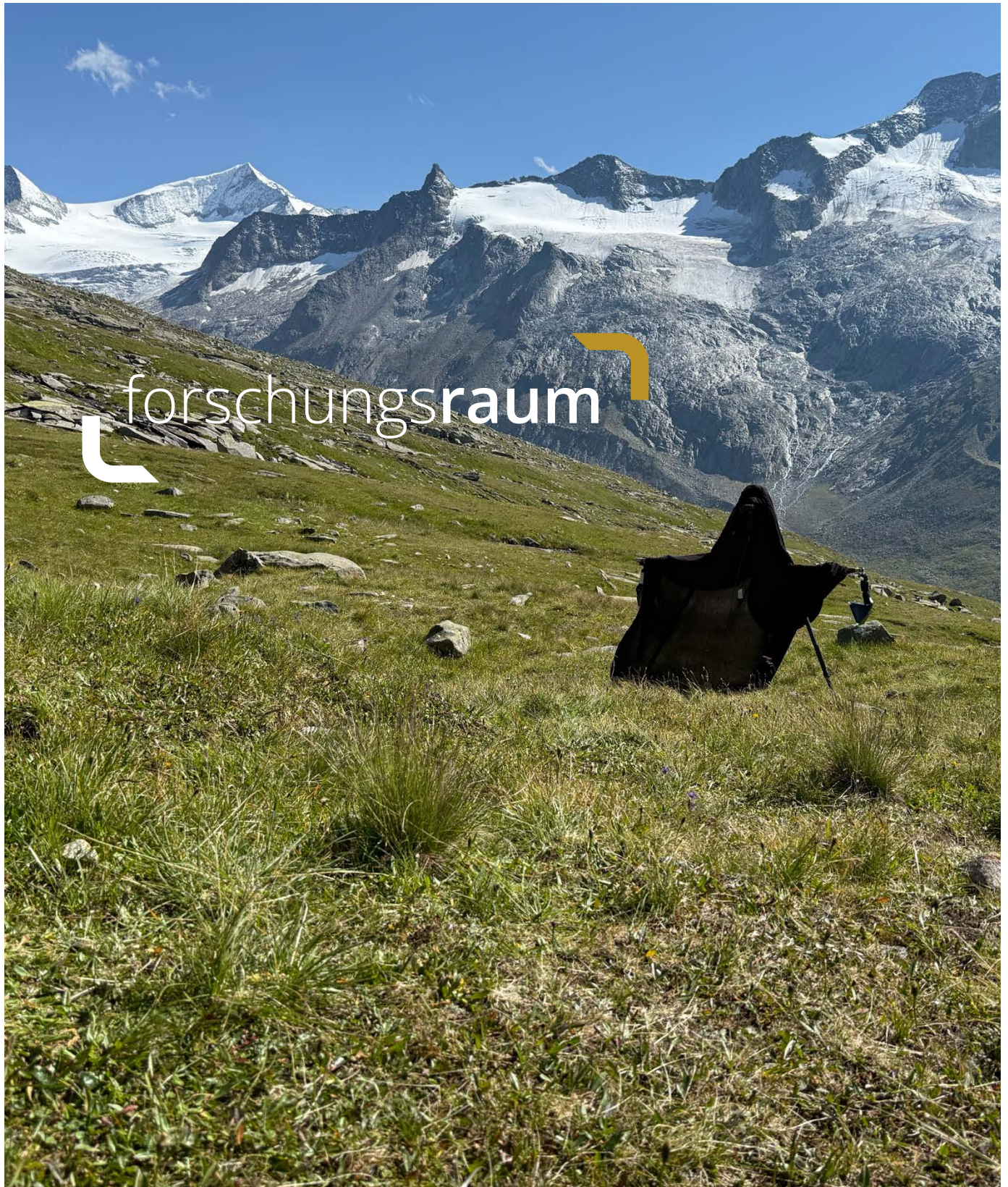




Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen

Modul 02 – Botanisch/Vegetationskundliche Analysen

Zwischenbericht 2025

Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:

Thomas Eberl, Roland Kaiser

Nationalpark Hohe Tauern, Kirchplatz 2, 9971 Matrei i.O.

Projektleitung: Thomas Eberl, Roland Kaiser

Fotos: © Thomas Eberl, Roland Kaiser

Titelbild: Kamera-Stativkonstruktion vor dem Großvenediger am Standort Untersulzbachtal

Zitiervorschlag: Eberl, T & Kaiser, R (2026): Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen, Modul 02 – Botanisch/Vegetationskundliche Analysen – Technischer Zwischenbericht 2025

Feldkirchen bei Mattighofen, 30. April 2026



Forschungsförderung Forschungsprojekt
»Langzeitmonitoring
von Ökosystemprozessen
im Nationalpark Hohe Tauern«
Modul 02

Technischer Zwischenbericht 2025

Thomas Eberl & Roland Kaiser

30. April 2026



Environment Nature Consulting KG
Beratende Ingenieure für Biologie
Altheim 13
5143 Feldkirchen b. Mattighofen



Mit Unterstützung von

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	1
a. Verwendete Ausrüstung	1
b. Ablauf	2
c. Geländearbeit und Nachbereitung der Rohdaten	2
d. Evaluierung der Bild-Referenzpunkte	3
3. Ergebnisse	4
a. Evaluierung der Bild-Referenzpunkte	4
b. Qualitätskontrolle	4
4. Schlussbemerkung	6
Danksagung	7

1. Einleitung

Die Firma Ennacon KG wurde vom Nationalpark Hohe Tauern, vertreten durch den Verein Sekretariat des Nationalparkrates Hohe Tauern, Kirchplatz 2, 9971 Matrei in Osttirol, mit der Forschungsvereinbarung vom 6. März 2025 mit einer Forschungsförderung bedacht.

Mit dem vorliegenden ersten Leistungsbericht der Förderperiode werden die im Jahr 2025 durchgeführten Arbeiten dokumentiert und an den Förderungsgeber übermittelt. Weitere Tätigkeiten des Fördernehmers im Rahmen von Eigenleistungen, insbesondere begleitende Kleinprojekte und Publikationen, werden im Endbericht dargestellt.

2. Material und Methoden

Die methodischen Details der Felderhebungen sind in [Eberl und Kaiser \(2019\)](#) umfassend beschrieben. Den dort angeführten Vorgaben wurde exakt gefolgt. Allfällige kleinere Anpassungen werden nachfolgend aufgeführt.

a. Verwendete Ausrüstung

In diesem Jahr wurde wieder die gleiche Kamera wie in den Jahren 2021 und 2022 verwendet (Nikon® Z 7II mit 45,7 MP, Baujahr Ende 2020, ausgerüstet mit Nikon® Nikkor Z 50mm f/1,8 S). Alle anderen Ausrüstungsgegenstände blieben ebenfalls unverändert (Yongnuo® Speedlite YN560-III mit Yongnuo® YN560-TX Steuerungsgerät). Die Blitzstärke betrug $1/2 \text{ EV} + 1/3$. Es wurden neue Farb- und Graukeile verwendet. Die Kamera-Stativkonstruktion wurde wie 2022 mit einem Gehstock versteift (vgl. Titelbild des Tätigkeitsberichts 2022), ohne dass die Geometrie der Apparatur verändert wurde.

b. Ablauf

Zur Effizienzsteigerung wurde – wie bereits seit dem Jahr 2021 praktiziert – darauf verzichtet, jedem Foto die genaue Bezeichnung einer Bildkachel (z. B. IN1B 1a) beizugeben. Stattdessen wurde nur die Bezeichnung des jeweiligen Transekts (z. B. IN1B) als Aufkleber-Etikett am Grau- oder Farbkeil platziert. Dabei traten keinerlei Schwierigkeiten auf. Dieses Vorgehen wird deshalb auch im Jahr 2026 fortgeführt und künftig nicht mehr gesondert erwähnt. Eine Anpassung des Handbuchs soll jedoch im Rahmen des Endberichts 2027 erfolgen.

Der Photograph Valentin Backhaus (www.studiofjeld.com) konnte krankheitsbedingt nicht an der Unternehmung teilnehmen. Die Rolle des Photographen wurde wie schon in den Vorjahren von Roland Kaiser übernommen.

c. Geländearbeit und Nachbereitung der Rohdaten

Termine. Aufgrund der etwas überdurchschnittlichen Schneedecke und des eher kühlen und niederschlagsreichen Sommers 2025 war die Vegetation der Untersuchungs-Standorte etwas später entwickelt und somit geringfügig anders ausgeprägt als in den Jahren 2017 und 2018 bzw. 2021 und 2022. Infolgedessen wurden die bisher praktizierten Termine um eine Woche nach hinten verlegt (vgl. Tab. 1). Dies war auch dadurch bedingt, dass erst ab der ersten Augustwoche ein stabiles Wetterfenster auftrat. Insgesamt war die Wetterlage im Hochsommer des Jahres 2025 für die Unternehmung als eher ungünstig zu bezeichnen. Sehr gute Wetterbedingungen herrschten erst ab Mitte August. Wie bereits 2022 konnten jedoch alle drei Standorte in einem Zug bearbeitet werden. Dabei mussten keine kritischen Wetterlagen mit vorangegangenen Niederschlägen in Kauf genommen werden; der Wetterlage war am gewählten Termin für die Unternehmung durchwegs sehr geeignet (vgl. Abb. 1 auf der nächsten Seite) Auch phänologisch wurde der Aufnahmezeitpunkt abermals sehr gut getroffen.

Tabelle 1: Vergleich der Untersuchungszeitpunkte der drei Standorte in den Jahren 2017, 2018, 2021, 2022 und 2025 (gegenständlicher Durchgang). Wie bereits in den Jahren 2018, 2021 und 2022 wurde auch im Jahr 2025 am Standort Untersulzbachtal vor Ort biwakiert.

Jahr	Innerschlöß (IN)	Seebachtal (SE)	Untersulzbachtal (UN)
2017	31. Juli	15. August	1. August
2018	1. August	13. August	30. & 31. Juli
2021	11. August	7. August	12. & 13. August
2022	2. August	5. August	3. & 4. August
2025	10. August	11. August	8. & 9. August

Entwicklung digitaler Negative. Bei der Entwicklung der digitalen Negative wurde die Schärfung des Sensorbildes wie zuletzt eingestellt (Parameter »Amount«: 100 %, Parameter »Detail«: 50 %). Die Belichtung wurde um eine halbe Blendenstufe erhöht. Manche Bilder wurden randlich um 0,5 bis 1,0 EV graduell leicht aufgehellt. Der Parameter »Clarity« wurde auf 30 % eingestellt. Insgesamt konnten mit diesen Einstellungen – wie auch 2022 – optimale Ergebnisse erzielt werden.



Abbildung 1: Links oben: Kamera-Stativkonstruktion mit von leichtem Wind aufgeblasenem Schattenvorhang auf der »Parkpostiton« am Standort Innergschloß. Rechts oben bis links unten: Montieren der Probenahmegitters am Transekt IN3 (am Bild von links nach rechts: Norbert Niedermayer, Thomas Eberl und Meinrad Burgschwäiger). Rechts unten: Starke Spannung am Probenahmegitter am Transekt IN3.

d. Auswertung der Bild-Referenzpunkte und der Passgenauigkeit der Aufnahmen über die Jahre

Zur Bewertung der geometrischen Stabilität der Referenzpunkte des photographischen Langzeitmonitorings wurden für insgesamt 1.737 erfolgreich verarbeitete Bilddatensätze verschiedene geometrische Kenngrößen analysiert. Fehlerhafte Datensätze traten nicht auf.

Für jede Aufnahme wurden mehrere Metriken zur Beschreibung der Form, Lage und relativen Flächenausdehnung der Referenzpunkte berechnet. Analysiert wurden insbesondere die Variabilität der Seitenlängen (*side.cv*), das Verhältnis der Diagonalen (*diag.ratio*), die maximale Winkelabweichung von 90° (*angle.max.dev.90*), die relative Fläche (*area.rel*) sowie die relative Abweichung der Mittelpunktlage entlang der x- bzw. y-Achse (*x.center.dev.rel*, *y.center.dev.rel*).

Die statistische Auswertung erfolgte mittels linearer gemischter Modelle (*lmer*, Pakete *lme4* [Bates u. a. 2026, 2015](#) und *lmerTest* [Kuznetsova u. a. 2026, 2017](#)). Dabei wurden die Faktoren Jahr und Standort (*site*) als fixe Effekte modelliert. Die einzelnen Transekte (*plot*) wurden als zufälliger Interzept berücksichtigt, um die wiederholte Beprobung derselben Flächen abzubilden.

Zusätzliche Modelle mit Random Slopes sowie autoregressiven Fehlerstrukturen erster Ordnung (AR(1)) wurden explorativ geprüft, ergaben jedoch keine substanzielle Verbesserung der Modellanpassung. Für die weiteren Analysen wurden daher die einfacheren Modellstrukturen beibehalten.

3. Ergebnisse

Es wurden sämtliche Transekte an den drei Standorten bearbeitet. Fehlende Einzel-Datensätze sind nicht zu verzeichnen.

a. Auswertung der Bild-Referenzpunkte und der Passgenauigkeit der Aufnahmen über die Jahre

Die Analyse der geometrischen Referenzpunkt Kennwerte bestätigt insgesamt eine hohe zeitliche Stabilität der grundlegenden Formparameter. Für die Seitenlängen Variabilität (*side.cv*), das Diagonalverhältnis (*diag.ratio*) sowie die maximale Winkelabweichung von 90° (*angle.max.dev.90*) ergaben die Modelle keine signifikanten zeitlichen Veränderungen. Damit blieb die grundlegende geometrische Form der Referenzpunkt Konfigurationen über die untersuchten Jahre weitgehend konstant.

Für die relative Fläche (*area.rel*) zeigte sich hingegen ein klarer linearer Jahreseffekt. Die relative Flächenausdehnung nahm im Zeitverlauf systematisch zu, was auf eine geringfügige, aber konsistente Veränderung der effektiven Abbildungsgeometrie hindeutet. Dieser Trend betrifft alle Standorte gleichermaßen und ist durch einzelne Aufnahmejahre nicht erklärbar. Mögliche Ursachen reichen von minimalen Veränderungen der Arbeitsdistanz zwischen Kamera und Probenahmegitter bis zu geringen systematischen Anpassungen der Stativposition.

Die deutlichsten zeitlichen Veränderungen wurden bei den relativen Mittelpunktabweichungen in x und y Richtung (*x.center.dev.rel* und *y.center.dev.rel*) beobachtet. Beide Parameter zeigen robuste lineare Trends über die Jahre, wobei sich die x Koordinate überwiegend in negativer Richtung verschiebt, während die y Koordinate ein stabileres, aber ebenfalls systematisches Muster aufweist. Diese Befunde sprechen für eine leichte, wiederkehrende Veränderung der Kamerapositionierung über die Jahre hinweg. Die Interpretation als Folge geringfügiger Variationen im Handling der Kamera Stativkonstruktion ist plausibel; eine rein zufällige Variation erscheint aufgrund der stark signifikanten Trends hingegen weniger wahrscheinlich.

Zusätzlich traten standortabhängige Unterschiede in mehreren Formparametern auf (*diag.ratio*, *angle.max.dev.90*, *x.center.dev.rel*, *y.center.dev.rel*). Diese Unterschiede sind konsistent mit den Geländegegebenheiten; insbesondere am Standort Untersulzbachtal führen Relief, Neigung und heterogene Vegetationsstruktur vermehrt zu geometrischen Abweichungen, die sich in den Kennwerten widerspiegeln.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass die grundlegende geometrische Form der Referenzpunkt Konfigurationen stabil bleibt. Die beobachteten Veränderungen betreffen vor allem die relative Fläche sowie die Lage der Bildmittelpunkte und sind überwiegend auf systematische, aber geringfügige Abweichungen in der Positionierung der Kamera zurückzuführen. Standortabhängige Unterschiede unterstreichen den Einfluss lokaler topographischer Bedingungen. Auch die unvermeidbare Ungenauigkeit beim Wiederanbringen des Probenahmegitters (ca. ± 2 cm) ist als zusätzliche Fehlerquelle zu berücksichtigen.

b. Qualitätskontrolle

Im Folgenden werden einzelne kleinere Mängel systematisch aufgezählt. Die betreffende Dokumentation liegt in englischer Sprache auch den digitalen Produkten bei (vgl. die zugehörige Datei *README.pdf*). Die eruierten Mängel sind marginaler Natur.

Innergslöß (IN) Die Bildserien zu diesem Standort sind als ideal zu bewerten. Bei einzelnen Transekten war die Spannung der Schnüre jedoch bereits maximal ausgereizt (vgl. Abb. 1 auf Seite 3).

— Die erreichte Bildqualität entspricht den hohen Erwartungen. Für fünf von fünf Transekten liegen vollständige und qualitativ hochwertige Daten vor. Die vorhandenen Bilddaten können ohne Einschränkungen für die weitere Auswertung verwendet werden.

Seebachtal (SE) Die Bildserien aus dem Seebachtal sind ebenfalls als ideal zu bezeichnen.

— Die erreichte Bildqualität entspricht den hohen Erwartungen. Für drei von drei Transekten liegen vollständige und qualitativ hochwertige Daten vor. Die vorhandenen Bilddaten können ohne Einschränkungen für die weitere Auswertung verwendet werden.

Untersulzbachtal (UN) Die Bilddokumentation aus dem Untersulzbachtal ist überwiegend als ideal zu bewerten. Aufgrund des steilen und stark reliefierten Geländes werden die Spannung sowie die präzise Neuausrichtung des Probenahmegitters jedoch zunehmend schwieriger. Bei einzelnen Transekten lag die Aufnahmegeometrie bereits nahe an suboptimalen Bedingungen. Insbesondere die Mittelschnur war lokal durch Reliefunterschiede oder Vegetationshorste leicht deformiert bzw. verschoben. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass auch das Wiederanbringen des Probenahmegitters mit zunehmenden Herausforderungen verbunden war.

Fraßspuren von Mäusen konnten auch in diesem Jahr lediglich an einem Transekt (UN1; hier war bereits 2021 ein Bau vorhanden) festgestellt werden. Die im Jahr 2021 beobachteten Schadstellen bei Transekt UN4 scheinen sich mittlerweile vollständig regeneriert zu haben.

— Die Ergebnisse sind insgesamt als sehr gut zu bewerten. Trotz einzelner kleiner geometrischer Abweichungen liegen für sechs von sechs Transekten vollständige und auswertbare Bilddaten vor. Die festgestellten Mängel sind geringfügig und schränken die Verwendbarkeit der Daten nicht wesentlich ein.

-
- UN1B 5a: Der obligatorische Fixierungsstift an der Mittelschnur drückte diese stark gegen die Bodenoberfläche. Aufgrund von Perspektiveneffekten infolge des Stativwinkels im reliefierten Gelände erscheint die Mittelschnur leicht verschoben. Die Geometrie der benachbarten Bilder (UN1B 5b, UN1B 5c, UN1B 5d) ist gut.
 - UN1B 7b: Die Graukarte ist leicht (ca. 5 mm) innerhalb des Bildausschnitts sichtbar.
-

- UN2B 1a: Der obligatorische Fixierungsstift an der Mittelschnur drückte diese etwas zu stark gegen die Bodenoberfläche. Aufgrund von Perspektiveneffekten infolge des Stativwinkels im reliefierten Gelände erscheint die Mittelschnur leicht verschoben. Die Geometrie des benachbarten Bildes UN2B 1b ist ebenfalls beeinträchtigt.
- UN2B 1b: Auch hier drückte der obligatorische Fixierungsstift an der Mittelschnur diese etwas zu stark gegen die Bodenoberfläche. Aufgrund von Perspektiveneffekten infolge des Stativwinkels im reliefierten Gelände erscheint die Mittelschnur leicht verschoben. Die Geometrie des benachbarten Bildes UN2B 1d ist gut, siehe jedoch auch UN2B 1a.
- UN2B 4a: Die Mittelschnur ist nicht vollständig gerade und leicht verschoben, wo sie an einem Grasschopf vorbeiführt.
- UN2B 7a: Die Mittelschnur ist nicht vollständig gerade, da sie über reliefiertes Gelände verläuft und zudem an einem Grasschopf leicht verschoben ist.

- UN2B 7b: Wie beim benachbarten Bild UN2B 7a.
 - UN2B 7c: Die Mittelschnur ist nicht vollständig gerade. Da sie über stark reliefiertes Gelände verläuft, ist sie leicht gebogen.
-

- UN3B 3b: Die Mittelschnur ist nicht vollständig gerade und leicht verschoben, wo sie an einem Vegetationshorst vorbeiführt.
 - UN3B 5a: Der Fixierungsstift ist nicht an der Schnur eingehakt (UN3B 5b und UN3B 5d sind gut).
 - UN3B 5c: Wie UN3B 5a (UN3B 5b und UN3B 5d sind gut).
-

4. Schlussbemerkung

Mit der gegenständlichen Probenahme konnte ein weiterer wichtiger Baustein für die langfristige Zeitreihe gelegt werden (vgl. Abb. 2 auf Seite 8). Damit liegen aktuell kontinuierliche und vollständige Basisdaten aus den Jahren 2017, 2018, 2021, 2022 und 2025 vor. Nach wie vor bestehen keinerlei Datenlücken innerhalb der erhobenen Datensätze.

Insgesamt zeigte sich im Vergleich zum Jahr 2022 eine weitere Zunahme der Bedeckung durch Gräser der zonalen alpinen Rasen. Dies betraf insbesondere jene Bereiche, die bereits zu Beginn von produktiveren Rasengesellschaften eingenommen wurden. Darüber hinaus zeichnete sich ab, dass Arten tieferer Höhenstufen zunehmend an Konkurrenzkraft gewinnen und ihre Bestände weiter ausdehnen.

Insbesondere in den flachgründigen Abschnitten der topographisch tiefer gelegenen Bereiche (Schneetälchen i. e. S. bzw. *lowest biomass production section* im Sinne von Körner u. a. 2022) waren ausgeprägte Trockenheitserscheinungen zu beobachten. Diese äußerten sich unter anderem in deutlichen Vitalitätseinbußen von *Polytrichum sexangulare* sowie bei weiteren hygrophilen Moosarten.

Hinsichtlich der übrigen spezialisierten Arten der Schneeböden müssen jedoch erst detaillierte Auswertungen durchgeführt werden, um belastbare Aussagen treffen zu können. Insgesamt stehen die Beobachtungen des Jahres 2025 jedoch im Einklang mit den eingangs formulierten Hypothesen, wonach produktivere alpine Rasengesellschaften zunehmend an Bedeutung gewinnen, während die am wenigsten produktiven Bereiche (Schneetälchen) zwar weiterhin vorhanden sind, jedoch sukzessive ihre charakteristische Vegetationsausprägung einbüßen.

Die nächste Feldaufnahme ist für das Jahr 2026 anberaumt. Mit Abschluss der Aufnahmen im Jahr 2026 wird erstmals eine Betrachtung der Untersuchungsflächen über einen Zeitraum von zehn Jahren möglich sein (Tab. 2 auf der nächsten Seite). Gerade vor dem Hintergrund der rasch voranschreitenden klimatischen Veränderungen im Hochgebirge kommt der Fortführung dieser langfristig angelegten Untersuchungsreihe eine besondere Bedeutung zu. Die erhobenen Daten stellen einen wertvollen Beitrag zur langfristigen ökologischen Umweltbeobachtung (*Long-Term Ecosystem Research, LTER*) alpiner Ökosysteme dar und bilden eine wesentliche Grundlage für das Verständnis klimabedingter Veränderungen hochalpiner Vegetationssysteme.

Erratum

Am Standort Innergschloß wurden im Jahr 2022 zwei Bilder (IN1 2b und IN1 2d) vertauscht; der Fehler wurde richtiggestellt. Dahingehend aktualisierte Daten werden mit dem Endbericht ausgeliefert. Des Weiteren war in der Abb. 5 (Mosaik aller Bilder aus dem Jahr 2022) am Streifen für IN4 ein falsches Transekt platziert; der Fehler wurde ebenfalls richtiggestellt (vgl. Abb. 3 auf Seite 9).

Tabelle 2: Untersuchungsintervalle. *Jahr*: Erhebungsjahr. *T*: Zeitschritt für 10-Jahresvergleich. *Kampagne*: Projektphase bzw. Förderperiode.

Jahr	T	Kampagne
2017	1	Pilotphase, erstes Jahr
2018	2	Pilotphase, zweites Jahr
2019	3	Pause (bzw. probeweise Durchführung durch NPHT-Mitarbeiter:innen)
2020	4	Pause
2021	5	Erste reguläre Kampagne, erstes Jahr
2022	6	Erste reguläre Kampagne, zweites Jahr
2023	7	Pause
2024	8	Pause
2025	9	Zweite reguläre Kampagne, erstes Jahr
2026	10	Zweite reguläre Kampagne, zweites Jahr (10-Jahres-Vergleich)

Danksagung

Für die Unterstützung bei den Geländearbeiten in jeglicher Form ist dem Nationalpark Hohe Tauern sowie seinen Landesstellen großer Dank auszusprechen. Für die übersichtliche Organisation wird Angelika Riegler gedankt. Für die unkomplizierte Ausstellung von Fahrerlaubnissen danken wir Florian Jurgeit und Stefan Lerch. Für die Mitnahme bei der Regiefahrt sowie die unentgeltliche Beförderung bedanken wir uns bei den »Hochgebirgsbahnen Ankogel« abermals sehr herzlich. Bei der Umsetzung vor Ort waren Meinrad Burgschwaiger und, wie schon 2022, Norbert Niedermayer als geschickte Hilfskräfte beteiligt. Den genannten Personen gilt unser herzlichster Dank!

Literatur

[Bates u. a. 2015] Bates, Douglas ; Mächler, Martin ; Bolker, Ben ; Walker, Steve: Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. In: *Journal of Statistical Software* 67 (2015), Nr. 1, S. 1–48

[Bates u. a. 2026] Bates, Douglas ; Mächler, Martin ; Bolker, Ben ; Walker, Steve: *lme4: Linear Mixed-Effects Models using Eigen and S4*, 2026. – URL <https://CRAN.R-project.org/package=lme4>. – R package version 1.1-37

[Eberl und Kaiser 2019] Eberl, T ; Kaiser, R: *Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 02: Botanisch / Vegetationskundliche Analysen. Methoden-Handbuch*. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 2019

[Körner u. a. 2022] Körner, C ; Berninger, UG ; Daim, A ; Eberl, T ; Fernández Mendoza, F ; Füreder, L ; Grube, M ; Hainzer, E ; Kaiser, R ; Meyer, E ; Newesely, C ; Niedrist, GH ; Petermann, JS ; Seeber, J ; Tappeiner, U ; Wickham, S: Long-term monitoring of high elevation terrestrial and 2 aquatic ecosystems in the Alps – a five-year synthesis. In: *ecomont* 14 (2022), Nr. 2, S. 44–65

[Kuznetsova u. a. 2017] Kuznetsova, Alexandra ; Brockhoff, Per B. ; Christensen, Rune H. B.: lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. In: *Journal of Statistical Software* 82 (2017), Nr. 13, S. 1–26

[Kuznetsova u. a. 2026] Kuznetsova, Alexandra ; Brockhoff, Per B. ; Christensen, Rune H. B.: *lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models*, 2026. – URL <https://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>. – R package version 3.1-3

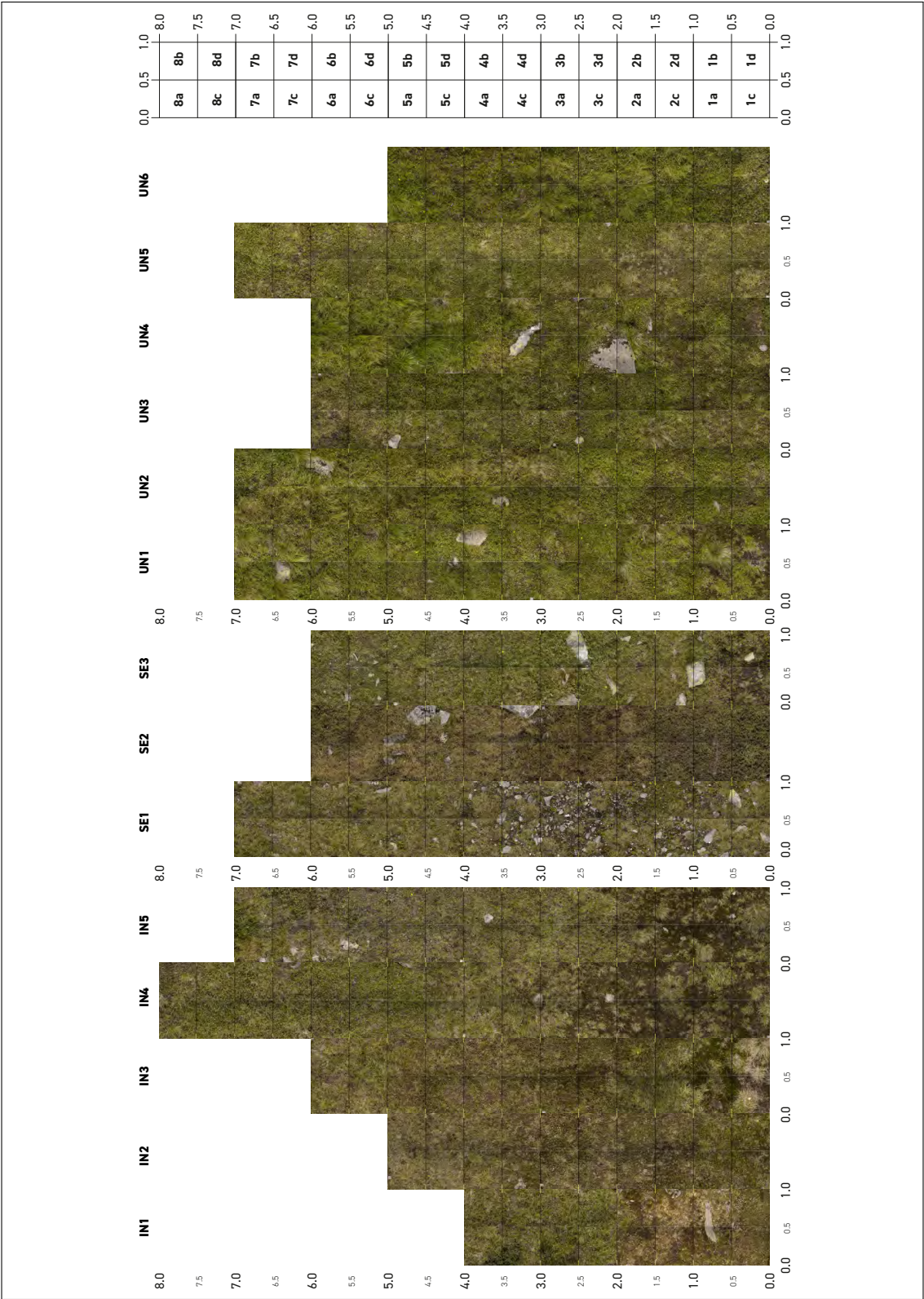


Abbildung 2: Mosaik aller Bilder aus dem Jahr 2025.

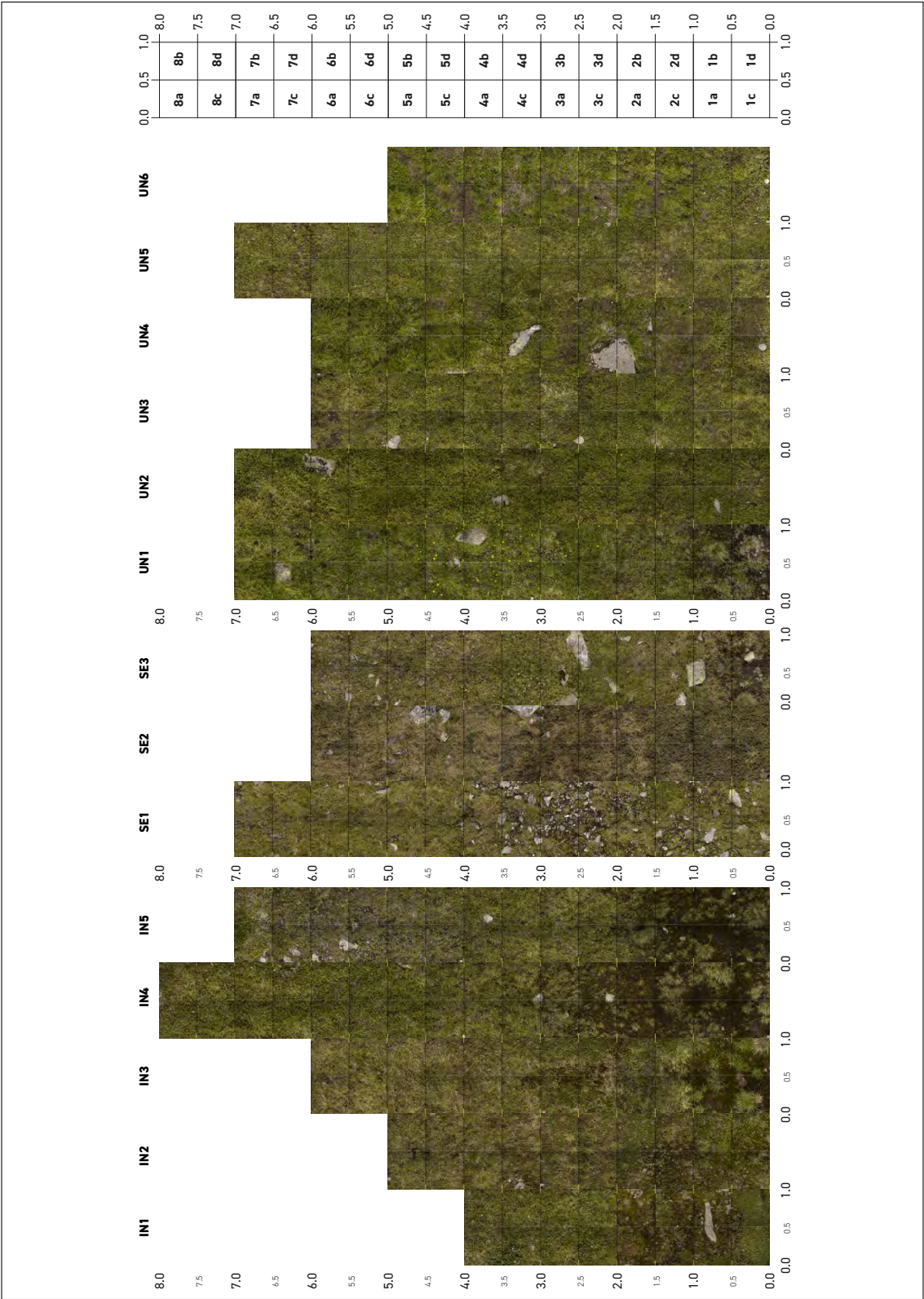


Abbildung 3: Mosaik aller Bilder aus dem Jahr 2022 zum Vergleich zu Abb. 2.



Medieninhaber und Herausgeber, Verleger:

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Matri

Tel.: +43 (0) 4875 / 5112 | E-Mail: nationalparkrat@hohetauern.at

