VOM FICHTENFORST ZUM HANGMOOR

Ein Beitrag über die Sukzession des Thranenbruchs und die Rolle von Algen als Bioindikatoren

20

Der Thranenbruch ist ein stark anthropogen beeinflusstes Hangmoor im Nationalpark Hunsrück-Hochwald, welches seit 2016 renaturiert wird. Die Ausgangssituation der Renaturierung war eine Fichtenmonokultur mit einem dichten Netzwerk aus Entwässerungsgräben. Die Renaturierungsmaßnahmen umfassen eine vollständige Entnahme der Fichten sowie die Verschließung aller Entwässerungsgräben. Im Zuge dieser Renaturierungsarbeiten entstand eine Algenblüte in den Oberflächengewässern des Thranenbruchs. Seit Januar 2019 wird die Algenflora des Hangmoores makroskopisch beobachtet und mikroskopisch untersucht. Die Analyse der gefundenen Arten zeugt von einer schnellen Veränderung der Artengemeinschaft. War der Standort 2019 noch dominiert von einer Massenentwicklung fädiger Grünalgen, so wurden diese 2020 weitestgehend von der sich ausbreitenden Vegetation bestehend aus Binsen und Torfmoosen verdrängt. Gleichzeitig nahm die Anzahl an moortypischen Algenarten – den Zieralgen – rapide zu. Mithilfe eines ökologischen Bewertungsverfahrens auf der Grundlage dieser speziellen Gruppe von Algen lässt sich der sogenannte Erhaltungswert eines Ökosystems beurteilen. Für den Thranenbruch ergibt sich hieraus aktuell eine mittlere Bewertung in Höhe von 6 von maximal möglichen 10 Punkten. Diese Momentaufnahme zeugt von einer fortschreitenden Sukzession und belegt die positive Standortentwicklung im Vergleich zum Vorjahr. Gleichzeitig wird das noch vorhandene Entwicklungspotential deutlich.

Ein Plädoyer vorab

Algen – geht es um das Thema Moore, denkt man selten in erster Instanz an sie. Doch schaut man genauer hin, wagt einen Blick unter die Oberfläche des sauren Moorgewässers und betrachtet das mikroskopisch kleine Leben, so stellt man fest, dass sie da sind: zahlreich in Farben und Formen, zusammenhängend als Kolonie, einzeln oder aneinandergereiht zu langen Fäden. Einige von ihnen gehören zur typischen Flora von Mooren, andere verweilen nur kurz in diesen Lebensräumen, wenn die Bedingungen gerade recht sind. Beginnt man sie genau kennenzulernen, eröffnen sie uns einen wahren Schatz an Informationen.

Standortbeschreibung

Der Thranenbruch ist ein Hangmoor mit einer Fläche von ca. 30 ha und befindet sich am Südhang des Hunsrücks auf 650 m ü. NN in unmittelbarer Nähe des Erbeskopfes. Er gehört zum Gebiet des Nationalparks Hunsrück-Hochwald, welcher im März 2015 gegründet wurde. Der Standort weist eine Hangneigung von etwa 3,3° in Richtung Süd-Süd-Ost auf. Dies entspricht einer maximalen Höhendifferenz von 35 m über eine Strecke von 600 m (LANIS, 2019). Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt 1157 mm im 30-jährigen Mittel von 1981 bis 2010 (CDC, 2019). Bodenkundliche Kartierungen der Torfauflage im Thranenbruch ergaben hangmoortypische Mächtigkeiten von maximal 10 dm (LGB, 2018), welche in Abbildung 1 dargestellt sind (SNU, 2018).

Kurze Historie des Thranenbruchs

Der Nationalpark Hunsrück-Hochwald ist geprägt durch eine Vielzahl von Hangmooren, welche im lokalen Sprachgebrauch als „Brücher" bezeichnet werden. Die anthropogene Nutzung und Beeinflussung dieser Brücher ist bis in die Römerzeit zurückzuverfolgen (Schultheiß & Tempel, 2018). Die ursprüngliche Bestockung der Bruchgebiete setzte sich aus Birken, Erlen und Weiden

zusammen. Diese Weichholzbestände wurden als Brennholz und später ab dem 18. Jahrhundert zunehmend zur Holzkohleproduktion genutzt. Da die feuchten Standorte des Hochwaldes für die Forstwirtschaft vergleichsweise ungeeignet waren, rückten sie ab Ende des 18. Jahrhunderts in den Fokus der kurpfälzischen Administration. Die „Verbannung der Sümpfe" (Kling, 1790) wurde zum Gegenstand der Forstverbesserung erklärt und trotz zahlreich wechselnder Verwaltungshoheit von Franzosen über Preußen bis zu ihrem Höhepunkt in der Bundesrepublik der 1950er Jahre fortgeführt. Das daraus entstandene Grabensystem zur Entwässerung des Thranenbruchs ist in Abbildung 1 ersichtlich. Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts wurden die Weichholzbestände des Thranenbruchs in einen dichten Fichtenbestand umgewandelt. Mit Eröffnung des Nationalparks und den damit verbundenen Renaturierungsmaßnahmen dürfte sich die Historie der anthropogenen Nutzung nun bis auf Weiteres dem Ende zuneigen.

Durchgeführte Renaturierungsmaßnahmen

Renaturierungsmaßnahmen in Mooren haben zum Ziel, das geschädigte Ökosystem wieder in einen möglichst naturnahen Zustand zurückzuführen. Das Ergebnis einer erfolgreichen Renaturierung ist die Regeneration. Diese erfolgt graduell und lässt sich durch eine Reihe von Anzeichen ablesen. Hierzu zählen bspw. ein konstanter Grundwasserspiegel in Höhe der Geländeoberfläche, die Torfmoose und Zieralgen sowie die erneute Torfakkumulation (Staubli, 2004; Zerbe & Wiegleb, 2009).

Seit dem Jahr 2016 werden im Thranenbruch Renaturierungsmaßnahmen durchgeführt (SNU, 2018). Diese gliedern sich in 2 Schwerpunkte: In den beiden Winterhalbjahren 2016/17 und 2017/18 wurde ein Kahlschlag auf der Fläche durchgeführt und alle Fichten entnommen. Diese Entscheidung wurde getroffen, da Fichten kein Bestandteil der ursprünglichen und natürlich vorkommenden Vegetation des Thranenbruchs sind. Zudem werden seit 2017 Wiedervernässungsmaßnahmen durchgeführt, welche noch bis Mitte 2021 andauern werden. Hierbei werden alle Entwässerungsgräben verschlossen, um ihre Entwässerungswirkung zu unterbinden. Dadurch soll langfristig der Grundwasserspiegel wieder bis möglichst nahe an die Geländeoberkante ansteigen. Der Kahlschlag verstärkt diesen Effekt, da die Bestockung mit Fichte einen erheblichen Anteil zum Wasserverlust beigetragen hat. Dies hing sowohl mit der hohen Bestockungsdichte als auch mit dem hohen Eigenverbrauch der Fichte im Vergleich zu standorttypischen Laubbäumen zusammen (Zimmermann et al., 2008; Hoffmann, 1957; Scholtes & Nindel, 2017).

Ziel dieser beiden Maßnahmen ist zum einen, das natürliche Wasserregime des Standorts wiederherzustellen und zum anderen, die eigendynamische Entwicklung der Vegetation hin zu einer niedermoortypischen Flora zu initiieren.

DER AUTOR

Andreas Weber-Theen ist Doktorand im kooperativen Promotionsprogramm Biologie der Hochschule RheinMain und der Uni Göttingen. Als begeisterter Nachwuchs-Algologe forscht er über den Einfluss von Kläranlagen auf die Biodiversität der Fließgewässeralgen. Er studierte Bio- und Umwelttechnik an der Hochschule RheinMain in Rüsselsheim und Frankfurt. Seine Masterarbeit schrieb er 2019 bei der Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz über die Grünalgenblüte in Folge von Renaturierungsarbeiten im Thranenbruch.

Sekundäre Sukzession

Im Laufe der Transformation des Thranenbruchs von einer dicht bestockten Fichtenmonokultur mit einem Netzwerk aus funktionstüchtigen Entwässerungsgräben hin zu einem naturnahen Hangmoor durchläuft das Ökosystem mehrere Entwicklungsstufen. Die durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen veränderten die Lebensbedingungen des Standortes auf vielfältige Weise:

Die Entnahme der Fichten führte zu einer vollflächigen Belichtung des Bodens, welcher vormals durch das Kronendach beschattet wurde. In reinen Fichtenbeständen kann eine Reduktion der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR, photosynthetic active radiation) um etwa 90 bis 95 % durch Reflexion und Absorption des Kronendachs angenommen werden (Lieffers & Stadt, 1994). Das bedeutet, nach der Rodung erhöhte sich die Lichtintensität am Boden um den Faktor 10 bis 20.

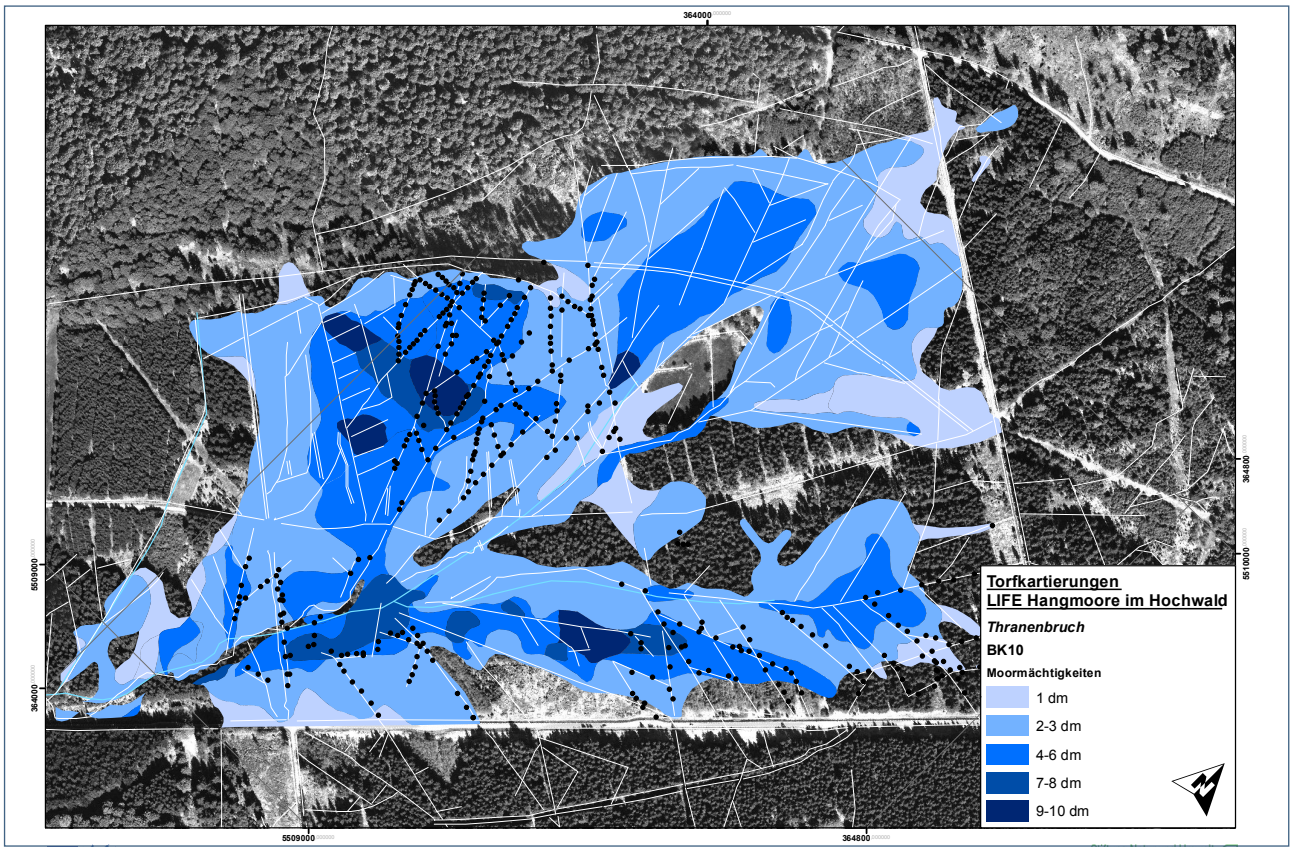

Abbildung 1: *Karte des Thranenbruchs. Farblich markiert ist die Torfauflage. Weiße Linien stellen Entwässerungsgräben und Wege dar. Punkte markieren bereits erstellte Staue (SNU, 2018).*

Daraus resultierte zudem eine Erwärmung der Bodenoberfläche. Untersuchungen auf einer Fichtenkahlschlagfläche haben Temperaturerhöhungen in 10 cm Bodentiefe von bis zu 5 °C im Sommer und 2 °C im Jahresdurchschnitt nachweisen können. Da die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen temperaturabhängig ist, führt diese Temperaturerhöhung zu einer gesteigerten Mineralisationsrate und somit zu einem erhöhten Nährstoffangebot (Klinck et al., 2013, Reece et al.; 2016).

Die nach dem Kahlschlag auf der Fläche verbliebene tote Biomasse bestehend aus Astmaterial, Wurzeln und Fichtennadeln unterliegt mikrobiologischen Zersetzungsprozessen. Die dabei freiwerdenden anorganischen Verbindungen wie Nitrat und Phosphat wurden aufgrund der zunächst fehlenden Vegetation nach einem Kahlschlag nicht in neue Biomasse eingebaut, sondern zum Großteil mit dem Sickerwasser ausgewaschen. Nährstofffreisetzung und Nährstoffaufnahme durch Primärproduktion wurden somit voneinander entkoppelt.

Des Weiteren wurden Transpiration und Interzeption der Gehölze durch den Kahlschlag unterbunden, sodass die Gesamtverdunstung des Standortes stark reduziert und dadurch die Sickerwassermenge stark erhöht wurde. Durch die Grabenverfüllungen konnte die mechanische Standortentwässerung beendet werden. Diese Kombination der hydrologischen Veränderungen ermöglichte einen Wiederanstieg des Grundwasserspiegels und die Neubildung von Oberflächengewässern wie Schlenken und Tümpel im Thranenbruch.

Darüber hinaus ist die Konkurrenzsituation durch das nahezu vollständige Entfernen der bestehenden Vegetation zurückgesetzt worden. Nach dem Kahlschlag verblieben nur noch vereinzelte Reste der Krautschicht bestehen. Diese geringe Vegetationsdichte führte zu einem Überangebot an Nährstoffen sowie zur vollständigen Lichtsättigung der Bodenoberfläche. Hierdurch wurde der Konkurrenzdruck des Standorts, also der Wettbewerb von Organismen um limitierende Faktoren, entscheidend reduziert, sodass sich ökologische Nischen völlig neu mischen konnten.

Das somit grundlegend veränderte Habitat erfüllte die Voraussetzung für eine sekundäre Sukzession. Dieser Begriff beschreibt den allmählichen Wandel einer Lebensgemeinschaft an einem Ort im Verlauf der Zeit. Hierbei werden Habitate betrachtet, die in Folge von starken Störungen wie z. B. durch Waldbrände, Überflutungen oder auch Kahlschläge verändert wurden, an denen jedoch noch Reste der ursprünglichen Vegetation und des Bodens vorhanden sind (Dalling, 2008).

IM ÜBERBLICK

- Die Renaturierung des Thranenbruchs markierte den Beginn einer sekundären Sukzession.
- Fädige Grünalgen eroberten den veränderten Standort in ihrer Rolle als Pionierarten.
- Entstehende Moorvegetation verdrängte die Fadenalgen wieder.
- Eine reichhaltige Flora moortypischer Zieralgen ist im Begriff zu entstehen.

Vom Kahlschlag zur Algenblüte

Auf die genannten Veränderungen reagieren Algen besonders empfindlich. Nach der Störung eines Habitats zählen sie zu den ersten Pionierarten, die sowohl aquatische als auch terrestrische Bereiche jeglicher Ausprägung besiedeln. Zu ihren wichtigsten Funktionen zählen Primärproduktion und im Falle von Bodenalgen Stabilisierung erodierter Bodenbereiche. Verbreitung und Stoffwechsel von Algen werden vor allem durch die Faktoren Sonnenstrahlung, Wasservorkommen, Nährstoffangebot, Temperatur sowie Konkurrenz reguliert (Law, 2011; Metting, 1981). Alle dieser Parameter wurden durch die Renaturierungsmaßnahmen verändert und im Sinne der Verbreitung von Algen begünstigt.

Dies ließ sich eindrucksvoll seit der ersten Vegetationsperiode nach den Rodungsarbeiten im Winterhalbjahr 2016/17 beobachten. Sowohl in den aufgrund der Wiedervernässungsmaßnahmen neu gebildeten Tümpeln und Schlenken als auch in den wasserführenden Seitengräben der noch vorhandenen Forstwege entstand ein flächendeckendes Vorkommen von leuchtend grünen, wattigen Algen. Diese besonders im Frühjahr auftretende Massenentwicklung von fädigen Grünalgen lässt sich durch die genannten Faktoren gut nachvollziehen. Die neu gebildeten Oberflächengewässer in Kombination mit vollständiger Lichtsättigung, gestiegenen Temperaturen, einem erhöhten Nährstoffangebot und fehlender Konkurrenz um limitierende Faktoren begünstigten die Verbreitung der Fadenalgen in besonderem Maße.

Bioindikation mit Algen

Anhand von Bioindikatoren (Zeigerorganismen) lassen sich Rückschlüsse auf Gewässergüte und Trophie eines Gewässers ziehen. Dabei gibt die Gewässergüte Auskunft über den Zustand eines Gewässers u. a. in Bezug auf die organische Belastung. Die Trophiestufe kennzeichnet die Nährstoffversorgung. Darüber hinaus eignen sich einige Bioindikatoren zur Beurteilung des pH-Werte-Bereichs eines Gewässers. Algen stellen hervorragende Bioindikatoren dar, anhand derer Rückschlüsse auf ökologische Gegebenheiten eines Standortes gezogen werden können (Gutowski & Foerster, 2009). Die Algenflora des Thranenbruchs wird seit Januar 2019 makroskopisch beobachtet und mikroskopisch untersucht.

Mit Beginn des Frühjahrs 2019 entwickelten fädige Grünalgen eine starke Dominanz auf der gesamten Fläche. An allen Stellen, an denen sich Oberflächenwasser gebildet hatte, waren sie anzutreffen. Es erforderte kein akribi-

Abbildung 2: *Algenblüte in den Oberflächengewässern des Thranenbruchs. Aufgenommen am 09.11.2018 (links) und am 03.04.2019 (rechts).*

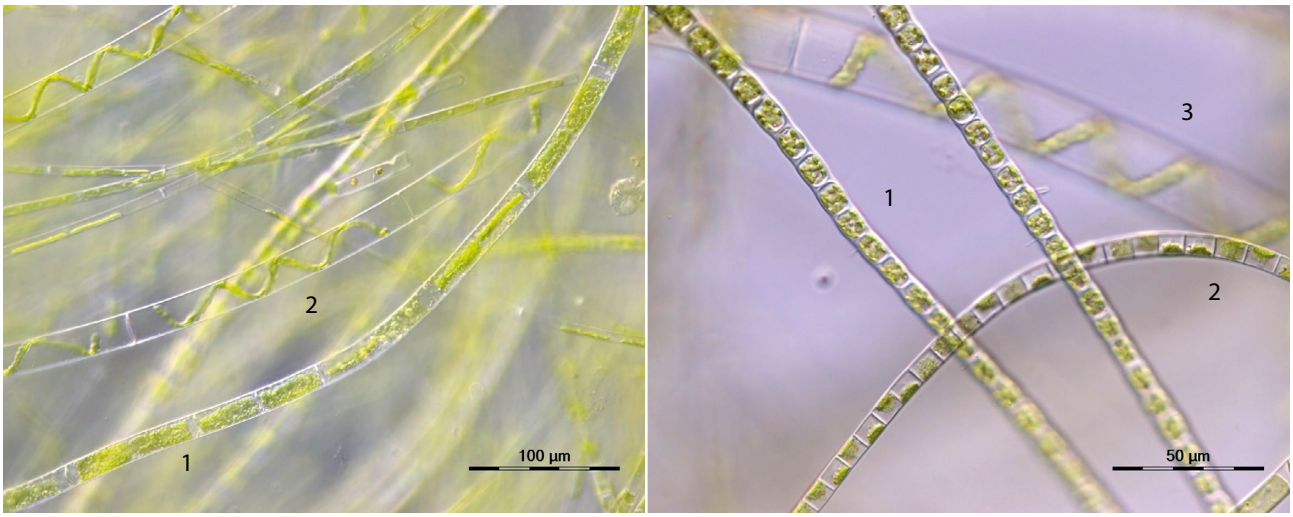

Abbildung 3: *Fadenalgen des Thranenbruchs. Links: Mougeotia sp. (1), Spirogyra sp. (2). Rechts: Microspora sp. (1), Klebsormidium sp. (2), Spirogyra sp. (3). Mikroskopische Aufnahmen (Lorenz, 2019).*

sches Suchen von Probenahmestellen, da das leuchtende Neongrün mit bloßem Auge weithin sichtbar war. Die mikroskopische Analyse ergab eine Anzahl von 7 verschiedenen Gattungen fädiger Grünalgen. Die meisten dieser im Thranenbruch gefundenen Gattungen sind dafür bekannt, treibende Watten in flachen, eutrophen Gewässern zu bilden (Hillebrand, 1983). Diese für die gefundenen Gattungen in der Literatur angegebene, typische Standortbeschreibung „flach und eutroph" traf 2019 auf den Standort zu. Die Probenahmestellen waren zwischen 5 und 50 cm tief. Das beschriebene Überangebot an Nährstoffen in Folge der Rodungsarbeiten führte zu temporär eutrophen Bedingungen.

Ein Jahr später führte die fortschreitende Sukzession des Thranenbruchs zu maßgeblichen Veränderungen in der Algenflora. Die flächenhafte Massenentwicklung der fädigen Grünalgen wurde durch die Ausbreitung der an den Standort angepassten Flora bestehend aus Binsen und Torfmoosen weitestgehend verdrängt. Der beschriebene Konkurrenzdruck nahm für Fadenalgen zu. Das Nährstoffüberangebot herrscht 2020 nicht mehr, hinzu kommt die Beschattung der Boden- und Kleinstgewässeroberflächen durch höhere Pflanzen. Unter diesen Bedingungen sind die zuvor stark verbreiteten Fadenalgen konkurrenzschwach und nur noch vereinzelt zu finden. Ihre Pionierrolle in der Erstbesiedelung des neuen Lebensraums ist nun vorüber. An ihre Stelle rückten andere Arten.

Typische Algenflora in Mooren

Zur typischen Algenflora von Moorstandorten gehören die sogenannten Zieralgen (Desmidiaceae und Mesotaeniaceae) (Coesel & Meesters, 2007; Štěpánková et. al, 2012; Lenzenweger 1996). Sie sind gekennzeichnet durch ihre formenreiche Gestalt sowie einen symmetrischen Zellaufbau in Form von zwei Halbzellen. Der Großteil der Zieralgen ist angepasst an saure und nährstoffarme Lebensbedingungen. Dank einer sehr detaillierten Datenlage in der Literatur sind Zieralgen besonders verlässliche Bioindikatoren. Je höher die Artenvielfalt der Zieralgen an einem Standort ist, desto präziser lassen sich ökologische Informationen ablesen. Darüber hinaus gibt die jeweilige Artengemeinschaft Auskunft über den sogenannten „nature conservati

Tabelle 1: *Liste der gefundenen Fadenalgen aus der Massenentwicklung von 2019.*

Taxon	Ordnung	Autor	Jahr
Microspora sp.	Sphaeropleales	Thuret	1850
Klebsormidium sp.	Klebsormidiales	P.C. Silva, Mattox & W.H. Blackwell	1972
Mougeotia sp.	Zygnematales	C. Agardh	1824
Oedogonium sp.	Oedogoniales	Link	1820
Spirogyra sp.	Zygnematales	Link	1820
Stigeoclonium sp.	Chaetophorales	Kützing	1843
Ulothrix sp.	Ulotrichales	Kützing	1833

on value". Dieser ist definiert als die Summe der 3 Teilkomponenten Vielfalt, Seltenheit und ökologische Sensibilität der Arten. Je anfälliger ein Ökosystem ist und je weniger leicht es wiederhergestellt oder neu geschaffen werden kann, desto höher ist die Notwendigkeit, es zu erhalten und zu schützen, und desto höher ist sein Erhaltungswert (Coesel & Meesters, 2007).

Bislang wurden im Thranenbruch 12 Arten der Zieralgen gefunden und bestimmt. Waren es im Jahre 2019 erst 3 Arten, so stellt dies eine drastische Zunahme von 9 Arten innerhalb eines Jahres dar und belegt die positive Entwicklung des Standortes. Alle dieser Zieralgen sind acidophil und oligo- bis mesotraphent, das bedeutet, sie sind Zeigerorganismen für saure Standorte mit geringer bis mäßiger Nährstoffversorgung. Die Algenflora im Jahre 2020 zeigt sich somit von einer grundlegend anderen Zusammensetzung als im Vorjahr. Diese schnelle Veränderung zeugt von einer im Umbruch begriffenen Pflanzengesellschaft und somit von einer fortschreitenden Sukzession.

Fazit

Die Auswertung der gefundenen Zieralgen ergibt aktuell einen Erhaltungswert von 6 auf einer Skala von maximal möglichen 10 Punkten. Diese mittlere Standortbewertung mag für manch einen Leser auf den ersten Blick ernüchternd erscheinen, doch sei noch einmal auf den großen Entwicklungsschritt innerhalb eines Jahres hingewiesen. Die Beobachtungen der Algenflora des Thranenbruchs belegen den Erfolg der Renaturierungsmaßnahmen an diesem Standort. Die Zukunft wird zeigen, wie reichhaltig sich das Hangmoor am Südhang des Erbeskopfes mit Zieralgen schmücken wird. Dank des Nationalparks obliegt die Regie nun der Natur und uns bleibt am Ende einer langen menschgeprägten Historie dieses Bruches nun die Rolle des stillen Beobachters.

Abbildung 4: *Die Vegetation des Thranenbruchs nimmt zu. Links: Fingerhut; rechts oben: ausgedehnte Bestände von Binsen; rechts unten: Torfmoose. Aufgenommen am 09.07.20.*

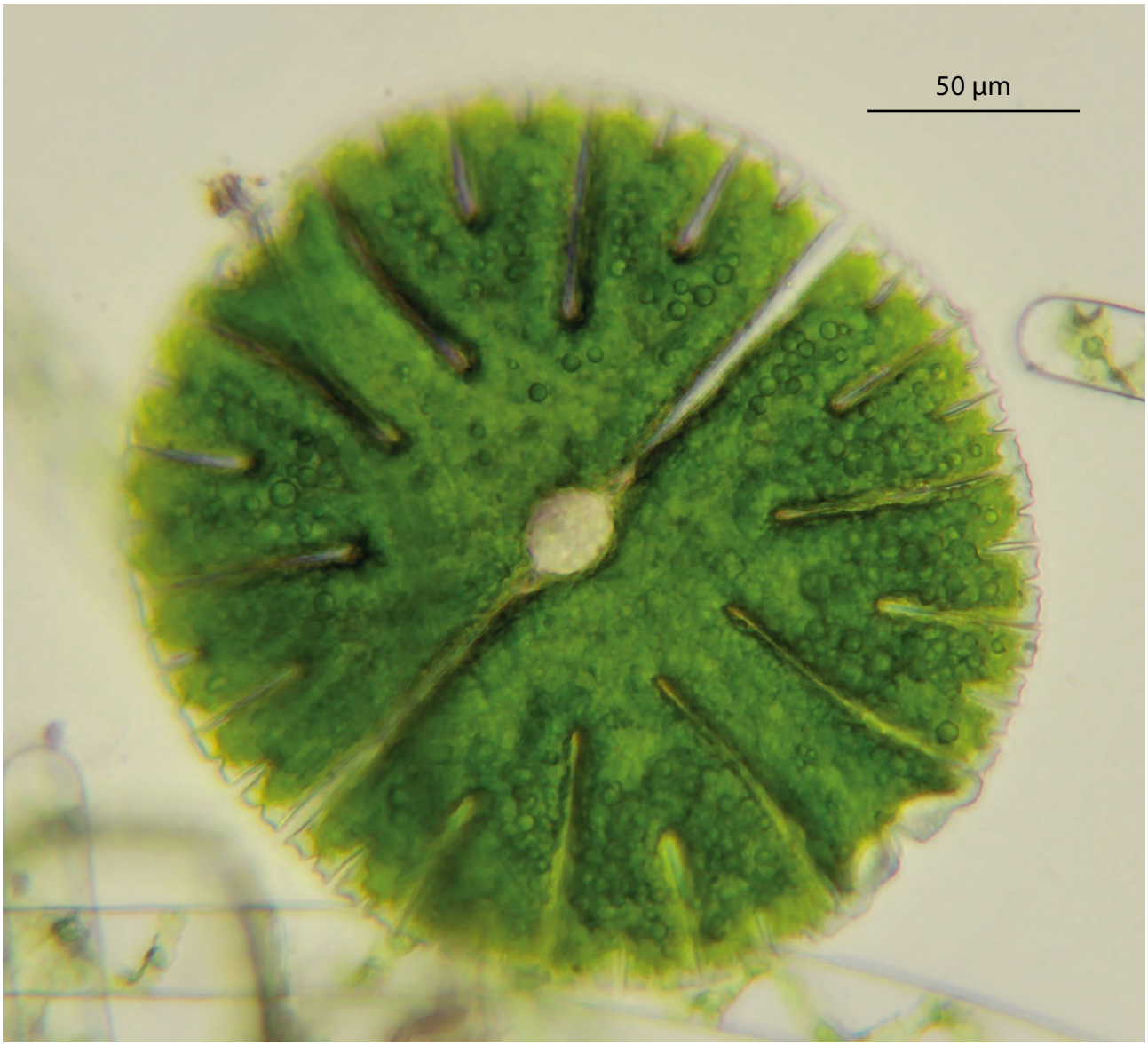

Abbildung 5: *Typische Mooralge: Micrasterias thomasiana var. notata. Mikroskopische Aufnahme mit 400-facher Vergrößerung.*

Tabelle 2: *Artenliste der Zieralgen – Stand August 2020.*

Taxon	Ordnung	Autor	Jahr	Nährstoff-Bereich	pH-Bereich
Closterium costatum	Desmidiales	Ralfs	1848	mesotroph	acidophil
Closterium parvulum	Desmidiales	Nägeli	1849	mesotroph	acido-neutrophil
Cosmarium quadratum	Desmidiales	Ralfs	1848	mesotroph	acidophil
Cylindrocystis cf. *brebissonii*	Zygnematales	De Bary	1858	oligotroph	acidophil
Euastrum ansatum	Desmidiales	Ralfs	1848	oligo-mesotroph	acidophil
Euastrum binale	Desmidiales	Ralfs	1848	oligo-mesotroph	acidophil
Euastrum oblongum	Desmidiales	Ralfs	1848	mesotroph	acidophil
Hyalotheca dissiliens	Desmidiales	Ralfs	1848	mesotroph	acido-alkaliphil
Micrasterias thomasiana var. *notata*	Desmidiales	Grönblad	1920	oligo-mesotroph	acidophil
Spirotaenia condensata	Zygnematales	Ralfs	1848	oligo-mesotroph	acidophil
Staurastrum hirsutum	Desmidiales	Ralfs	1848	oligotroph	acidophil
Tetmemorus brebissonii	Desmidiales	Ralfs	1848	oligotroph	acidophil

Quellen

CDC (2019): Climate Data Center des Deutschen Wetter Dienstes. Station Hüttgeswasen (6333). Online im Internet unter: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_81-10/Niederschlag_1981-2010_aktStandort.txt (18.05.2019).

Coesel, P. F. M., Meesters, K. J. (2007): Desmids of the Lowlands. Mesotaeniaceae and Desmidiaceae of the European Lowlands. Zeist: KNNV Publishing, 351 S.

Dalling, J. W. (2008): Pioneer Species. In: Encyclopedia of Ecology, 2nd edition, Vol. 3. Elsevier, S. 181-184.

Gutowski, A., Foerster, J. (2009): Benthische Algen ohne Diatomeen und Characeen. Feldführer. LANUV-Arbeitsblatt 2. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Aktualisierte Neuauflage. Recklinghausen, 90 S.

Gutowski, A., Foerster, J. (2009): Benthische Algen ohne Diatomeen und Characeen. Bestimmungshilfe. LANUV-Arbeitsblatt 9. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Recklinghausen, 474 S.

Hillebrand, H. (1983): Development and dynamics of floating clusters of filamentous algae. In: Periphyton of Freshwater Ecosystems. Developments in Hydrobiology, Vol. 17, S. 31-39.

Hoffmann, D. (1957): Die Brücher des Hochwaldes. In: Mitteilungen aus dem Forsteinrichtungsamt Koblenz. Nr. 6. 39 S.

John, D. M., Whitton, B. A., Brook, A. J. (2002): The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An Identification Guide to Freshwater and Terrestial Algae. Cambridge: Cambridge University Press, 702 S.

Klinck, U., Fröhlich, D., Meiwes, K. J., Beese, F. (2013): Entwicklung der Stoffein- und -austräge nach einem Fichten-Kleinkahlschlag. In: forstarchiv 84, Heft 3, S. 93-101.

Kling, J. P. (1790): Vorschriftsmäßige Behandlung der Domainen-Waldungen in der Churpfalz. Hof- und akademische Druckerei, Mannheim.

LANIS (2019): Landschaftsinformationssystem der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz. Online im Internet unter: https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/ (26.05.2019).

Law, R. L. (2011): A review of the function and uses of, and factors affecting, stream phytobenthos. In: Freshwater Reviews 2011, Vol. 4., S. 135-166.

Lenzenweger, R. (1996): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 1. In: Bibliotheca Phycologica Bd. 101, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 162 S.

Lenzenweger, R. (1997): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 2. In: Bibliotheca Phycologica Bd. 102, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 216 S.

Lenzenweger, R. (1999): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 3. In: Bibliotheca Phycologica Bd. 104, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 218 S.

Lenzenweger, R. (2003): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 4. In: Bibliotheca Phycologica Bd. 111, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 87 S.

LGB (2018): Bodenkundliche Kartierung von Hangbrüchern im Bereich des Nationalparks Hunsrück/Hochwald. Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz. Mainz.

Lieffers, V. J., Stadt, K. J. (1994): Growth of understory Picea glauca, Calamagrostis canadensis, and Epilobium angustifolium in relation to overstory light transmission. In: Canadian Journal of Forest Research 1994, Vol. 24, S. 1193-1198.

Lorenz, M. (2019): Mikroskopische Bestimmung der Algenproben vom 18.04.2019 aus dem Thranenbruch.

Metting, B. (1981): The Systematics and Ecology of Soil Algae. In: The Botanical Review 1981, Vol. 47, issue 2, S. 195-312.

Reece, J., Urry, L., Cain, M., Wassermann, S., Minorsky, P., Jackson, R. (2016): Campbell Biologie. 10. Auflage. Hallbergmoos: Pearson, S. 1640-1644.

Scholtes, M., Nindel, I. (2017): Maßnahmenplanung EU LIFE-Natur-Projekt 18.12.2017. Wiederherstellung und Erhalt von Hang- und Zwischenmooren im Hunsrück. S. 73-74.

Schultheiß, J., Tempel, M. (2018): Interner Projektbericht. Nutzung und naturschutzfachliche Inwertsetzung der Bruchgebiete im Hochwald.

Simons, J., Lokhorst, G. M., van Beem, A. P. (1999): Bentische zoetwateralgen in Nederland. Utrecht: KNNV publishing, 280 S.

SNU (2018): Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz. Midterm Report 30.09.2018. Wiederherstellung und Erhalt von Hang- und Zwischenmooren im Hochwald (Hunsrück).

Staubli, P. (2004): Regeneration von Hochmooren im Kanton Zug. In: Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 2004, Bd. 149, S. 75-81.

Štěpánková, J., Hašler, P., Hladká, M., Poulíčková, A. (2012): Diversity and ecology of desmids of peat bogs in the Jeseníky Mts: spatial distribution, remarkable finds. In: Fottea - Journal of the Czech Phycological Society 2012, Vol. 12, issue 1, S. 111-126.

Zerbe, S., Wiegleb, G. (2009): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. S. 55-80.

Zimmermann, L., Raspe, S., Schulz, C., Grimmeisen, W. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern. Bäume und Bestände verdunsten unterschiedlich stark. In: LWF aktuell, Bd. 66, S. 16-20.