

Moos- und Flechtenmonitoring im Nationalpark Kellerwald-Edersee

Dietmar Teuber, Gunnar Waesch, Helga Bültmann, Uwe Drehwald, Jan Eckstein, Markus Preußing & Inga Schmiedel

Einleitung

In den Kriterien der IUCN und des Weltkulturerbes (UNESCO) wird das Themenfeld Forschung und Monitoring als Pflichtaufgabe für Biosphärenreservate und Nationalparke genannt (EUROPARC DEUTSCHLAND 2010). Unter diesen Gesichtspunkten werden in Biosphärenreservaten und Nationalparks Monitoringprogramme etabliert, die dieser Frage nachgehen (FREDE 2010). Die Ziele werden auch im Nationalparkplan festgeschrieben (NATIONALPARKAMT KELLERWALD-EDERSEE 2021). Im Nationalpark Kellerwald-Edersee erfolgt Monitoring (Umweltbeobachtung) in vielen Bereichen (z. B. Naturwaldforschung/Walddynamik, Phytodiversität und Vegetationsentwicklung, Natura-2000-Monitoring). Eine vollständige Übersicht liefert FREDE (2018). Das hier vorgestellte Monitoring mit Moosen und Flechten ist ein weiterer wichtiger Teil dieses Monitoringprogrammes. Es wird in gleicher Form in den Nationalparks Hainich und Eifel durchgeführt.

Tab. 1: Arbeitsschritte des Moos- und Flechtenmonitorings (2004-2025)

| Arbeitsschritt | Zeitraum |
|---|---------------|
| Inventarisierung Flechten | 2004 bis 2009 |
| Inventarisierung Moose | 2008 bis 2013 |
| Erste Überlegungen und Diskussionen für ein Flechten- und Moosmonitoring im NP Kellerwald-Edersee | 2013 |
| Im Nationalpark Hainich gibt es ähnliche Überlegungen | 2013 |
| Arbeitstreffen im Nationalpark Hainich | 9/2013 |
| Entwurf eines Konzepts: „Monitoring der Waldentwicklung mit Hilfe von Moosen und Flechten“ | 3/2014 |
| Aufnahmeanleitung für das Monitoring mit Moosen und Flechten in den Nationalparks Hainich und Kellerwald-Edersee – Entwurf für die Pilotphase | 10/2014 |
| Pilotphase – Bearbeitung von 24 Probekreisen im Nationalpark Kellerwald-Edersee | 10-11/2014 |
| Aufnahmeanleitung für ein Monitoring von Moosen und Flechten in Wald-Nationalparks und vergleichbaren Schutzgebieten | 9/2015 |
| Nationalpark Eifel stößt dazu | 2015 |
| Ersterfassung – Bearbeitung von 46 Probekreisen im Nationalpark Kellerwald-Edersee | 2015 bis 2016 |
| Dateneingabe in die TurboVeg-Datenbank | 2018 |
| Erstellung eines Auswertungskonzeptes | 2019 bis 2020 |
| Datenauswertung | 2020 bis 2022 |
| Einstieg vom NP Hunsrück-Hochwald | 2022 |
| Überarbeitung der Aufnahmeanleitung | 2023 |
| Zweiterfassung | 2024 bis 2025 |

Zeitlicher Verlauf

Das Moos- und Flechtenmonitoring wurde über einen langen Zeitraum entwickelt. Grundlage war die Inventarisierung der Flechten ab 2004 und die der Moose im Nationalpark ab 2008. Wesentliche Arbeitsschritte sind in Tab. 1 aufgeführt.

Untersuchungskonzept und Erfassungsmethode

Folgende Überlegungen liegen dem Untersuchungskonzept zugrunde:

- (1) Die Untersuchungen erfolgen an ausgewählten Probekreisen der Permanenten Stichprobeninventur (PSI) innerhalb des Nationalparks. Zahl-

reiche Untersuchungen in den Wald-Nationalparks (und auch in anderen Wald-Schutzgebieten) orientieren sich an einem flächendeckenden Raster. Es ist in den Nationalparks üblicherweise ein 200 × 200 m Nord/Süd West/Ost orientiertes Gitternetz. Die Kreuzungspunkte des Gitters sind die Mittelpunkte der Probekreise. Diese sind mit Bodenmarken dauerhaft markiert. Die Probekreise haben einen Radius von 12,62 m (Flächengröße 500 m²). An den Probekreisen orientieren sich viele Untersuchungen, die im Nationalpark durchgeführt werden. Für die Probekreise liegen Daten zu Waldstruktur und Bodenvegetation, aber

auch Standortangaben wie Exposition, Inklination, Höhenlage, Hangneigung, Hanglage und Bodentyp vor. Darüber hinaus sind als flächenbezogene Daten für den gesamten Nationalpark verfügbar: Baumartenzusammensetzung und Bestandesalter (aus Forsteinrichtung), Biotoptypen sowie Bodentypen, Standorttypen und Geologie. Diese auf den Probekreis und in unterschiedlicher Differenziertheit auf den Nationalpark bezogenen Daten ermöglichen es, bei der Datenauswertung Ursachen für Unterschiede und bei Folgeerhebungen auch Veränderungen der Artenzusammensetzung zu ermitteln. Für die Ersterhebung wurden vom

Erfassung der Moose und Flechten auf der gesamten PSI-Fläche (Gesamtartenliste)

Es werden weitere Arten des Probekreises notiert, die bislang noch nicht erfasst wurden. Ein Deckungsgrad wird nicht angegeben; das am häufigsten besiedelte Substrat wird erfasst.

Beispielhafte Vorstellung von Ergebnissen für einen Probekreis

Nachfolgend werden beispielhaft Aufnahmeergebnisse für einen Probekreis (PK 219, Waldort Hagenstein, südöstlich von Schmittlotheim am Nordwestrand des Nationalparks) dargestellt. Typische Arten dieses Probekreises zeigt Abbildung 2. Der Probekreis ist nordwestexponiert und weist eine Hangneigung von 15° auf. Er befindet sich in einer Höhenlage von 345 m ü. NN. Biotoptyp ist der Hainsimsen-Buchenwald (Flattergras-Variante). Im Baumbestand kommt ausschließlich die Rotbuche vor. Die Auswahl der zu untersuchenden Bäume erfolgte im Vorfeld. Der BHD der untersuchten Bäume liegt zwischen 74 und 499 mm.

Es werden gemäß der Aufnahmeanleitung die epiphytischen Moose und Flechten von fünf Rotbuchen untersucht, außerdem werden die Moose und Flechten der Vegetationsaufnahmefläche und das Gesamtartenspektrum mit Angaben zum hauptsächlich besiedelten Substrat erfasst. An den fünf Rotbuchen (Epiphytenbäumen) wurden an Mittelstamm und Stammfuß acht Moosarten und 16 Flechtenarten nachgewiesen. In der Vegetationsaufnahmefläche wurden drei epigäische Moose, jeweils eine Moosart auf Totholz und Wurzeläusläufern und eine Flechtenart auf Gestein nachgewiesen. Innerhalb des Probekreises wurden 14 Moosarten und 26 Flechtenarten auf 500 m² nachgewiesen, wobei die Epiphyten den überwiegenden Anteil ausmachen.

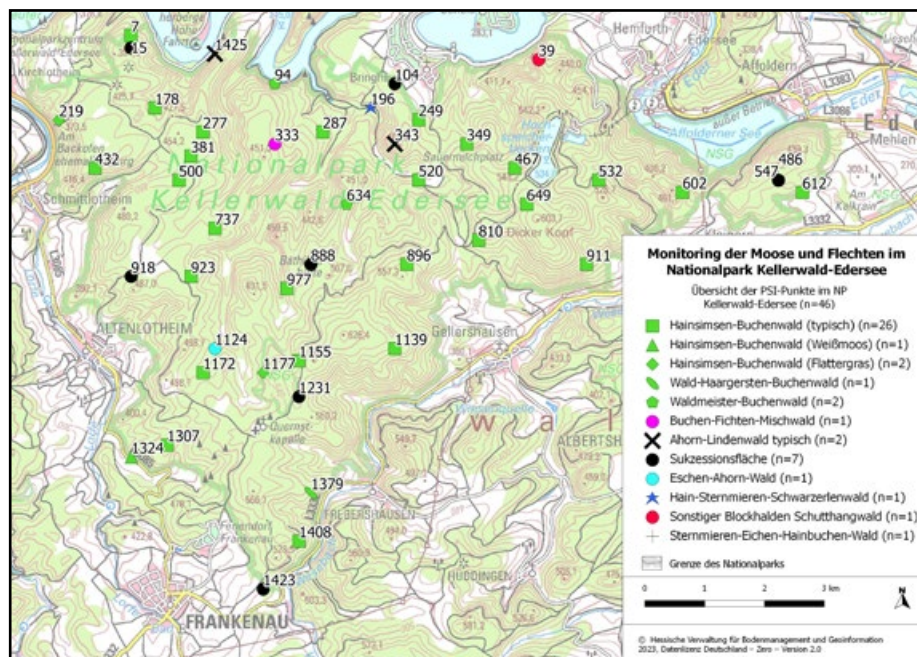


Abb. 1: Im Rahmen des Moos- und Flechtenmonitorings ausgewählte PSI-Punkte im Nationalpark Kellerwald-Edersee (n=46)

Nationalparkamt 46 Probekreise nach festgelegten Kriterien ausgewählt. Ihre Lage zeigt Abbildung 1.

(2) Eine Aufnahmeanleitung beschreibt die Erfassung der Moose und Flechten detailliert (DREHWALD 2015). Innerhalb eines Probekreises werden drei sogenannte Aufnahmekompartimente unterschieden, für die jeweils eine spezifische Erfassungsmethode angewendet wird:

- Erfassung der epiphytischen Moose und Flechten an stehenden Bäumen (Epiphytenbäume)
- Erfassung der Moose und Flechten auf der Vegetationsaufnahmefläche (Kryptogamenaufnahme)
- Erfassung der Moose und Flechten auf der gesamten PSI-Fläche (Gesamtartenliste)

Für die Erfassung dieser drei Aufnahmekompartimente gibt es jeweils einen separaten Erhebungsbogen (für Sukzessionsflächen existieren weitere, modifizierte Anweisungen).

Erfassung von epiphytischen Moosen und Flechten an ausgewählten Bäumen (Epiphytenbäume)

Dazu werden alle Baumarten des Probekreises erfasst (maximal fünf Bäume pro

Baumart). Sie sollen möglichst regelmäßig im Probekreis verteilt sein. Für jeden Probebaum werden folgende Angaben erhoben: Neigungsrichtung und Neigung. Es werden zwei Aufnahmebereiche unterschieden: 0-40 cm und >40-180 cm. Der Deckungsgrad der Arten wird in Prozent nach der LONDO-Skala erhoben (MEYER et al. 2013). Ausgewählte Algen und Pilze werden ebenfalls erfasst. Weiterhin werden der Anteil an Grünalgen und besondere Strukturen erhoben.

Erfassung der Moose und Flechten auf der Vegetationsaufnahmefläche (Kryptogamenaufnahme)

In jedem PSI-Probekreis gibt es eine Vegetationsaufnahmefläche, die sich in unterschiedlich definiertem Abstand zum Probeflächenmittelpunkt befindet. Die Größe beträgt je nach Nationalpark 100 bzw. 144 qm. Auf dieser Fläche werden alle Flechten und Moose erfasst (unabhängig vom Substrat). Das am häufigsten besiedelte Substrat wird notiert. Es werden unterschieden: Erdboden, Gestein, Totholz und Wurzeläusläufer. Epiphytisch wachsende Arten werden nicht erfasst, sondern bei der Gesamtartenliste (s. u.) aufgenommen.

Auswertungsverfahren für den gesamten Datensatz und Ergebnisse

Insgesamt wurden in den drei Nationalparks 210 Probekreise bearbeitet. Innerhalb dieser 210 Probekreise wurden die epiphytischen Moose und Flechten an insgesamt 1360 Bäumen von 23 Baumarten am Mittelstamm und Stammfuß erfasst. Für jeden Probekreis und die einzelnen Bäume liegt eine Vielzahl von Parametern unterschiedlicher Genauigkeit (probekreisbezogen, Baumbezogen, NP-bezogen) vor.

Die Datenauswertung gliedert sich in drei Arbeitsschritte:

- (1) Datensichtung und deskriptive Datenanalyse
- (2) Weitergehende Charakterisierung mithilfe synökologischer Interpretationshilfen
- (3) Explorative Datenanalyse

Darüber hinaus betrachten wir drei Aufnahmekompartimente:

- (1) Epiphyten an den untersuchten Probebäumen
- (2) Kryptogamenaufnahme
- (3) Gesamtartenliste zum Probekreis

Die Daten lassen sich separat für die einzelnen Nationalparke (gebietsweise) oder in ihrer Gesamtheit für alle drei untersuchten Schutzgebiete (gebietsübergreifend) betrachten. Darüber hinaus wurden von den Auftraggebern „Forschungsfragen“ formuliert, denen verschiedene Thesen zugeordnet sind. Diese Forschungsfragen überschneiden sich mit anderen Arbeitsschritten, vor allem mit dem Arbeitsschritt 3 (explorative Datenanalyse):

- (1) Welche Moos- und Flechtenarten kommen in den Waldentwicklungsphasen (WEP) bzw. Waldbiotop-typen (WBT) vor?
- (2) Welche Standortbedingungen und Bestandsparameter sind maßgeblich für das Vorkommen?
- (3) Welche baumbezogenen Parameter sind maßgeblich für das Vorkommen der epiphytischen Moos- und Flechtenarten?

Es ergibt sich folglich eine sehr große Zahl von Auswertungsmöglichkeiten. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in zwei Berichten dargestellt (BÜLTMANN et al. 2019, 2022). Grundsätzlich sind

noch viele weitere Auswertungen möglich. Bei der weiteren Planung sollte im Vorfeld geprüft werden, welche Auswertungen vielversprechende Ergebnisse erwarten lassen.

Ergebnisse

Im Folgenden werden beispielhaft Ergebnisse aus den Arbeitsschritten eins bis drei vorgestellt.

Arbeitsschritt 1: Datensichtung und deskriptive Datenanalyse

Ein erster und vorbereitender Schritt für die weitergehende Auswertung der Daten ist die „Datensichtung und deskriptive

Datenanalyse“. Es handelt sich dabei um die Beschreibung und Visualisierung der Daten in Form von Text, Tabellen und Grafiken, die ein erstes und einfaches Verständnis der großen Menge an erfassten Daten ermöglicht. Die deskriptive Datenanalyse erfolgt für die drei Aufnahmekompartimente Epiphytenbäume, Kryptogamenaufnahme und die Gesamtartenliste. Darüber hinaus wird auf Grundlage der Gesamtartenlisten pro Probekreis eine Liste der Flechten und Moose für jeden NP erstellt (Abb. 3, Tab. 2).

Über die Berechnung des Gemeinschaftskoeffizienten nach Sørensen (Tab. 3) ist erkennbar, dass die Moosfloren der drei Nationalparke mehr gemeinsame Arten haben als die Flechtenfloren. Eifel und Kellerwald sind für beide Organismengruppen ähnlicher als Eifel und Hainich



Abb. 2: Moos- und Flechtenarten in Plot 219. *Hypnum cupressiforme* (oben links), *Metzgeria furcata* (oben rechts), *Pyrenula nitida* (Mitte links), *Graphis scripta* (Mitte rechts), *Lepraria incana* (unten links), *Arthonia radiata* (unten rechts) (Fotos: G. Waesch)

bzw. Kellerwald und Hainich. Der Hainich weicht von den beiden anderen Nationalparks für beide Organismengruppen ungefähr gleich stark ab.

Arbeitsschritt 2: Weitergehende Charakterisierung mit Hilfe synökologischer Interpretationshilfen

Dieser zweite Arbeitsschritt wurde im Verlaufe der Auswertung zusammen mit dem dritten Arbeitsschritt durchgeführt. Dabei wurden synökologische Interpretationshilfen (z. B. ökologische Zeigerwerte) bei der explorativen Datenanalyse berücksichtigt.

Arbeitsschritt 3: Explorative Datenanalyse

Die explorative Datenanalyse und die Darstellung der Ergebnisse erfolgten mit Hilfe einer nicht metrischen multidimensionalen Skalierung (NMDS). Bei diesem Ordinationsverfahren werden komplexe Zusammenhänge in einem möglichst niedrigdimensionalen Raum grafisch dargestellt. Hierfür wurde das Statistikprogramm R genutzt. Die in Abbildung 4 beispielhaft dargestellte NMDS-Analyse der aggregierten Epiphytenaufnahmen aus Buchenwäldern zeigt, dass sich die Artenzusammensetzung der Aufnahmen aus den drei Nationalparks sehr deutlich unterscheidet. Mit dargestellt sind auch Arten, Kopfdaten und Standortvariablen.

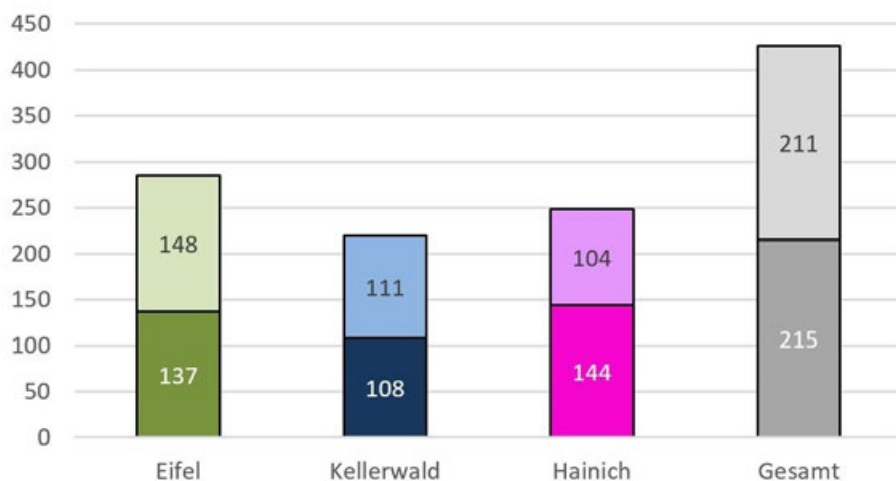


Abb. 3: Anzahl der im Rahmen des Monitorings nachgewiesenen Moos- und Flechtenarten in den drei untersuchten Nationalparks und die Gesamtzahl der in allen drei Gebieten nachgewiesenen Arten. Unten im Balken ist jeweils die Zahl der nachgewiesenen Moosarten, oben im Balken die Zahl der nachgewiesenen Flechtenarten dargestellt. (Grafik: BÜLTMANN et al. 2022, verändert.).

Rückblick und Ausblick

Wenngleich dieses Projekt dank des Einsatzes und der Motivation aller Beteiligten sehr erfolgreich verlief, gab es aufgrund des Umfangs erwartungsgemäß immer wieder verschiedene neue Herausforderungen. Pandemiebedingt waren während der Auswertung Präsenztreffen nicht möglich, was manche Arbeitsschritte erschwerte.

Im Folgenden werden unterschiedliche Aspekte aufgeführt, die auch zukünftig im Blick behalten werden sollten:

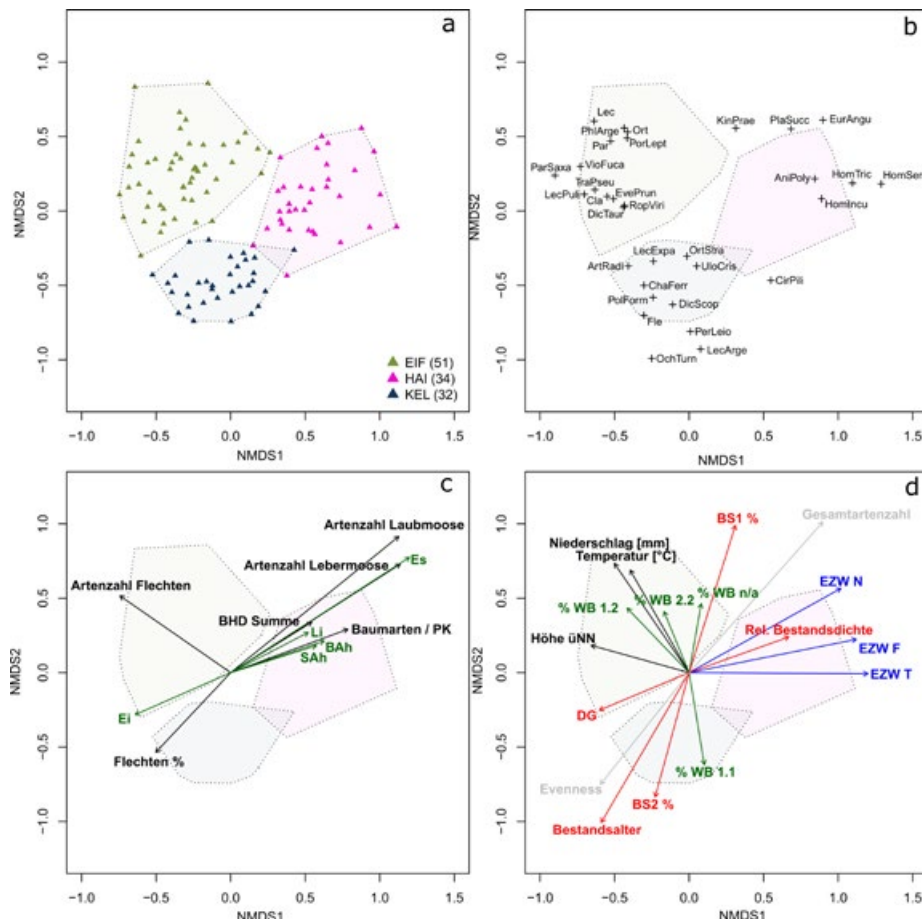
- Das Untersuchungsdesign und die Erfassungsmethoden sind gut geeignet, um die gegenwärtige Situation der Moose und Flechten zu beschreiben.

- Am flächendeckenden Raster der PSI-Probekreise orientieren sich viele andere Untersuchungen in den Nationalparks. Sehr seltene Waldbiototypen sind jedoch bei einer zufälligen Auswahl der Probekreise unterrepräsentiert oder fehlen vollständig. Das gilt auch für seltene Moose und Flechten.
- Die Erfassungsmethoden für Moose und Flechten haben sich bewährt.
- Die Auswertungsverfahren sind durch den großen Datensatz komplex, was insbesondere die explorative Datenanalyse betrifft. Der methodische und auch der zeitliche Umfang der geplanten Auswertungsarbeiten musste im Vorfeld kalkuliert werden. In der Summe wurde der zeitliche Aufwand für die Auswertung unterschätzt.

Tab. 2: Die häufigsten Flechtenarten („Top Ten“) in den drei Nationalparks mit Angabe ihrer Stetigkeit in Prozent

| Kellerwald | Stetigkeit | Hainich | Stetigkeit | Eifel | Stetigkeit |
|---------------------------------|------------|-------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| <i>Lepraria incana</i> | 93% | <i>Lepraria incana</i> | 83% | <i>Lepraria incana</i> | 87% |
| <i>Coenogonium pineti</i> | 76% | <i>Anisomeridium polypori</i> | 80% | <i>Coenogonium pineti</i> | 73% |
| <i>Pseudosagedia aenea</i> | 74% | <i>Pseudosagedia aenea</i> | 72% | <i>Micarea prasina</i> | 70% |
| <i>Pseudosagedia chlorotica</i> | 70% | <i>Coenogonium pineti</i> | 71% | <i>Pseudosagedia aenea</i> | 63% |
| <i>Cladonia coniocraea</i> | 59% | <i>Arthonia spadicea</i> | 63% | <i>Pseudosagedia chlorotica</i> | 55% |
| <i>Melanelixia glabratula</i> | 41% | <i>Cladonia coniocraea</i> | 46% | <i>Micarea micrococca</i> | 50% |
| <i>Parmelia sulcata</i> | 41% | <i>Bacidina sulphurella</i> | 43% | <i>Porina leptalea</i> | 46% |
| <i>Porpidia tuberculosa</i> | 41% | <i>Candelariella reflexa</i> | 35% | <i>Cladonia coniocraea</i> | 43% |
| <i>Hypogymnia physodes</i> | 35% | <i>Lepraria finkii</i> | 34% | <i>Hypogymnia physodes</i> | 43% |
| <i>Physcia tenella</i> | 33% | <i>Phlyctis argena</i> | 34% | <i>Physcia tenella</i> | 42% |

- Neben den drei Kompartimenten wurden weitere abgeleitete Datensätze erzeugt (aggregierte Epiphytenaufnahmen, Gesamtartenlisten zu den NP auf Grundlage der Gesamtartenlisten pro Probekreis), die weitere Auswertungsmöglichkeiten eröffneten, aber auch zu Mehraufwand führten.
- Das Team, die Koordination, die Redaktion und die fachliche Bearbeitung wurden stetig größer. So sind immer weitere interessante Fragestellungen aufgeworfen worden, die zu den ursprünglichen und zentralen Überlegungen und Zielen dieses Monitoringkonzeptes hinzutraten. Auch das Auswertungskonzept wurde mehrfach optimiert, aber dadurch auch komplexer.
- Bei der Überarbeitung der Aufnahmeanleitung im Jahr 2023 wurde ein viertes Kompartiment, und zwar „Totholz“ eingeführt. Diese sinnvolle Ergänzung wird aber auch zu Mehraufwand führen.



Tab. 3: Gemeinschaftskoeffizient nach Sørensen für die Gesamtartenlisten der Nationalparke. Matrix der Gemeinschaftskoeffizienten: rot: Moose, grün: Flechten

| | Eifel | Kellerwald | Hainich |
|------------|-------|------------|---------|
| Eifel | 100 | 66 | 60 |
| Kellerwald | 58 | 100 | 60 |
| Hainich | 53 | 52 | 100 |

Abb. 4: NMDS der aggregierten Epiphytenaufnahme aus Buchenwäldern (stress-Wert 0,19) mit Darstellung der Zugehörigkeit der Aufnahmen zu den drei Nationalparken. Dargestellt sind a) die einzelnen Aufnahmen, angefarbt nach Zugehörigkeit zu den Nationalparken, b) die 30 % abundantesten Arten mit 30 % bester Korrelation mit den Achsen, c) die signifikant mit dem Ordinationsraum korrelierenden Kopfdaten und d) die signifikant mit dem Ordinationsraum korrelierenden Standortvariablen (schwarz), Bestandsdaten (rot) und mittleren Ellenberg-Zeigerwerte (EZW, blau) aus den PSI-Daten. (Grafik: BÜLTMANN et al. 2022)

Kontakt

Dr. Gunnar Waesch
 Schulstr. 7
 33330 Gütersloh
 GWaesch@freenet.de

Literatur

BÜLTMANN, H.; TEUBER, D.; WAESCH, G.; ECKSTEIN, J.; DREHWALD, U.; PREUSSING, M. (2019): Monitoring der Flechten und Moose in den Nationalparken Kellerwald-Edersee, Hainich und Eifel – Explorative Datenanalyse zur Bestandsentwicklung von Moos- und Flechtenarten in den verschiedenen Waldentwicklungsphasen der in den Untersuchungsgebieten großflächig vorkommenden Waldbiotoptypen. Unveröff. Gutachten im Auftrag des Nationalpark Kellerwald-Edersee. 181 S.

BÜLTMANN, H.; TEUBER, D.; WAESCH, G.; ECKSTEIN, J.; DREHWALD, U.; SCHMIEDEL, I.; PREUSSING, M. (2022): Monitoring der Flechten und Moose in den Nationalparken Kellerwald-Edersee, Hainich und Eifel – Explorative Datenanalyse zur Bestandsentwicklung von Moos- und Flechtenarten in den verschiedenen Waldentwicklungsphasen der in den Untersuchungsgebieten großflächig vorkommenden Waldbiotoptypen. Unveröff. Gutachten im Auftrag des Nationalpark Kellerwald-Edersee. 359 S.

DREHWALD, U.; ECKSTEIN, J.; PREUSSING, M.; TEUBER, D.; WAESCH, G.; HENKEL, A.; SCHOCK, B.; PARDEY, A. (2015): Aufnahmeanleitung für ein Monitoring von Moosen und Flechten in Wald-Nationalparken und vergleichbaren Schutzgebieten.

EUROPARC DEUTSCHLAND (2010): Richtlinien für die Anwendung der IUCN-Managementkategorien für Schutzgebiete. 87 S. http://www.europarc-deutschland.de/wp-content/uploads/2012/10/10-06-18_IUCN_final.pdf, aufgerufen am 23.6.2023

FREDE, A. (2010): Forschung und Monitoring im Nationalpark Kellerwald-Edersee. AFZ-Der Wald 17: 4-6.

FREDE, A. (2018): Naturwaldforschung und Monitoring im Nationalpark Kellerwald-Edersee – ein Überblick über den Stand seit Gründung des Schutzgebiets. Jahrb. Natursch. Hessen 17: 117-122.

SING, M. (2022): Monitoring der Flechten und Moose in den Nationalparken Kellerwald-Edersee, Hainich und Eifel – Explorative Datenanalyse zur Bestandsentwicklung von Moos- und Flechtenarten in den verschiedenen Waldentwicklungsphasen der in den Untersuchungsgebieten großflächig vorkommenden Waldbiotoptypen. Unveröff. Gutachten im Auftrag des Nationalpark Kellerwald-Edersee. 359 S.

HESSEN-FORST (2012): Monitoring - Forschung im Nationalpark - Nationalparkamt Kellerwald-Edersee.

NATIONALPARKAMT KELLERWALD-EDERSEE (2021): Nationalparkplan 2021-2030 für den Nationalpark Kellerwald-Edersee. Bd. I. Bad Wildungen. 163 S.