei der Mooruntersuchung bestimmt werden kann, weshalb die Konzentration des Gesamtstickstoffs herangezogen werden muss. Demzufolge ist der N_C -Wert für die Schüler irrelevant, aber bei der Auswertung kann er zu Fehlern führen, falls sie versehentlich den falschen Wert heranziehen. Die didaktische Reduktion erfolgt daher durch Vernachlässigung dieser Werte.

Hinsichtlich der Auswahl und Strukturierung der Inhalte der ersten Hälfte lässt sich aus den Unterrichtsbeobachtungen die Erkenntnis gewinnen, dass die hydrologischen Moortypen, die exemplarisch für die im Nationalpark vertretenen Hang-, Quell- und Regenmoore erarbeitet werden, als sinnvoll zu betrachten sind. Ausgehend von den Hausaufgaben, die zur Strukturierung der verschiedenen Moortypen dient, erfolgen die Erkenntnis, dass im Nationalpark nur diese drei Moortypen vertreten sind und die Frage, wie sich diese voneinander unterscheiden. Dies führt zur Erarbeitungsphase und gibt innerhalb der Unterrichtsstunde, aber auch im Verlauf der vorbereitenden Stun-

den, einen roten Faden vor, weil die Schüler Moore allgemein und anschließend differenzierter betrachten. Auch die didaktische Reduktion, bei der die Eigenschaften der Regen- statt der Übergangsmoore erarbeitet werden, hat sich als sinnvoll erwiesen. Der Grund ergibt sich daraus, dass die Übergangsmoore Eigenschaften von Regenmooren und anderen Moortypen aufweisen und folglich die Schüler zwei Moortypen erarbeiten müssten. Auch unter Betrachtung der Umweltbildung ist die Auswahl der Inhalte zu rechtfertigen, weil die Vielfalt der Moore veranschaulicht wird und dies von den Schülern als spannend empfunden werden kann. Somit wird ein emotionaler Zugang ermöglicht. Dieser Aspekt und die Differenzierung des Umweltwissens sind für die Generierung von Umweltverhalten von großer Bedeutung. Abgesehen von der Besprechung der Aufgaben zum Film, die aus den im vorangegangenen Kapitel erläuterten Gründen in dieser Stunde erfolgen muss, kann der Unterricht wie geplant durchgeführt werden. Lediglich die selbstständige Gruppeneinteilung hat zu viel Zeit erfordert, so dass diese mehr von der Lehrkraft geleitet werden sollte. Aus den Beobachtungen während der Erarbeitungs- und Sicherungsphase lässt sich folgern, dass die Arbeitsblätter ansprechend und verständlich gestaltet worden sind, weil die Schüler selbstständig und ohne Hilfestellung durch die Lehrkraft arbeiten konnten. Bedingt durch das unterschiedliche Arbeitstempo verschiedener Gruppen sollte eine weiterführende Aufgabe für schnelle Schüler erstellt werden. Diese kann im Anschluss an den Austausch der Ergebnisse der Experten erfolgen, indem sich die Schüler mit der Frage beschäftigen, warum es im Hunsrück keine Regenmoore geben kann, sondern die Moore stets in einem Übergangszustand bleiben. Hierfür müssen die Schüler die gewonnenen Kenntnisse zur geringen Torfmächtigkeit der Hang- und Quellmoore anwenden und zu dieser Schlussfolgerung gelangen: Die Übergangsmoore stehen aufgrund der geringen Torfschicht immer in Kontakt mit dem Bodenwasser, weshalb sich keine Regenmoore entwickeln können, deren Torfwachstum nur vom Niederschlag abhängig ist. Für den weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit sowie für die Exkursion sind dieses zusätzliche Wissen sowie die Anwendung der gewonnenen Kenntnisse zu den hydrologischen Moortypen nicht notwendig, sodass diese Aufgabe nicht bearbeitet werden muss und als Zusatzaufgabe zu betrachten ist. Die Beobachtungen der Einzelfallstudie liefern gute Anhaltspunkte, dass die Sozialform des Gruppenpuzzles infolge der zeitökonomischen und selbstständigen Erarbeitung des Lerngegenstands durch die Schüler in die-

ser Stunde als sinnvoll zu bewerten ist. Obwohl die Sicherung der Ergebnisse selbstständig von den Schülern erfolgt, sollte die Lehrkraft am Ende der Stunde durch eine Wissensabfrage feststellen, ob die Aufgaben ordnungsgemäß bearbeitet worden sind. Dies kann beispielsweise durch ein kurzes Quiz mit jeweils zwei Fragen zu den drei hydrologischen Moortypen geschehen und dient für die Schüler als Selbstkontrolle. Mit dieser spielerischen Form können die Schüler motiviert werden, die Aufgaben gewissenhaft zu erledigen. Hierfür sollten fünf Minuten eingeplant werden, die durch eine Verkürzung der Einstiegs- und Erarbeitungsphase gewonnen werden können. Dies ergibt sich daraus, dass für die Besprechung der Hausaufgaben weniger als zehn Minuten benötigt werden und bei einer durch die Lehrkraft gesteuerten Einteilung der Gruppen einige Minuten gewonnen werden können.

Die zweite Hälfte der Doppelstunde beschäftigt sich näher mit dem Nationalpark und dient zugleich zur Klärung der organisatorischen Aspekte hinsichtlich der bevorstehenden Exkursion. Nach der Einzelfallstudie zeigt sich, dass der reale Verlauf genauso durchgeführt worden ist, wie er im Vorfeld geplant wurde und sich aus den Beobachtungen als sinnvoll erwiesen hat. Dennoch sollte der Verlauf für eine zukünftige Umsetzung abgewandelt werden, was sich aus den Beobachtungen der Exkursion ergibt. Dabei muss eine Änderung der Schwerpunkte des Expertenvortrags erfolgen, indem einige Aspekte in die vorbereitende Stunde verlagert werden müssen. Demnach steht dem Ranger mehr Zeit zur Verfügung, um die verschiedenen Aufgaben zur Mooruntersuchung mit den Schülern zu besprechen. In diesem Zusammenhang ergibt sich ein alternativer Verlauf für die vorbereitenden Stunde, der nachfolgend beschrieben wird: Die einleitende Frage, was ein Nationalpark ist und die dadurch bedingte Sammlung der Schülerbeiträge kann ebenso wie die Vorstellung der verschiedenen Bereiche im Nationalpark weiterhin durchgeführt werden. Aus den Unterrichtsbeobachtungen zeigt sich, dass die Schülerbeteiligung zur Abfrage von außerschulischem Vorwissen sehr motivierend ist. Für diese Einstiegsphase können fünf Minuten eingeplant werden, weil lediglich die Informationen präsentiert werden, die für die Exkursion von Bedeutung sind. Als Medium zur Visualisierung eignet sich weiterhin die PPP, wobei die Schülerbeiträge an der Tafel gesammelt werden.

Nach diesem Vortrag erhalten die Schüler einen Informationstext, in dem das zu untersuchende Moor, seine Entwässerung und die im Zusammenhang von Renaturierungsmaßnahmen durchgeführte Wiedervernässung beschrieben werden. Dies kann als Zeitungsartikel oder Beitrag in einer Fachzeitschrift auf einer Overhead-Folie oder über einen Beamer visualisiert werden. Ausgehend von diesen Erkenntnissen sollen die Forschungsfrage und die Hypothesen formuliert werden, womit sich die Erarbeitung der Schritte des wissenschaftlichen Arbeitens ergibt. In Abhängigkeit vom Vorwissen der Schüler kann dies ohne Hilfestellung oder mit Unterstützung erfolgen. Hierbei können die einzelnen Schritte auf Schilder oder einer zerschnittenen Overhead-Folie gedruckt werden, die nur noch in die richtige Reihenfolge gebracht werden müssen. Als Sicherung erhalten sie die Reihenfolge mit ergänzenden Informationen zu jedem Forschungsschritt als Arbeitsblatt, was zugleich als Checkliste für die Exkursion und die nachbereitende Stunde dient. Anschließend sollen die Schüler bereits Überlegungen anstellen, mit welchen Methoden der Zustand des Moores erfasst werden kann. Diese Phase erfolgt analog zu dem Expertenvortrag der Exkursion und unter Verwendung der PPP, allerdings können die Schüler im fragend-entwickelnden Gespräch mit der Lehrkraft mehr in das Unterrichtsgeschehen eingebunden werden. Somit können sich die Schüler selbst die Vor- und Nachteile der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme erarbeiten. Zudem werden die Zusammenhänge zwischen der Gewässergüte/Hydrologie, der Vegetation und dem Torf mithilfe des Schaubildes beschrieben. Diese Erkenntnisse werden auf einem weiteren Arbeitsblatt festgehalten, auf dem zusätzlich kurze Informationstexte über die Gewässergüte, Vegetationsaufnahme und Zeigerwerte nach Ellenberg notiert sind, die als Vorbereitung für die Exkursion dienen. Somit haben die Schüler als Sicherung eine kurze Übersicht zu den verschiedenen Methoden, was angesichts der in der Exkursion umgesetzten Arbeitsteilung von Wichtigkeit ist. Für diese Phase werden 30 Minuten eingeplant, sodass für die organisatorischen Aspekte noch zehn Minuten zur Verfügung stehen. Die Informationen zur Exkursion und eine Packliste können bereits im Vorfeld als Elternbrief ausgeteilt werden, sodass neben möglichen Fragen nur noch die Verhaltensregeln im Nationalpark mit den Schülern aufgestellt werden müssen.

5.3 Exkursion

Ausgehend von den Beobachtungen der Einzelfallstudie erweist sich die Auswahl der Untersuchungsmethoden als geeignet, weil die Schüler sowohl bei der Gewässergüte als auch bei der Vegetationsaufnahme nur wenige Probleme haben, die jedoch nach einer kurzen Klärung durch die Betreuer behoben werden können. Zudem werden mit der Vegetationsaufnahme und der Gewässergüte teilweise die gleichen Parameter untersucht, was in Bezug auf die Einordnung der erhobenen Werte und einer möglichen Fehlerdiskussion ein nicht zu vernachlässigender Vorteil darstellt. Andererseits ergänzen sie sich gegenseitig, falls ein Parameter mit der anderen Methode nicht erfasst werden kann. Demzufolge ermöglichen die beiden Untersuchungsmethoden zusammen eine gute Zustandserfassung des Moores. Da die in der Didaktik aufgeführten Alternativen aufgrund der hohen Schutzbedürftigkeit des Moores nicht durchführbar sind, erübrigt sich die Diskussion, ob die Untersuchung der Hydrologie oder des Torfs die beiden Methoden ersetzen oder ergänzen können. Der Besuch des ALOs ist für die Umweltbildung von großer Wichtigkeit, weil den Schülern durch die Naturbegegnung ein affektiver Zugang ermöglicht und gleichzeitig durch die Untersuchung die kognitive Komponente angesprochen wird. Aus diesen Gründen leistet die Exkursion einen wichtigen Beitrag zum Umweltverhalten und kann die Entwicklung einer positiven Einstellung gegenüber Mooren maßgeblich beeinflussen.

Nachfolgend werden der reale Verlauf für jede Unterrichtsphase reflektiert sowie mögliche Alternativen aufgeführt. Der einführende Expertenvortrag, der durch eine PPP unterstützt wird, hat sich aufgrund der Beobachtungen als gute Methode erwiesen, um die Schüler auf die Untersuchungen einzustimmen. Wie im vorgegangenen Kapitel bereits diskutiert worden ist, sollten die Inhalte jedoch gekürzt werden, um der Besprechung der Aufgaben im Plenum genügend Zeit einzuräumen. Als Einstieg können weiterhin die bisherige Nutzung und die damit einhergehende Zerstörung der Moore, die Folgen der Entwässerung und der Moorschutz angesprochen werden, um die Bedeutung der Untersuchungen zu veranschaulichen. Damit der Frageanreiz zum letzten Teil der Unterrichtseinheit jedoch nicht vorweggenommen wird, sollten die Ökosystemdienstleistungen und insbesondere die Bedeutung der Moore für den Klimaschutz noch nicht angesprochen werden. Um die Schüler trotzdem für die Schutzbedürftigkeit

dieser Ökosysteme zu sensibilisieren, sodass sie sich der Wichtigkeit der Verhaltensregeln bewusst werden sowie diesen entsprechend bei den Untersuchungen Folge leisten, sollte der Ranger betonen, dass die seltenen, empfindlichen Pflanzen geschützt sind. Die Erarbeitung der unterschiedlichen Methoden und der Schritte des wissenschaftlichen Arbeitens (Anhang 5.2, Folie 9 bis 19) erübrigt sich, weil diese Aspekte bereits in der vorbereitenden Stunde besprochen wurden, was im vorangegangenen Kapitel im alternativen Verlauf beschrieben worden ist. Somit ergibt sich ein Zeitgewinn von etwa zehn Minuten. Um den Schülern dennoch die Zielsetzung der Untersuchung in Erinnerung zu rufen, werden die Forschungsfrage und die Hypothesen auf einer Folie visualisiert. Anschließend erfolgen die organisatorischen Aspekte bezüglich der Aufgabenverteilung, der Sicherheitshinweise beim Umgang mit den Chemikalien sowie des weiteren Verlaufs der Exkursion. Statt die Arbeitsblätter und Materialien erst an der Blockhütte zur Verfügung zu stellen, sollen die Schüler diese bereits im Hunsrück-Haus erhalten. Der Grund dafür ergibt sich aus den Beobachtungen, weil die meisten Schüler die Arbeitsblätter nicht durchgelesen haben und somit keine Fragen im Plenum geklärt werden konnten. Diese sind erst während der Durchführung in den einzelnen Gruppen beantwortet worden, wodurch keine Möglichkeit besteht, die Fragen für alle besprechen zu können. Zudem bietet sich für den Ranger die Möglichkeit, die wesentlichen Arbeitsschritte der einzelnen Untersuchungen kurz zu beschreiben und gegebenenfalls die Materialien zu erläutern.

Die gemeinsame Erkundung des Moores kann in der Einzelfallstudie nicht durchgeführt werden, weil die hohe Vegetation den Steg überwachsen hat, weshalb dieser aus Sicherheitsgründen durch die Rutschgefahr nicht betreten werden darf. Daraus ergibt sich die generelle Problematik bei Freilanduntersuchungen, weil diese stark von äußeren Bedingungen, wie den Witterungsverhältnissen oder in diesem Fall von der Nutzung des Stegs, abhängig sind. Dementsprechend ist eine vorherige Erkundung durch den Ranger unbedingt notwendig, um Alternativen entwickeln zu können, damit das Projekt unter den erschwerten Bedingungen dennoch durchgeführt werden kann. Zudem muss dabei berücksichtigt werden, dass die Schüler aus Sicherheitsgründen stets in Sichtweite der Betreuer oder der Lehrkraft sind, weshalb auch die Verteilung der Gruppen unter Einbezug der örtlichen Begebenheiten im Vorfeld überlegt werden

muss. Bei der Einzelfallstudie sind genügend Betreuer vor Ort gewesen, wodurch die Gruppen über das gesamte Moor verteilt werden können. In der Regel stehen jedoch nur zwei Ranger vom Nationalpark und die Lehrkraft als Aufsicht zur Verfügung, infolgedessen die Gruppenverteilung weniger flexibel erfolgen kann. Des Weiteren muss vom Ranger für die Durchführung der Gewässergüte beachtet werden, dass die Schüler möglichst im gleichen Bereich arbeiten, weil sie sich die Chemikalien sowie die Abfallkanister teilen müssen. Diese Problematik kann jedoch behoben, weil der Holzsteg erneuert und zusätzlich eine Plattform errichtet wird, auf der die Untersuchung der Gewässergüte in Zukunft durchgeführt werden kann. Die Plattform ermöglicht zudem einen Überblick über das ganze Moor. Folglich erhöht sich durch die Erneuerung die Sicherheit der Schüler und gleichzeitig wird das Biotop besser geschützt, denn der Umgang der Chemikalien erfolgt auf der Plattform anstatt auf dem Boden.

Obwohl sich die Entnahme der Wasserproben aufgrund der hohen Vegetation ebenfalls schwierig gestaltet, hat dies letztendlich keinen nachteiligen Einfluss auf die Durchführung der Gewässergüte. Auch die Vegetationsaufnahme kann aus den Beobachtungen unter diesen Bedingungen weitgehend ohne Probleme durchgeführt werden. Hinsichtlich des weiteren Verlaufs und des Zeitmanagements lässt sich aus den Erkenntnissen der Einzelstudie die Schlussfolgerung ziehen, dass diese so beibehalten werden können. Dennoch können einige methodische Aspekte optimiert werden, die nachfolgend beschrieben werden. Die Arbeitsteilung innerhalb der Gruppen bezüglich der Mooruntersuchung ist angesichts des Zeitmanagements, der Informations- und Aufgabenfülle eine sinnvolle Methode, wobei der Gruppenleiter nach den Erkenntnissen der Schüler nicht notwendig ist. Zudem haben die Vierergruppen bei der Bearbeitung der Aufgaben keinen zeitlichen oder inhaltlichen Nachteil gegenüber den Gruppen mit einem Gruppenleiter erfahren. Daher sollen für zukünftige Durchführungen des Projekts Vierergruppen gebildet werden, wobei die Aufgaben des Gruppenleiters zu Beginn der Erarbeitungsphase von einem Experten der Gewässergüte durchgeführt werden. Bei der Gewässergüte sollen statt der beiden Analyseboxen ebenfalls Boxen verwendet werden, in denen lediglich die Materialien enthalten sind, die für die Gewässergüte vonnöten sind. Dadurch wird zum einen im Sinne der didaktischen Reduktion eine Überforderung der Schüler verhindert und zum anderen wird aus Grün-

den der besseren Übersicht der Verlust der Materialien minimiert. Da das Filterpapier die Wasserprobe in einer sehr langsamen Geschwindigkeit filtriert, sollte dieses für zukünftige Untersuchungen durch ein anderes Filterpapier mit höherer Filtriergeschwindigkeit ersetzt werden. Infolgedessen verlieren die Schüler weniger Zeit, die zudem aus den Beobachtungen der Einzelfallstudie zumeist ungenutzt verstrichen ist. Um eine Verschwendung des pH-Papiers zu vermeiden, sollte bereits in jeder Box ein kurzes Stück bereitliegen. Zudem sollte für eine größere Flexibilität und Vermeidung von Wartezeiten für jede Gruppe eine pH-Skala zur Verfügung stehen. Die Schüler erhalten zum Farbabgleich der getesteten Wasserproben eine Farbskala, auf der die Durchführung der einzelnen Analysen abgedruckt ist. Dementsprechend ist die Versuchsvorschrift auf dem separaten Arbeitsblatt nicht notwendig und kann in Zukunft ausgelassen werden. In diesem Zusammenhang sind die Tabellen mit den aufgeführten Materialien und Chemikalien auf dem Arbeitsblatt ebenfalls nicht mehr erforderlich. Nichtsdestotrotz sollte ein Exemplar in der Box bereitliegen, damit die Schüler einerseits eine Übersicht über die benötigten Chemikalien und Materialien haben sowie andererseits aus Sicherheitsgründen die Gefahrensymbole der verschiedenen Reagenzien besser überblicken können. Auf diesem Informationsblatt, welches immer in der Box verbleibt, sollten des Weiteren die Hinweise zur Sicherheit und Entsorgung ergänzt werden, die auch nicht mehr auf dem Arbeitsblatt der Schüler benötigt werden. Das Arbeitsblatt mit den Arbeitsaufträgen (Anhang 5.5) wird infolgedessen erheblich gekürzt, sodass lediglich die Aufgaben und Hinweise zur Auswertung der Ergebnisse aufgeführt werden müssen. Da die Position des Gruppenleiters entfällt, müssen seine Aufgaben auf dem zuvor genannten Arbeitsblatt ergänzt werden. Das Arbeitsblatt zur ökologischen Bedeutung der chemisch-physikalischen Parameter muss bei der Tabelle zu den Bewertungsstufen bei Nitrat und Ammonium überarbeitet werden. Aufgrund anderer Bedingungen im Vergleich zu Fließgewässern liegt Nitrat bei natürlichen Mooren an der Nachweisgrenze, während die Ammoniumkonzentration in Mooren höher sein kann und daher im Vergleich zu Fließgewässern erst ab einem höheren Gehalt als Belastung einzustufen ist. Demzufolge müssen bei Nitrat und Ammonium eine bestimmte Konzentration als Grenzwert festgelegt werden, sodass lediglich eine Bewertung erfolgen muss, ob eine Belastung durch diesen Parameter vorliegt oder nicht. Aus den Beobachtungen lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Untersuchung

der Gewässergüte inklusive der verwendeten Materialien unter Berücksichtigung der zuvor aufgeführten Verbesserungen weiterhin so durchgeführt werden kann. Die Sicherheit der Schüler beim Umgang mit den Chemikalien konnte aufgrund der Schutzkleidung und der Tropföffnung der Behältnisse gewährleistet werden. Zudem haben die Tablett eine gute Unterlage für die Chemikalien ermöglicht, sodass auch die Gefährdung des Moores als gering einzustufen ist. Nichtsdestotrotz ist der sachgemäße Umgang durch die Schüler eine grundlegende Voraussetzung. Die Auswahl der untersuchten Parameter ist als sinnvoll zu bewerten, was im Kapitel zur Auswertung der Exkursion unter Einbezug der erhobenen Daten diskutiert wird.

Hinsichtlich der Überforderung aufgrund der vielen Arbeitsblätter bei der Vegetationsaufnahme, insbesondere bei der Bestimmungsliteratur, ist auch an dieser Stelle eine Optimierung der Materialien angebracht. Statt der Hintergrundinformationen, des Posters und des Arbeitsblatt mit ergänzenden Pflanzenarten kann ein Karteikartensystem angelegt werden. Hierfür werden eine Zeichnung des Habitus, analog zu den Abbildungen auf dem Poster, sowie eine Nahaufnahme eines besonderen Merkmals dieser Pflanzenart auf der Vorderseite einer Karteikarte (DIN A5) abgedruckt. Auf der Rückseite befinden sich Beschreibungen der äußeren Erscheinung und der bevorzugten Standorten in Form eines Steckbriefs. Diese Karteikarten werden in einem Ringbuch abgeheftet, sodass diese nach Bedarf ohne großen Aufwand von dem Ranger ergänzt oder entfernt werden können. Mit dieser Methode ist zum einen eine bessere Übersicht gewährleistet und zum anderen kann die Bestimmungsliteratur, welche in der Gruppenbox verbleibt, flexibler angepasst werden, da nicht das gesamte Material überarbeitet werden muss. Die Torfmoosarten können nach Möglichkeit durch den Ranger bestimmt und vorgegeben werden, damit die Schüler die für Moore charakteristischen Pflanzenarten in der Zeigerwertanalyse einbeziehen können. Für die Zeigerwertanalyse ist unbedingt eine Beispielrechnung erforderlich, weil aus den Beobachtungen der nachbereitenden Stunde hervorgegangen ist, dass alle Gruppen den gleichen Rechenfehler gemacht haben. Da manche Pflanzenarten ein indifferentes Verhalten bei einem Zeigerwert zeigen, dürfen diese und somit auch ihre Artmächtigkeit nicht in die Berechnung einbezogen werden. Um dies für die Schüler verständlicher zu machen, soll eine Beispielrechnung die Problematik hervorheben, sodass der Fehler

nicht mehr auftreten kann. Aus Übersichtsgründen soll auch die Anzahl der Pflanzenarten mit den Zeigerwerten entsprechend der Bestimmungsliteratur reduziert werden. Ansonsten legen die Beobachtungen der Einzelanalyse den Schluss nahe, dass die Vegetationsaufnahme und Berechnung der Zeigerwerte nach Ellenberg eine angemessene Methode zur Untersuchung des Moores ist, welche durch die zuvor aufgeführten Aspekte optimiert werden kann.

Zuletzt soll die Eignung des Moores Ehlesbruch als Untersuchungsort unter Betrachtung verschiedene Aspekte geprüft werden. Aus organisatorischer Sicht eignet sich dieses Moor sehr gut als Untersuchungsort, weil es vom Hunsrück-Haus innerhalb von 15 bis 20 Minuten zu erreichen ist. Zudem befindet sich eine Blockhütte in der Nähe, die bei schlechten Witterungsverhältnissen innerhalb von fünf Minuten aufgesucht werden kann. Die zuvor aufgeführte Problematik, dass der Steg durch die Vegetation überwachsen und sehr rutschig gewesen ist, kann eventuell durch den neuen Steg behoben werden. Dennoch sollten alternative Stellen zur Probenentnahme als Absicherung, falls der Steg aufgrund der Rutschgefahr nicht betreten werden darf, zur Verfügung stehen. Das Moor befindet sich nicht in einem natürlichen Zustand, da es sich nach der Wiedervernässung noch nicht vollständig von der Entwässerung erholt hat. Der gestörte Wasserhaushalt spiegelt sich in der Dominanz des Adlerfarns und des Blauen Pfeifengrases wider, welche Zeigerpflanzen für gestörte Wasserverhältnisse darstellen. Dieser Aspekt muss daher in der Auswertung berücksichtigt werden, weil sich die Werte auf natürliche Moore beziehen. Aus den zuvor genannten Gründen sind auch nur wenige moortypischen Arten im Ehlesbruch zu finden, wobei beispielsweise der charakteristische Sonnentau (noch) gar nicht vorkommt. Hierfür würden sich andere Moore im Nationalpark besser eignen, doch unter dem Aspekt der besonderen Schutzbedürftigkeit dieser Pflanzenarten ist eine Untersuchung durch die Schüler nicht umsetzbar. Auch wenn die Bildungsarbeit eine wichtige Aufgabe des Nationalparks darstellt, ist der Schutz seltener Biotope und Pflanzenarten übergeordnet, weshalb diese Gebiete von Untersuchungen ausgeschlossen werden. Da im Ehlesbruch jedoch der Steg eine genauere Untersuchung ermöglicht und dieses Projekt zum Schutz des sensiblen Ökosystems generell nicht öfter als fünf Mal im Jahr durchgeführt werden soll, eignet sich es sehr gut als Untersuchungsgebiet für Biologiekurse, wenn die besonderen Bedin-

gungen bei der Auswertung berücksichtigt werden. Dies zeigt auf der anderen Seite den Schülern, dass bei Freilanduntersuchungen viele Faktoren in einem komplexen Zusammenhang stehen und es kein ideales Biotop gibt. Dennoch kann sich die Untersuchung des wiedervernässten Moores als vorteilhaft gegenüber den anderen Mooren im Nationalpark erweisen, weil die Schüler somit die unmittelbaren Folgen der menschlichen Eingriffe sehen und für die Schutzbedürftigkeit dieser Ökosysteme sensibilisiert werden. Dies ist im Zusammenhang mit der Umweltbildung ein wichtiger Aspekt und kann die Entwicklung von Umweltverhalten unterstützen.

5.4 Mooruntersuchung

Aus den von den Schülern erhobenen Daten lässt sich feststellen, dass das Untersuchungsgebiet bezüglich der Säure-Basen-Verhältnisse in den schwach sauren/subneutralen Bereich eingeordnet werden kann (vgl. Abb. 1). Die gemessenen pH-Werte mit 4,8 bis 6,0 befinden sich alle in diesen Bereich und führen zu dieser Schlussfolgerung. Auffällig ist, dass sich die pH-Werte der dritten und vierten Gruppe um 0,4 unterscheiden, obwohl die gleiche Wasserprobe untersucht worden ist. Hinsichtlich ihrer Gesamthärte ähneln sich die Werte jedoch und klassifizieren das Wasser als weich bis mittelhart. Damit unterscheiden sie sich von den anderen Gruppen, deren Werte das Wasser als sehr weich bis weich bezeichnen. Dennoch legen die Daten den Schluss nahe, dass ein Kalk-Zwischenmoor als ökologischer Moortyp ausgeschlossen werden kann, weil die Gesamthärte auf einen geringen Kalkgehalt deutet. Ausgehend von den gemessenen pH-Werten und Gesamthärten lässt sich ein Basenmoor vermuten, was jedoch von der Einschätzung von Scholtes (2015) abweicht, nach deren Auffassung saure Moore im Nationalpark vorkommen (vgl. Scholtes 2015, 25). Da jedoch keine konkreten Daten zu dem Untersuchungsgebiet vorliegen, kann eine genauere Einschätzung erst nach mehreren Messungen an den gleichen Standorten vorgenommen werden. Zudem sind innerhalb der vorangegangenen 24 Stunden Regenfälle aufgetreten (vgl. Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz 2019a, o.S.), die zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen können. Durch das Regenwasser kann das Wasser verdünnt werden, was eine Verringerung der Konzentration der Oxoniumionen bedingt und in einen höheren pH-Wert resultiert. Des Weiteren wurden die Wasserpro-

ben aus Bereichen mit stehendem und nicht mit strömendem Wasser entnommen, was ebenfalls eine Erklärung für diese Abweichungen sein kann. Die Probestellen sind aufgrund der gefahrlosen Erreichbarkeit durch die Schüler gewählt worden, sodass gegebenenfalls das Untersuchungsgebiet nicht repräsentativ erfasst wird.

Um Aussagen über die Nährstoffverhältnisse im Untersuchungsgebiet zu treffen, ist der anorganische Stickstoffgehalt bestimmt worden, indem die Konzentrationen des Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoffs summiert worden sind. Dies ist jedoch nur als Näherung zu betrachten, denn die organischen Stickstofffraktionen sind bei der Untersuchung nicht gemessen worden. Bei vier Gruppen ergeben sich anorganische Stickstoffkonzentrationen von über 1 mg/l, bei der zweiten Gruppe beträgt sie sogar 8 mg/l, was nach Tab. 1 Anhaltspunkte für einen eutrophen oder polytrophen Moortyp liefert. Dagegen deutet das Ergebnis der dritten Gruppe auf einen mesotrophen Moortyp hin, weil die anorganische Stickstoffkonzentration lediglich 0,3877 mg/l beträgt. Unter Berücksichtigung der zuvor aufgeführten Säure-Basen-Verhältnisse lässt sich feststellen, dass die Daten der dritten Gruppe das Untersuchungsgebiet als Basen-Zwischenmoor charakterisieren, während die Ergebnisse der anderen Gruppen ein basisches Reichmoor nahelegen. Diese Schlussfolgerungen stehen im Gegensatz zu den von Scholtes (2015) vermuteten oligotrophen-sauren bzw. mesotroph-sauren Moortypen (vgl. Scholtes 2015, 25). Dennoch darf nicht unberücksichtigt bleiben, dass zu dem untersuchten Moor keine konkreten Daten vorliegen, die eine Einordnung der erhobenen Daten erlauben. Aus diesem Grund sind mehrere Messungen erforderlich, um zu einer eindeutigen Zuordnung des ökologischen Moortyps zu gelangen. Des Weiteren lassen sich die hohen Stickstoffkonzentrationen auf die Wiedervernässung des Moores zurückführen, was insbesondere durch die hohen Nitratwerte mit 0,226 mg/l sowie 0,304 mg/l zu erklären ist. Zwar lässt sich ausgehend von den Bewertungsstufen für Fließgewässer immer noch eine gute Wasserqualität feststellen, dennoch müssen in diesem Fall die besonderen Bedingungen in Mooren berücksichtigt werden: In natürlichen Mooren befinden sich die Nitratkonzentrationen aufgrund des Redoxpotentials an der Nachweisgrenze, während es bei einer Wiedervernässung zu einer Nitratfreisetzung kommen kann. Somit ist eine Einordnung hinsichtlich des ökologischen Moortyps schwierig, weil es sich bei dem Untersuchungsgebiet nicht mehr um ein natürliches

Moor handelt. Da im Moor Ehlesbruch Nitratstickstoff eindeutig nachgewiesen werden kann, lässt sich eine Belastung bezüglich dieser chemischen Verbindung feststellen. Demgegenüber sind die Konzentrationen von Nitritstickstoff bei vier Gruppen unterhalb von 0,01 mg/l bzw. lediglich bei der ersten Gruppe bei 0,06 mg/l, sodass die Wasserqualität als sehr gut bzw. gut einzustufen ist. Ebenso wie bei Nitrat muss die Bewertung des Ammoniums unter Berücksichtigung der besonderen Bedingungen im Moor erfolgen, weil Konzentrationen von Ammoniumstickstoff bis 1 mg/l in Moore natürlicherweise vorkommen (vgl. Graw 2011, 46). Aus diesem Grund lassen sich hinsichtlich dieses Parameters abgesehen von der zweiten Gruppe keine Belastungen feststellen, weil die Daten alle unterhalb 1 mg/l liegen. Lediglich die zweite Gruppe weist mit 7,78 mg/l eine Belastung bezüglich des Ammoniumstickstoffs auf. Phosphat ist bei drei Gruppen nicht nachgewiesen worden, während bei der ersten Gruppe eine Konzentration an Phosphatphosphor von 0,326 mg/l gemessen wurde und damit nach den Bewertungsstufen eine kritische Belastung aufweist. Aufgrund der Konzentration von 0,163 mg/l der fünften Gruppe ist eine mäßige Belastung festzustellen. Als Ursache kann beispielsweise die Freisetzung aufgrund von Torfmineralisierung angeführt werden, die durch Entwässerung bedingt wird. Dennoch kann aufgrund der Datenlage keine eindeutige Ursache festgestellt werden, weshalb zu deren Identifizierung weitere Untersuchungen bezüglich der Wasserstände oder der Sauerstoffverfügbarkeit durchgeführt werden müssen. Da sich das Untersuchungsgebiet im Nationalpark befindet, können Belastungen anthropogenen Ursprungs, wie Düngung und Abwasser aus der Kläranlage, Kanalisation oder Industrie, ausgeschlossen werden. Dennoch sind Untersuchungen bezüglich des Wassereinzugsgebiets notwendig, um diese definitiv ausschließen zu können. Für eine bessere Einordnung der erhobenen Daten sind weitere Messungen vonnöten, weil die chemisch-physikalischen Parameter lediglich den momentanen Zustand der jeweiligen Probestelle widerspiegeln. Zudem können die bereits erwähnten Regenfälle der vorgegangenen 24 Stunden für Verfälschungen der Daten verantwortlich sein.

Die bei der Vegetationsaufnahme erhobenen Daten und die Zeigerwertanalyse erlauben Rückschlüsse über die Standortbedingungen im Moor aus langfristiger Sicht. Bereits die Artenliste liefert zusammen mit Kenntnissen zu den bevorzugten Standorten

Anhaltspunkte über die Bedingungen im Untersuchungsgebiet. Die mittleren Zeigerwerte nach Ellenberg ermöglichen die Charakterisierung auf quantitativer Ebene. Das Vorhandensein von Adlerfarn, der in allen Untersuchungsflächen registriert worden ist, deutet ebenso wie das Blaue Pfeifengras, der in drei von fünf Untersuchungsflächen bestimmt worden ist, auf eine zeitweilige Trockenheit bedingt durch Entwässerungen hin. Dennoch zeigen die in allen Untersuchungsflächen vorkommenden Torfmoose zumindest eine teilweise Wiederherstellung des Wasserhaushalts. Das Untersuchungsgebiet lässt sich unter Verwendung der mittleren quantitativen Zeigerwerte wie folgt charakterisieren: Die Lichtzahlen mit Werten von 6,0 bis 7,5 weisen auf einen Standort hin, der durch Halbschatten und Halblight geprägt ist. Da die Torfmoose jedoch nicht in die Auswertung einbezogen worden sind, weil die Artbestimmung für Schüler zu schwierig ist, kann tendenziell auf eine höhere Lichtzahl geschlossen werden. Die in allen Untersuchungsflächen vertretene Gattung der Torfmoose ist bis auf wenige Arten an hellen Standorten zu finden, sodass die Werte etwas zu gering sind. Das Untersuchungsgebiet weist mit den Feuchtezahlen von 6,1 bis 8,3 auf einen guten durchfeuchteten, aber nicht nassen Boden hin, wobei sich auch hier unter Berücksichtigung der Torfmoose höhere Werte ergeben würden. Das Vorhandensein des Adlerfarns liefert Anhaltspunkte für eine Wechselfeuchte, was durch die ursprüngliche Entwässerung bedingt ist und daraufhin weist, dass der für ein Moor typische Wasserhaushalt noch nicht wiederhergestellt worden ist. Im Gegensatz zu den gemessenen Säure-Basen-Verhältnissen, die auf ein schwach saures/subneutrales Moor hinweisen, lässt sich das Moor ausgehend von den Reaktionszahlen im Bereich von 2,9 bis 4,2 als sauer bezeichnen. Insbesondere das Vorhandensein der Torfmoose, die bei der Reaktionszahl aus den zuvor genannten Gründen nicht berücksichtigt worden sind, liefert Anhaltspunkte für einen sauren Moortyp. Da die Vegetation aus langfristiger Sicht Rückschlüsse über die Standortbedingungen erlaubt und somit gegenüber der punktuellen chemischen Messung im Vorteil ist, lässt sich der Moortyp als sauer bezeichnen, was die Vermutung von Scholtes (2015) bestätigt (vgl. Scholtes 2015, 25). Die Stickstoffzahlen im Bereich von 2,8 bis 3,8 deuten auf einen stickstoffarmen mit Tendenzen zu einem mäßig stickstoffreichen Standort hin, sodass sich das Untersuchungsgebiet als mesotroph- bis oligotroph-saures Moor charakterisieren lässt und die Annahmen von Scholtes (2015) stützen (vgl. Scholtes 2015, 25).

Die Ergebnisse der beiden Untersuchungsmethoden spiegeln sich nicht in allen Bereichen wider, sodass insbesondere bei der Gewässergüte über einen längeren Zeitraum mehrmals Untersuchungen durchgeführt werden müssen, um aussagekräftigere Daten zu erhalten. Zudem müssen die Probestellen gegebenenfalls optimiert werden, sodass die Entnahme der Wasserproben aus fließenden Bereichen erfolgt. Nichtsdestotrotz muss die Vegetation ebenfalls mehrfach untersucht werden, weil gegebenenfalls Fehler bei der Bestimmung der Arten aufgetreten sind. Zudem darf nicht unberücksichtigt bleiben, dass die Untersuchungsflächen nicht betreten werden dürfen, sodass die Bestimmung einer Art, die in einer Entfernung von einem Meter wächst, zu einer falschen Benennung führen kann. In diesem Zusammenhang besteht bei beiden Methoden folglich noch Forschungsbedarf, sodass sich erst nach mehrfachen Untersuchungen eindeutige Resultate erzielen lassen.

5.5 Nachbereitende Stunde zur Auswertung der Exkursion

Der Schwerpunkt der ersten nachbereitenden Stunde im Anschluss an die Exkursion ist die Auswertung und Interpretation der erhobenen Daten. Da die Inhalte durch die Untersuchungen der Exkursion vorgegeben werden, erübrigt sich eine Diskussion von alternativen Inhalten, weil ansonsten die Unterrichtseinheit keinem roten Faden folgt. Zudem wird diese Entscheidung aus den Unterrichtsbeobachtungen der Einzelfallstudie bestätigt. Die Strukturierung, die Auswertung und Interpretation in einzelne Schritte zu gliedern, statt gleich alle Gruppenergebnisse zur Gesamtauswertung heranzuziehen, hat sich bei dem vorliegenden Fall als sinnvoll erwiesen. Im Folgenden wird der reale Verlauf reflektiert und mögliche Alternativen aufgezeigt, um die Unterrichtsstunde zu optimieren.

Der Einstieg, bei dem die Schritte des wissenschaftlichen Arbeitens erneut mit der PPP aufgeworfen werden, erweist sich als sinnvoll, damit die Schüler einen Überblick haben, welche Aufgaben noch erfüllt werden müssen. Somit wird eine nahtlose Anknüpfung an die Exkursion ermöglicht und gleichzeitig die Arbeitsaufträge visualisiert.

In der Erarbeitungsphase erfolgen ausgehend von der Auswertung der einzelnen Untersuchung der Austausch und die Interpretation innerhalb der Gruppen. Da teilweise

einige Gruppen die einzelnen Untersuchung bereits während der Exkursion ausgewertet haben, ergeben sich unterschiedliches Arbeitsfortschritte, was sich sowohl nachteilig auf die schnelleren Gruppen auswirken kann als auch auf jene, die erst noch die Einzelauswertung durchführen müssen: Letztere stehen unter zeitlichem Druck und können eventuell die Gruppenauswertung nicht sorgfältig erledigen. Wenn ihnen ausreichend Zeit ermöglicht wird, haben die schnelleren Gruppen eventuell keine Beschäftigung. Bei dem vorliegenden Fall ist die Erarbeitungsphase durch die Lehrperson unterbrochen worden, um noch ausreichend Zeit für die Gesamtauswertung zur Verfügung zu haben. Daraus ist die Problematik entstanden, dass nicht alle Schüler Beiträge zur Gesamtauswertung leisten können, weil ihnen die notwendigen Erkenntnisse fehlen. Aus diesem Grund bietet sich folgende Alternative, um eine Benachteiligung aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsfortschritte zu vermeiden: Die Auswertung der einzelnen Untersuchungen kann bereits während der Exkursion erfolgen, wofür noch zusätzlich Zeit eingeplant werden muss. Dies kann als separate Unterrichtsphase auch im Hunsrückhaus durchgeführt werden, wobei noch nicht fertig gestellte Auswertungen zu Hause erledigt werden müssen. Durch diese Variante beginnen alle Schüler in der nächsten Stunde bei dem gleichen Arbeitsschritt, nämlich der Gruppenauswertung. Sollten aus zeitlichen Gründen alle Gruppen nicht mit der Auswertung der Einzeluntersuchungen anfangen können, muss dies zu Beginn der ersten nachbereitenden Stunde erfolgen und bei der Zeitplanung berücksichtigt werden. Bei der Gruppenauswertung lässt sich aus den Beobachtungen die Erkenntnis ableiten, dass einige Schüler mit dem Arbeitsblatt überfordert sind, während andere mit der Aufgabenstellung gut zurechtkommen. Dies spiegelt sich auch bei der Gesamtauswertung wider, weil eben jene Schüler wesentlich zum Unterricht beitragen können. Daher muss das Arbeitsblatt optimiert werden, um auch schwächeren Schüler die Chance zu ermöglichen, die Gruppenauswertung durchzuführen. Die Leitfragen geben zwar eine gewisse Struktur vor, die jedoch zu unkonkret ist und demzufolge verbessert werden muss. Dies kann damit erfolgen, dass zur Beantwortung der Leitfragen bereits Vorschläge vorgegeben werden und die Schüler ausgehend von ihren Ergebnissen den betreffenden Aspekt ankreuzen. Dennoch sollte zu jeder Entscheidung eine Begründung gefordert werden. Beispielsweise werden den Schülern alle ökologischen Moortypen aufgelistet und sie müssen sowohl ausgehend von den Daten der Gewässergüte als auch von den berechneten

Zeigerwerten den entsprechenden Moortyp auswählen. Anschließend können sie vergleichen, ob sie zur gleichen Schlussfolgerung gelangen und gegebenenfalls diskutieren, welche Ursachen eine Nichtübereinstimmung haben könnten. Ebenso wird bei den chemisch-physikalischen Parametern verfahren, indem die Schüler für jeden Parameter bewerten müssen, ob eine Belastung vorliegt und diese Entscheidung auch begründen. Wenn Schwierigkeiten bei der Interpretation bestehen, können die Schüler bei Bedarf Hilfekarten verwenden, denen Hinweise zu den Nachteilen der Untersuchungsmethoden sowie zu der Besonderheit, dass das sich das Moor noch nicht in einem natürlichen Zustand befindet, zu entnehmen sind. Für die Gruppenauswertung sollte ausreichend Zeit eingeplant werden, weil die gewonnenen Erkenntnisse eine wichtige Voraussetzung für die Gesamtauswertung darstellen. Insbesondere sollten die Schüler bereits bei der Auswertung mit einem kleinen Datensatz den Prozess nachvollziehen können, denn bei der Gesamtauswertung werden deutlich mehr Daten herangezogen und dies stellt eine größere Herausforderung für die Schüler dar.

In der Einzelfallstudie sind die Tabellen und Diagramme für die Gesamtauswertung von der Lehrperson vorgegeben worden, sodass die Schüler lediglich ihre Daten während der Erarbeitungsphase eintragen müssen. Diese dienen während der Sicherungsphase, in der die Gesamtauswertung erfolgt, als Medium, wobei ein weiteres Arbeitsblatt eine gewisse Struktur vorgibt. Aus den Unterrichtsbeobachtungen der Einzelfallstudie lässt sich die Erkenntnis gewinnen, dass die Auswertung vieler Daten bei der Mehrheit der Schüler erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Ein kleinschrittiges Vorgehen ist daher eine wichtige Voraussetzung, für die mindestens eine Unterrichtsstunde aufgebracht werden sollte. Bei dem Einzelfall haben 25 Minuten nicht ausgereicht, um alle Ergebnisse im Detail besprechen zu können. Im Wesentlichen konnten alle wichtigen Aspekte gesichert werden, dennoch zeigt sich aus der geringen Schülerbeteiligung eine große Überforderung in dieser Arbeitsphase. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, können nachfolgende Alternativen, die sich wesentlich auf die Methodik beziehen, zur Optimierung der Unterrichtsstunde herangezogen werden: Das Arbeitsblatt für die Gesamtauswertung sollte die gleiche Struktur wie das Arbeitsblatt der Gruppenauswertung aufweisen, weil die Schüler bereits damit vertraut sind und eine Überforderung hinsichtlich der methodischen Umsetzung vermieden wird. Dies lässt sich aus der

Beobachtung ableiten, da die Schüler im vorliegenden Fall Schwierigkeiten haben, strukturierte Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Beschreibung der Diagramme und Tabellen stellt für Schüler in diesem Fall keine große Schwierigkeit dar, was jedoch nicht auf die Interpretation der Daten zutrifft. Dies und die Erarbeitung der Ursachen haben den Schülern große Probleme bereitet, weshalb die Lehrperson gezielte Fragen stellen muss, um diesen zu begegnen. Insbesondere das Hintergrundwissen zu dem Untersuchungsgebiet ist diesbezüglich von großer Bedeutung. Die Erkenntnisse sollten für zukünftige Durchführungen des Projekts stichpunktartig von den Schülern auf dem Arbeitsblatt festgehalten werden. Als Übung dieser Arbeitsweise, auch in Hinblick auf Kursarbeiten und einer möglichen universitären Ausbildung sollten die Schüler allerdings diese Erkenntnisse in einem Fließtext ausformulieren, was entweder in der Schule oder als Hausaufgabe erfolgen kann. Zudem können die Schüler üben, wie Diagramme und Tabellen beschrieben werden, was klar von der Interpretation der Daten abgegrenzt werden muss. Diese Beiträge können anschließend von der Lehrkraft korrigiert werden, damit die Schüler eine Rückmeldung zu ihrem Leistungsstand haben. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Unterrichtsbeobachtung lässt sich die Entscheidung befürworten, die Erstellung der Diagramme und Tabellen in Excel oder einem ähnlichen Programm nicht zwingend von den Schülern durchführen zu lassen. Der Schwerpunkt der Nachbereitung ist die Interpretation der Daten, für die ausreichend Zeit eingeplant werden sollte. Daher ist eine Doppelstunde als sinnvoll zu bewerten, um dem kleinschrittigen Vorgehen genügend Zeit zu ermöglichen. Für eine selbstständige Erstellung der Diagramme und Tabellen ist neben einer ausführlichen Anleitung eine weitere Doppelstunde notwendig, die bei Bedarf von der Lehrkraft in die Unterrichtseinheit eingefügt werden kann. Inwieweit die Daten von vorherigen Untersuchungen einbezogen werden, muss ebenfalls von der Lehrkraft abgewogen werden. Diese können allerdings als Übung oder als Lernzielkontrolle für Kursarbeiten herangezogen werden, da die Schüler die Methoden erlernt haben und ihre Kenntnisse auf neue Daten anwenden können.

Hinsichtlich der Auswahl der Parameter lässt sich aus den Beobachtungen und den gewonnen Daten die Erkenntnis ableiten, dass die chemisch-physikalischen Parameter weiterhin erhoben werden können. Dennoch sollte die Temperatur in die Bewertung

einbezogen werden, was in der Einzelfallstudie nicht erfolgt ist. Bei der Zeigerwertanalyse kann die Lichtzahl für zukünftige Durchführungen des Projekts aus didaktischen Gründen vernachlässigt werden, weil diese nur wenig in Zusammenhang mit der Gewässergüte steht und auch für die Auswertung kaum einen Erkenntnisgewinn zulässt.

5.6 Nachbereitende Stunden zum Moorschutz

Da das Projekts neben den fachwissenschaftlichen Inhalten und dem Erlernen fachgemäßer Arbeitsweisen auch die Bedeutung der Moore für den Klima- und Umweltschutz sowie deren Schutzbedürftigkeit umfasst, ist die Auswahl der Inhalte aus den Beobachtungen der Einzelfallstudie als sinnvoll zu betrachten. Nach der Wissensaneignung zu Mooren und dem emotionalen Zugang durch die Exkursion ist im Sinne der Umweltbildung die Auseinandersetzung mit den zuvor aufgeführten Themen unumgänglich. Zwar werden die Schüler bereits durch den Expertenvortrag über die Zerstörung, ihre Ökosystemleistungen und den Schutz der Moore informiert, dennoch sollten die komplexen Zusammenhänge und verschiedenen Teilaspekte von den Schülern intensiver erarbeitet werden. Die Entscheidung der gleichwertigen Auseinandersetzung mit den verschiedenen Teilaspekten (Ökosystemdienstleistungen, Zerstörung/Nutzung der Moore, Folgen der Entwässerung, Moorschutz, Klimawandel,...) erweist sich aus diesem Grund als geeignet, weil diese in einem komplexen Gefüge zusammenhängen. Dadurch wird den Schülern die Wichtigkeit der Umsetzung des Moorschutzes bewusster, als bei der Erarbeitung eines einzelnen Aspekts. Zudem wird die Verbindung zur Exkursion hergestellt, indem sich die Schüler mit der Renaturierung der Moore im Nationalpark auseinandersetzen, da diese durch die Exkursion bereits einen emotionalen Zugang erlangt haben. Um den zeitlichen Rahmen der Unterrichtseinheit nicht zu überschreiten, ist die methodische Sozialform der Gruppenarbeit, in der jede Gruppe einen Teilaspekt untersucht, als sinnvoll zu bewerten. Aus den Eindrücken der Einzelfallstudie wird die Unterrichtseinheit zu den Mooren durch diese Schwerpunktsetzung gelungen abgeschlossen und kann gleichzeitig als Überleitung zu einer Unterrichtseinheit zum Umweltschutz allgemein genutzt werden. Bei dem vorliegenden Fall schließen sich nach dieser Unterrichtseinheit weitere Stunden zum Umweltschutz an, weshalb sich die Schüler außerdem mit Belastungen der Böden sowie dem ökologische Fußabdruck

auseinandersetzen. Der Verlauf der letzten drei Unterrichtsstunden folgt einem roten Faden, der von dem Frageanreiz, wie Moor- und Klimaschutz zusammenhängen, ausgeht, bis hin zur Erarbeitung und Präsentation der Themen zum Moor-, Klima- und Umweltschutz. Auch die Entscheidung, jede der drei Stunden nicht wie gewohnt in Einstiegs-, Erarbeitungs- und Sicherungsphase einzuteilen, sondern die Organisation den Schülern im Sinne einer schülerzentrierten Freiarbeit zu überlassen, hat sich als sinnvoll erwiesen. Da die Aufgabe und die zur Verfügung stehende Zeit zu Beginn geklärt werden und sich die Erarbeitung der Lerngegenstände über mehrere Stunden zieht, ist die Unterteilung der einzelnen Stunde in Unterrichtsphasen überflüssig.

Aus der Unterrichtsbeobachtung kann die Erkenntnis gewonnen werden, dass die für den Einstieg in den Themenkomplex gewählte Karikatur und die Weltkarte zum Anteil der noch verbliebenen Moore als Einstieg geeignet sind. Dies lässt sich aus den zahlreichen Schülerbeiträgen ableiten. Das Bild zur Moorrenaturierung sollte jedoch durch ein anderes Bild ersetzt werden, da es zum einen zu klein war, um etwas zu erkennen und zum anderen die Moorrenaturierung nicht eindeutig dargestellt wird. Dies geht aus der Beobachtung hervor, weil sich lediglich ein Schüler auf konkrete Nachfrage der Lehrperson zu diesem Bild geäußert und es zudem fälschlicherweise als Zerstörung eines Moores interpretiert hat. Auch der Frageanreiz, wie diese Themen zusammenhängen, ist in der Einzelfallstudie nicht deutlich herausgestellt worden, sodass dieser für zukünftige Durchführungen des Projekts an der Tafel festgehalten werden sollte. Des Weiteren sollen die Ökosystemdienstleistungen der Moore noch nicht in der Exkursion angesprochen werden, um den Frageanreiz nicht vorzugreifen. Eine Besprechung der Bewertungskriterien ist in diesem Fall nicht notwendig gewesen, weil die Schüler bereits zu anderen Unterrichtseinheiten Plakate erstellt haben und mit dieser Methode vertraut sind. Die Schüler haben aufgrund der im vorangegangenen Kapitel erläuterten zeitlichen Überschreitung der Unterrichtsstunde zur Auswertung der Exkursion nur eine halbe Stunde Zeit, um die Informationen am Computer zu recherchieren. Dennoch stellt dies kein größeres Problem dar, weil die Recherche als Hausaufgabe weitergeführt werden kann. Die Entscheidung, diesen Erarbeitungsschritt in der Schule zu beginnen, hat sich aus den Beobachtungen als sinnvoll erwiesen, da sich die Schüler innerhalb ihrer Gruppen besser austauschen und einige Fragen durch die Lehr-

person, vor allem im Zusammenhang mit der Themeneingrenzung, beantwortet werden können. Die Erstellung der Plakate kann innerhalb von 75 Minuten erfolgen, weshalb eine Doppelstunde ideal ist. Eine wichtige Voraussetzung ist jedoch, dass alle Schüler ihre Materialien an diesem Tag mitbringen, was bei der Einzelfallstudie von allen umgesetzt worden ist. Des Weiteren soll die Erstellung ausschließlich in der Schule erfolgen, was insbesondere im Zusammenhang mit der Leistungsbewertung von Bedeutung ist. Somit kann die Lehrkraft sicher gehen, dass die Schüler die Plakate selbst erstellen und hat gleichzeitig einen Einblick über die Beiträge der einzelnen Gruppenmitglieder. Zudem lässt sich die Erkenntnis ausgehend von den Lernprodukten der Schüler ableiten, dass informierende Plakate gegenüber Plakaten, die als Unterstützung für einen Vortrag dienen, die bessere Wahl sind, weil diese auch ohne Vortrag das Thema verständlich darstellen. Dementsprechend können sie auch in der Schule oder, wie in diesem Fall, im Hunsrück-Haus ausgestellt werden, was die Schülerbeiträge besonders würdigt und sehr motivierend ist. Eine separate Reflexion, nachdem sich die Schüler alle Plakate angeschaut haben, erfolgt in der Einzelfallstudie nicht, da die Lehrkraft die Plakate zunächst benotet und anschließend mit den Schülern reflektiert.

Um die Zusammenhänge der einzelnen Themen darzustellen und damit den Frageanreiz zu Beginn der Unterrichtsstunde zu beantworten, sollten diese für die zukünftige Durchführung mithilfe einer Concept-Map dargestellt werden. Ausgehend von den Themen der erstellten Plakate und den gewonnenen Erkenntnissen kann die Concept-Map im Unterrichtsgespräch an der Tafel entwickelt werden. Somit können die Schüler die Zusammenhänge besser verknüpfen und haben zusammen mit den Plakaten, die als ausgedruckte Fotos zur Verfügung stehen sollten, sowohl eine Übersicht als auch detaillierte Informationsquellen zu den einzelnen Themen. Vorteilhaft gegenüber der Mindmap, die nur eine hierarchische Struktur aufweist, ist die Verknüpfung der einzelnen Unterpunkte, um deren Beziehung darzustellen. Zusammenfassend kann aus den Erkenntnissen der Einzelfallstudie festgestellt werden, dass die schülerzentrierte Erarbeitung verschiedener Themen zum Moor-, Klima- und Umweltschutz dieser vorgestellten Unterrichtseinheit auch unter Betrachtung der Umweltbildung einen guten Abschluss ermöglicht.

6 Fazit

In dieser Masterarbeit wurde das Projekt zur Untersuchung eines Moores im Nationalpark Hunsrück-Hochwald für das Fach Biologie der gymnasialen Oberstufe entwickelt und reflektiert, welches neben dem Erlernen von fachgemäßen Arbeitsweisen auch Themen zur Umweltbildung aufgreift. Das Projekt beinhaltet den Besuch des ALOs zur Mooruntersuchung, der in eine Unterrichtseinheit aus vorbereitenden und nachbereitenden Stunden eingebettet ist. Daher wurde in der vorliegenden Masterarbeit die Forschungsfrage untersucht, wie sich das Projekt zur Untersuchung eines Moores in den Biologieunterricht integrieren lässt, um den Schülern neben fachwissenschaftlichen Methoden auch umweltrelevante Themen in Bezug auf Moore zu vermitteln.

Aus den Beobachtungen der Einzelfallstudie ergibt sich insgesamt die Schlussfolgerung, dass sich das Projekt gut im Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe umsetzen lässt. Im Lehrplan ist ohnehin der Besuch eines ALOs verankert, um dort biologische Untersuchungen durchzuführen, weshalb Moore eine gute Alternative zu Fließgewässern oder stehenden Gewässern darstellen. Zwar besteht die Problematik, dass nur wenige Vorkenntnisse zu diesen Ökosystemen vorliegen, was durch die Unterrichtsbeobachtungen bestätigt wurde, aber durch die vorbereitenden Stunden kann diese behoben werden. Bei der Durchführung der Gewässergüte und der Vegetationsaufnahme sind nur wenige Probleme aufgetreten, weshalb die Exkursion unter Berücksichtigung der im Kapitel 5.3 aufgeführten Alternativen weiterhin umgesetzt werden kann. Ebenso haben nur wenige Eingriffe in das Moor stattgefunden, weshalb dessen Schutz durch diese Untersuchungsmethoden dennoch gewährleistet ist. Lediglich die Auswertung der Daten hat sich aus den Unterrichtsbeobachtungen als schwierig erwiesen, weil die Wiedervernässung einen wesentlichen Einfluss auf die Gewässergüte hat und dementsprechend die Bewertung der Belastungsstufen nur eine begrenzte Gültigkeit aufweist. Zudem zeigte sich, dass viele Schüler Probleme mit einer zielführenden Interpretation haben, weshalb das Projekt an dieser Stelle durch kleinschrittigeres Vorgehen optimiert werden muss. Des Weiteren setzt die Fehlerdiskussion neben der Interpretation auch Wissen zu den Untersuchungsmethoden und zu dem -gebiet voraus, was zusätzlich durch das Anwenden von zwei Untersuchungsmethoden erschwert

wurde. Ob diese Problematik auf die Untersuchung des Moores mit seinen besonderen Bedingungen zurückzuführen ist oder generell Schwierigkeiten bei der Auswertung und Interpretation von Daten bestehen, konnte durch die Einzelfallanalyse nicht ermittelt werden. Dementsprechend sollte für die Nachbereitung der Exkursion zwei Unterrichtsstunden eingeplant werden. Die schülerzentrierte Auseinandersetzung mit verschiedenen Themen zum Moor-, Klima- und Umweltschutz lässt sich aus den Unterrichtsbeobachtungen als positiv bewerten. Somit konnten die Schüler nach der Naturerfahrung durch den Besuch des ALOs für die Zusammenhänge zwischen der Moornutzung, der Zerstörung dieser Ökosysteme sowie den Folgen für die Umwelt und das Klima sensibilisiert werden.

Die Durchführung der Untersuchungen am Standort Ehlesbruch ist trotz der Nachteile, dass es sich nicht um ein natürliches Moor handelt und das Betreten des Steges bei nassen Witterungsverhältnisse sowie hoher Vegetation nicht möglich ist, insgesamt als positiv zu bewerten. Insbesondere die Tatsache, dass die Schüler ein Moor untersuchen, welches durch menschliche Eingriffe geschädigt worden ist, kann zu einer verstärkten Sensibilisierung im Zusammenhang mit dem Schutz dieser Ökosysteme führen und ist daher für die Umweltbildung ein wichtiger Aspekt zur Generierung von Umweltverhalten. Als Ausblick für zukünftige Durchführungen des Projekts können die Schüler einen Vergleich von Daten von vorangegangenen Untersuchungen mit ihren eigenen vollziehen, sodass sie die Entwicklung des Moores beobachten können. Einerseits kann ihnen bei wenigen Fortschritten bewusst werden, dass die Moorrenaturierung ein langwieriger Prozess ist. Andererseits können bei positiven Entwicklungen die Schüler motiviert werden, dass der Einsatz für die Umwelt lohnenswert ist. Inwieweit die Erneuerung des Stegs die Rutschgefahr bei nassen Bedingungen und hoher Vegetation vermindern kann, ist nach jetzigem Kenntnisstand nicht feststellbar. Die Errichtung der Plattform kann sich insbesondere für die Durchführung der Gewässergüte sowohl für die Schüler als für den Schutz des Moores als vorteilhaft erweisen, was sich allerdings erst noch bei der ersten Durchführung bestätigen muss.

Im Allgemeinen muss bei dieser Analyse berücksichtigt werden, dass es sich um einen Einzelfall handelt, der gegebenenfalls nicht repräsentativ ist. Zudem sind die Problematiken, dass die Beobachtungen nicht rein objektiv sind und nicht alle Informationen

erfasst werden konnten, ebenfalls zu erwähnen. In diesem Zusammenhang muss das Projekt mehrmals von verschiedenen Biologiekursen durchgeführt werden, um Erkenntnisse aus der Einzelfallstudie einordnen zu können und ob abgesehen von den in der Diskussion aufgeführten Planungsalternativen weitere Optimierungen vonnöten sind. Auch das Zeitmanagement muss nach Erkenntnissen aus mehreren Durchführungen gegebenenfalls erneut angepasst werden.

Mit der Forschung konnte nicht untersucht werden, ob das generierte Umweltwissen und die affektive Komponente letztendlich in ein Umweltverhalten resultieren, indem die Schüler beispielsweise torffreie Blumenerde kaufen oder sich für den Moorschutz einsetzen. Zwar wurde durch die Erarbeitung der Grundlagen zu Mooren die kognitive Ebene angesprochen und mithilfe der Naturbegegnung am ALO ein affektiver Zugang ermöglicht, aber inwieweit die Verknüpfung dieser Aspekte zu einem nachhaltigen Handeln führen, kann mit dieser Arbeit nicht beantwortet werden. In diesem Zusammenhang besteht noch Forschungsbedarf, wobei Abgrenzung der Auswirkungen durch das Projekt von anderen Einflussfaktoren wie dem sozialen Umfeld nur schwer umzusetzen ist.

Zusammenfassend lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass das Projekt den Schülern einen Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten und das Erlernen von fachgemäßen Arbeitsweisen ermöglicht und zugleich die Umweltbildung integriert. Zudem lernen die Schüler die Besonderheiten der Moore kennen und erfahren, dass diese durch menschliche Eingriffe zerstört werden. Die Generierung von Umweltwissen ist daher von großer Bedeutung, weil die Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen erst durch Kenntnisse zu diesen Ökosystemen verständlich werden. Moore können also nur geschützt werden, wenn Kenntnisse zu den besonderen Bedingungen und dem Wirkungsgefüge vorhanden sind. Durch das Erleben der Natur wird den Schülern ein affektiver Zugang zu diesen Ökosystemen ermöglicht, weshalb sie dazu motiviert werden können, nachhaltig zum Schutz der Moore zu handeln. Im Sinne der Umweltbildung wird in der Schule bereits frühzeitig eine Sensibilisierung für die schützenswerten Moore und ihre Bedeutung für den Menschen und die Natur ermöglicht, sodass sich dieses Bewusstsein zukünftig in der Gesellschaft etablieren kann.

7 Literaturverzeichnis

- AEPPLI, J., GASSER, L., GUTZWILLER, E. & TETTENBORN A. (2016): Empirisches wissenschaftliches Arbeiten. Ein Studienbuch für die Bildungswissenschaften. 4. Auflage. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt. Online verfügbar unter <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838546957>, zuletzt geprüft am 10.09.2019
- AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ (2019a): Hydrometeorologische Station Hüttgeswasen. Online verfügbar unter https://www.am.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=PP058R8VG5&p1=Q84I17BT77&p3=2S0K0X00S0&p4=XJPZBV4849, zuletzt geprüft am 12.09.2019.
- AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ (2019b): Hydrometeorologische Station Hüttgeswasen. Online verfügbar unter https://www.wetter.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=PP058R8VG5&p1=Q84I17BT77&p3=2S0K0X00S0&p4=XJPZBV4849, zuletzt geprüft am 29.05.2019.
- ANDERSEN, R., FRANCEZ, A.-J. & ROCHEFORT, L. (2006): The physicochemical and microbiological status of a restored bog in Québec. Identification of relevant criteria to monitor success. In: *Soil Biology and Biochemistry* 38 (6), S. 1375–1387.
- BAHR, M. (2013): Umweltbildung. In: Rolfes, M. & Uhlenwinkel, A. (Hrsg.): *Essays zur Didaktik der Geographie*. Potsdam: Univ.-Verl. (Potsdamer Geographische Praxis, 6), S. 71–78. Online verfügbar unter https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/6388/file/bahr_71_78.pdf, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- BLANKENBURG, J. (2015): Die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren in Nordwestdeutschland. In: *Telma: Beiheft* 5 (2015), S. 39–58. Online verfügbar unter https://e-docs.geo-leo.de/bitstream/handle/11858/6405/Blankenburg_Telma_Beiheft.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 20.05.2019.
- BONNET, S. A. F., ROSS, S., LINSTEAD, C. & MALTBY, E. (2009): A review of techniques for monitoring the success of peatland restoration. University of Liverpool (Natural England Commissioned Reports, 086). Online verfügbar unter

- <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/46013>, zuletzt geprüft am 12.06.2019.
- BURMEISTER, E. G., GÖTTLICH, K., GROSPIETSCH, T. & KAULE, G. (1990): Begriffsbestimmungen anhand der Moortypen Mitteleuropas. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde. 3. Auflage. Hannover, Stuttgart: Schweizerbart, S. 1–49.
- CASPERS, G. & SCHMATZLER, E. (2009): Vorkommen und Verwendung von Torf in Deutschland. In: *Telma: Band 39* (2009). Online verfügbar unter https://e-docs.geo-leo.de/bitstream/handle/11858/7330/TELMA%2039%20%282009%29%2007_Caspers%20%26%20Schmatzler.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 21.05.2019.
- DIERßEN, K. & DIERßEN, B. (2001): Moore. Stuttgart: Ulmer.
- EGGELSMANN, R. (1990): Wasserregelung im Moor. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde. 3. Auflage. Hannover, Stuttgart: Schweizerbart, S. 321–349.
- EIGNER, J. (2003): Möglichkeiten und Grenzen der Renaturierung von Hochmooren. In: Moorrenaturierung. Praxis und Erfolgskontrolle; Tagungsband der beiden Fachtagungen "Moorrenaturierungspraxis - Echte Chance oder nur Kosmetik?" am 3./4. Mai 2000 in Rosenheim und "Erfolgskontrollen im Naturschutz: Moore" am 21./22. November 2002 in Rosenheim. Laufen/Salzach: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Laufener Seminarbeiträge, 2003,1), S. 23–36.
- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C. (2010a): Zeigerwerte der Pflanzen Mitteleuropas. (Zusatzkapitel, nur online verfügbar). In: Ellenberg, H. & Leuschner, C. (Hrsg.): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Unter Mitarbeit von Dierschke, H. 6., vollständig neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer (UTB Botanik, Ökologie, Agrar- und Forstwissenschaften, Geographie, 8104), S. 1–110. Online verfügbar unter https://www.utb-shop.de/downloads/dl/file/id/27/zusatzkapitel_zeigerwerte_der_pflanzen_mitteleuropas.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2019.
- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C. (Hrsg.) (2010b): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Unter Mitarbeit von Dierschke, H. 6., vollständig neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage. Stuttgart: Verlag

- Eugen Ulmer (UTB Botanik, Ökologie, Agrar- und Forstwissenschaften, Geographie, 8104).
- FRAHM, J.-P. (2018): *Biologie der Moose*. Berlin: Springer Spektrum.
- FRENZEL, B. (1991): Die vormittelalterliche Besiedlungsgeschichte des westlichen Hunsrücks und der Westeifel nach paläobotanischen Befunden. In: Haffner, A. & Miron A. (Hrsg.): *Studien zur Eisenzeit im Hunsrück-Nahe-Raum*. Trierer Zeitschrift für Geschichte und Kunst des Trierer Landes und seiner Nachbargebiete (13). Birkenfeld, S. 309–336.
- FREY, W. & LÖSCH, R. (2010): *Geobotanik. Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit*. 3. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- GAUDIG, G., OEHMKE, C., ABEL, S. & SCHRÖDER, C. (2014): Moornutzung neu gedacht. Paludikultur bringt zahlreiche Vorteile. In: *Anliegen Natur: 36* (2014), S. 67–74. Online verfügbar unter https://www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/doc/an36204gaudig_et_al_2014_paludikultur.pdf, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- GIGON, A., MARTI, R. & SCHEIWILLER, T. (2004): *Kurzpraktikum terrestrische Ökologie*. 2., überarbeitete Auflage. Zürich: vdf Hochsch.-Verl. an der ETH.
- GRÄSEL, C. (2018): Umweltbildung. In: Tippelt, R. & Schmidt-Hertha, B. (Hrsg.): *Handbuch Bildungsforschung*. 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer VS, S. 1093–1109.
- GRAU, MARTINA (Hrsg.) (2011): *Ökologische Bewertung von Fließgewässern*. Vereinigung Deutscher Gewässerschutz. 5. Auflage. Bonn: Vereinigung Deutscher Gewässerschutz (VDG) e.V (Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz, 64).
- GRÜTZMACHER, F., SCHULTE-EICKHOLT, A. & DEGMAIR, J. (Hrsg.) (2012): *Schutz und Entwicklung unserer Moore. Zum Nutzen von Mensch, Natur und Klima*. NABU - Naturschutzbund Deutschland. 2. Auflage, 01/2013. Berlin: NABU-Bundesverband
- HELLER, C., KLINGENFUß, C., MÖLLER, D. & ZEITZ, J. (2016): Bewertung der Ökosystemleistungen von Moorböden am Beispiel Berlins. Grundlage für den Moor- und Klimaschutz. In: *Telma: Band 46* (2016), S. 15–38. Online verfügbar unter https://e-docs.geo-leo.de/bitstream/handle/11858/7258/TELMA%2046%20%282016%29%2002_Heller%20et%20al.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 22.05.2019.

- HOFFMANN, J. (2017): Das LIFE-Projekt "Hangmoore im Hochwald" im Nationalpark Hunsrück-Hochwald. In: Krebühl, J. (Hrsg.): Moore schützen! Mainz: Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (Denkanstöße, 13), S. 6–11.
- HÖLZER, A. (2017): Kartierung der Verbreitung der Torfmoose in und um den Nationalpark Hunsrück-Hochwald. In: Krebühl, J. (Hrsg.): Moore schützen! Mainz: Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (Denkanstöße, 13), S. 24–31.
- HÖPER, H. (2007): Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. In: *Telma: Band 37* (2007), S. 85–116. Online verfügbar unter <https://e-docs.geo-leo.de/bitstream/handle/11858/7349/TELMA%2037%20%282007%29%20H%C3%B6per.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- JACKSON, R. B. (2012): Ökosysteme. Biologische und geochemische Prozesse regulieren die Nährstoffkreisläufe eines Ökosystems. In: Campbell, N. A., Reece, J. B., Kratochwil, A. & Lazar, T. (Hrsg.): Biologie. 8., aktualisierte Auflage, korrigierter Nachdruck von 2012. München: Pearson Studium, S. 1659–1665.
- JESCHKE, L. & JOOSTEN, H. (2003): Moore - gefährdete Ökosysteme. In: Kappas, M. (Hrsg.): Klima, Pflanzen und Tierwelt, Band 3. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verl. (Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, 3), 112-115. Online verfügbar unter http://archiv.nationalatlas.de/wp-content/art_pdf/Band3_112-115_archiv.pdf, zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- JOOSTEN, H. (2012): Zustand und Perspektiven der Moore weltweit. In: *Natur und Landschaft* 87 (2), S. 50–55.
- KILLERMANN, W., HIERING, P. & STAROSTA, B. (2008): Biologieunterricht heute. Eine moderne Fachdidaktik. 12. Auflage. Augsburg: Auer (Didaktik).
- KÖLLE, W. (2012): Wasseranalysen - richtig beurteilt. Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe. 3., überarbeitete Auflage. Weinheim: Wiley-VCH.
- KÜCHLER-KRISCHUN, J. (Hrsg.) (2015): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Vom Bundeskabinett am 7. November 2007 beschlossen. Deutschland. 4. Auflage, Stand Juli 2015. Berlin: BMU (Reihe Umweltpolitik). Online verfügbar unter http://www.biologischevielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolg_viel_falt_strategie_bf.pdf, zuletzt geprüft am 24.05.2019.

- LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME SCHLESWIG-HOLSTEIN (2012):
Potentiale und Ziele zum Moor- und Klimaschutz. Gemeinsame Erklärung der Naturschutzbehörden. Flintbek, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- MINISTERIUM FÜR BILDUNG UND KULTUR SAARLAND (2019): Lehrplan Biologie. Gymnasiale Oberstufe Grundkurs Hauptphase. Erprobungsphase. Saarbrücken.
- MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND WEITERBILDUNG RHEINLAND-PFALZ (1998): Lehrplan Biologie. Grund- und Leistungsfach Jahrgangsstufen 11 bis 13 der gymnasialen Oberstufe (Mainzer Studienstufe). Mainz.
- MITSCH, W. J. & GOSSELINK, J. G. (2015): Wetlands. 5. ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons Inc (Environmental/water supply).
- OPENSTREETMAPS (2019): Kartenausschnitt Ehlesbruch, Nationalpark Hunsrück-Hochwald. Karte hergestellt aus Open Street Map Daten. Open Database License ODbL (<http://opendatacommons.org/licenses/odbl/>). Deutschland: OpenStreetMaps. Online verfügbar unter <https://www.openstreetmap.org/#map=19/49.72948/7.07207>, zuletzt geprüft am 01.09.2019.
- PFADENHAUER, J. & KLÖTZLI, F. (2014): Vegetation der Erde. Grundlagen, Ökologie, Verbreitung. Berlin: Springer Spektrum.
- POHLING, R. (2015): Chemische Reaktionen in der Wasseranalyse. Berlin: Springer Spektrum.
- ROHLAND, L. (2017): Freiwilliges Engagement und Kompetenz: Erfahrungen bei der Wiedervernässung von Mooren. In: Krebsühl, J. (Hrsg.): Moore schützen! Mainz: Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (Denkanstöße, 13), S. 54–61.
- SCHAEFER, M. (2012): Wörterbuch der Ökologie. 5. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- SCHNEIDER, P., NEITZEL, P. L., SCHAFFRATH, M. & SCHLUMPRECHT, H. (2003): Leitbildorientierte physikalisch-chemische Gewässerbewertung. Referenzbedingungen und Qualitätsziele ; Forschungsbericht 20024226. Berlin: Umweltbundesamt (Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 03,15).
- SCHOLTES, M. (2002): Die Brücher. Mittelgebirgsmoore im Hunsrück dargestellt am Beispiel des NSG "Hangbrücher bei Morbach". In: *Telma: Band 32* (2002).

- SCHOLTES, M. (2015): Moore und Moorrenaturierung im Hoch- und Idarwald. Vortrag am Umweltcampus Birkenfeld. Birkenfeld, 26.03.2015.
- SCHOLTES, M. (2017): Die Brücher - Mittelgebirgsmoore im Hunsrück. In: Krebsühl, J. (Hrsg.): Moore schützen! Mainz: Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (Denkanstöße, 13), S. 12–23.
- SCHOLTES, M. (2019a): Ehlesbruch.
- SCHOLTES, M. (2019b): Ehlesbruch Gräben.
- SCHOLTES, M. & NINDEL, I. (2017): Maßnahmenplanung EU LIFE-Natur-Projekt. Wiederherstellung und Erhalt von Hang- und Zwischenmooren im Hunsrück (Hochwald). Stiftung für Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz.
- SCHOPP-GUTH, A. (1999): Renaturierung von Moorlandschaften. Naturschutzfachliche Anforderungen aus bundesweiter Sicht unter besonderer Berücksichtigung der Grundwassermoore. Münster: BfN-Schr.-Vertrieb im Landwirtschaftsverl. (Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, H. 57).
- SCHOPP-GUTH, A. & GUTH, C. (2003): Moorrenaturierung. Grundlagen und Anforderungen. In: Moorrenaturierung. Praxis und Erfolgskontrolle; Tagungsband der beiden Fachtagungen "Moorrenaturierungspraxis - Echte Chance oder nur Kosmetik?" am 3./4. Mai 2000 in Rosenheim und "Erfolgskontrollen im Naturschutz: Moore" am 21./22. November 2002 in Rosenheim. Laufen/Salzach: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Laufener Seminarbeiträge, 2003,1), S. 7–22.
- SCHUMANN, M. & JOOSTEN, H. (2008): Global Peatland Restoration Manual. Institute of Botany and Landscape Ecology, Greifswald University. Greifswald. Online verfügbar unter http://www.imcg.net/media/download_gallery/books/gprm_01.pdf, zuletzt geprüft am 24.05.2019.
- SIGG, L. & STUMM, W. (2016): Aquatische Chemie. Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer. 6. Auflage. Zürich: vdf Hochschulvlg AG an der ETH Zürich.
- SPOHN, M., GOLTE-BECHTLE, M. & SPOHN, R. (2015): Was blüht denn da? 59., aktualisierte und erweiterte Auflage. Stuttgart: Kosmos (Kosmos-Naturführer).
- STEINER, G. M. & GRÜNIG, A. (2002a): Die hydrologischen Moortypen in der Schweiz. In: Bressoud, B. (Hrsg.): Handbuch Moorschutz in der Schweiz. Entwicklung und Bedeutung der Moore und Moorlandschaften, Bd. 1. Bern, S. 1–21. Online verfügbar unter

- <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/handbuch-moorschutz-schweiz.html>, zuletzt aufgerufen am 05.07.2019.
- STEINER, G. M. & GRÜNIG, A. (2002b): Moorhydrologie. In: Bressoud, B. (Hrsg.): Handbuch Moorschutz in der Schweiz. Entwicklung und Bedeutung der Moore und Moorlandschaften, Bd. 1. Bern, S. 1–7. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/handbuch-moorschutz-schweiz.html>, zuletzt aufgerufen am 05.07.2019.
- STEINER, G. M. & GRÜNIG, A. (2002c): Ökologie und Hydrologie der Moore. In: Bressoud, B. (Hrsg.): Handbuch Moorschutz in der Schweiz. Entwicklung und Bedeutung der Moore und Moorlandschaften, Bd. 1. Bern, S. 1–2. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/handbuch-moorschutz-schweiz.html>, zuletzt aufgerufen am 01.06.2019.
- STELZIG, I. (2010): Umwelterziehung. In: Spörhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Hrsg.): Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. 4. Auflage. Berlin: Cornelsen, S. 220–225.
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. (1990): Moore in der Landschaft. Entstehung, Haushalt, Lebenswelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore. 2. Auflage, Frankfurt/Main: Thun.
- TIEMEYER, B., BECHTOLD, M. & BELTING, S. (2017): Moorschutz in Deutschland. Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen; Bewertungsinstrumente und Erhebung von Indikatoren. Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten, 462).
- TIMMERMANN, T., JOOSTEN, H. & SUCCOW, M. (2009): Restaurierung von Mooren. In: Zerbe, S. & Wiegand, G. (Hrsg.): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Unter Mitarbeit von Fronczek, R. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 55–93.
- TOWNSEND, C. R., BEGON, M., HARPER, J. L., HOFFMEISTER, T. S., STEIDLE, J. L. M. & THOMAS, F. (2009): Ökologie. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- TRAXLER, A. (1997): Methoden. Wien: Umweltbundesamt (Monographien / Umweltbundesamt, 89A).

- WILLERS, T. (2000): *Mystisches Moor*. Weitere Beteiligte: Bundy, J., Willers, T. (Regie).
Online verfügbar unter <https://www.planet-schule.de/sf/php/sendungen.php?sendung=2037>, zuletzt geprüft am 11.08.2019.
- WILMANN, O. (1998): *Ökologische Pflanzensoziologie. Eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas*. 6., neu bearbeitete Auflage. Wiesbaden: Quelle & Meyer (UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher Botanik/Ökologie, 269).
- WISOTZKY, F., CREMER, N. & LENK, S. (2018): *Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeochemische Modellierung. Grundlagen, Anwendungen und Problemlösungen*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- ZAK, D., AUGUSTIN, J. & GELBRECHT, J. (2008): Mobilisierung von gewässer- und klimarelevanten Stoffen in der Anfangsphase der Moorbiedervernässung am Beispiel des Polders Zarnekow. In: Gelbrecht, J., Zak, D. & Augustin, J. (Hrsg.): *Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern. Status, Steuergrößen und Handlungsmöglichkeiten*. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei. Berlin (26/2008), S. 97–105. Online verfügbar unter <https://www.igb-berlin.de/sites/default/files/media-files/download-files/IGB-Bericht-26.pdf>, zuletzt geprüft am 16.09.2019.
- Zemke, J. J., König, D., Tempel, M. & Schultheiß, J. (2016): Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt potentieller Hangmoorstandorte im Nationalpark Hunsrück-Hochwald. In: Chiffard, P., Karthe, D. & Heller, K. (Hrsg.): *Beiträge zum 47. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 19.-21. November 2015 in Dresden*. Augsburg: Institut für Geographie, Universität Augsburg (Geographica Augustana, 21), S. 101–116. Online verfügbar unter <https://www.geo.uni-augsburg.de/medienverzeichnis/publikationen/AK-Hydro-Dresden-2015.pdf>, zuletzt geprüft am 31.05.2019.
- ZERBE, S., WIEGLEB, G. & ROSENTHAL, G. (2009): Einführung in die Renaturierungsökologie. In: Zerbe, S. & Wiegler, G. (Hrsg.): *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*. Unter Mitarbeit von Fronczek, R. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 2–21.

8 Anhang

Anhang 1: Informationsschreiben Schule.....	155
Anhang 2: Lehrerinformationen.....	160
Anhang 3: Material der ersten vorbereitenden Stunde.....	162
Anhang 3.1: Verlaufsplan.....	162
Anhang 3.2: PowerPoint-Präsentation.....	164
Anhang 3.3: Arbeitsblatt „Mystische Moore“.....	166
Anhang 3.4: Lösungsblatt „Mystische Moore“.....	167
Anhang 3.5: Arbeitsblatt „Moortypen“.....	168
Anhang 3.6: Lösungsblatt „Moortypen“.....	169
Anhang 4: Material der zweiten vorbereitenden Stunde.....	170
Anhang 4.1: Verlaufsplan.....	170
Anhang 4.2: PowerPoint-Präsentation.....	172
Anhang 4.3: Arbeitsblatt „Hangmoore“.....	175
Anhang 4.4: Arbeitsblatt „Quellmoore“.....	176
Anhang 4.5: Arbeitsblatt „Regenmoore“.....	177
Anhang 4.6: Arbeitsblatt „Hydrologische Moortypen“.....	178
Anhang 4.7: Lösungsblatt „Hydrologische Moortypen“.....	179
Anhang 5: Material der Exkursion.....	180
Anhang 5.1: Verlaufsplan.....	180
Anhang 5.2: PowerPoint-Präsentation.....	182
Anhang 5.3: Arbeitsblatt „Gruppenleiter“.....	186
Anhang 5.4: Arbeitsblatt „Protokoll zur Gewässergüte“.....	187
Anhang 5.5: Arbeitsblatt „Durchführung der Gewässergüte“.....	188
Anhang 5.6: Arbeitsblatt „Ökologische Bedeutung“.....	191
Anhang 5.7: Arbeitsblatt „Protokoll Vegetationsaufnahme“.....	194
Anhang 5.8: Arbeitsblatt „Durchführung der Vegetationsaufnahme“.....	196

Anhang 5.9: Arbeitsblatt „Pflanzenarten der Moore“	199
Anhang 5.10: Poster Moorpflanzen.....	206
Anhang 5.11: Arbeitsblatt „Moorpflanzen Ergänzung“	207
Anhang 5.12: Karte des Untersuchungsgebiets.....	208
Anhang 5.13: Materialboxen.....	209
Anhang 5.14: Analysekofter Gewässergüte.....	210
Anhang 5.15: Farbkarte Gewässergüte.....	211
Anhang 5.16: Gefährdungsbeurteilung der Chemikalien.....	212
Anhang 6: Material der ersten nachbereitenden Stunde zur Auswertung der Exkursion.....	216
Anhang 6.1: Verlaufsplan	216
Anhang 6.2: PowerPoint-Präsentation.....	218
Anhang 6.3: Arbeitsblatt Gruppenauswertung.....	219
Anhang 6.4: Arbeitsblatt Gesamtauswertung.....	220
Anhang 7: Material der nachbereitenden Stunden zum Moorschutz.....	221
Anhang 7.1: Verlaufsplan	221
Anhang 7.2: PowerPoint-Präsentation.....	222
Anhang 8: Ergebnisse der Einzelfallstudie.....	223
Anhang 8.1: Aufnahmen der Exkursion.....	223
Anhang 8.2: Daten der Exkursion.....	225
Anhang 8.3: Plakate zum Moor-, Klima- und Umweltschutz.....	226

9 Eidesstaatliche Erklärung

Caroline Krieger, geb. Schwinn

Kempfelder Str. 12

55758 Mörschied

Matrikel-Nr. 392923

Schriftliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben kann.

Datum, Ort

Unterschrift