



Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen - Methoden-Handbuch Modul 02: Botanisch/Vegetationskundliche Analysen

Mit Unterstützung von Bund und Europäischer Union

Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:

Thomas Eberl, Roland Kaiser

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

Projektleitung: Thomas Eberl, Roland Kaiser & Helmut Wittmann

Fotos: © Thomas Eberl, Roland Kaiser

Titelbild: Ansicht des am steilsten geneigten Transekts UN1 am Standort Untersulzbachtal

Zitiervorschlag: Eberl T, Kaiser R (2019) Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 02: Botanisch / Vegetationskundliche Analysen. Methoden-Handbuch. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. ISBN-Online: 978-3-7001-8750-9, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul02

Weblinks: <https://verlag.oeaw.ac.at> und http://www.parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=38611

Feldkirchen bei Mattighofen, 27. Mai 2019

Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und
Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen
Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2016 –
2019

Methodenhandbuch Modul 2 Botanisch/Vegetationskundliche Analysen

Thomas Eberl, & Roland Kaiser

27. Mai 2019



Mit Unterstützung von Bund und Europäischer Union

 Bundesministerium
Nachhaltigkeit und
Tourismus

**LE 14-20**
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Anwendungsbereich / Handlungsfeld	1
3. Zielsetzung	1
4. Vorbereitungsarbeit und benötigtes Material	1
a. Fototechnik- und Stativ-Konstruktion	1
b. Probenahme-Raster	2
c. Erhebungszeitpunkte	2
5. Arbeitsablauf	2
a. Lage der Untersuchungs- und Probestellen	2
b. Vorgehensweise	2
i. Auf- und Zusammenbau der Kamera-Apparatur	3
ii. Auslegen des Probenahme-Rasters	4
iii. Vorbereitung der Kamera-Apparatur vor Erstellung der Bildsequenz	5
iv. Sequenzielle Erstellung der Einzelfotos	6
6. Datenverarbeitung	7
a. Entwicklung der digitalen Negative und Rektifizierung	7
b. Auswertung von Bildkategorien	8
c. Erfassung von Grenzlinien	8
d. Auswertung auf Populationsebene	9
7. Qualitätssicherung	9
a. Feldarbeit	9
b. Datenverarbeitung	10
8. Interpretation der wichtigsten Erhebungsparameter	10
a. Auswertung von Bildkategorien	10
b. Erfassung von Grenzlinien	10
c. Auswertung auf Populationsebene	10
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	11
Literaturverzeichnis	12
Anhang	13
a. Vorlagen Standard-Protokoll	13
b. Vorlagen digitale Datenverarbeitung	13
c. Kartenmaterial	13
d. Fotodokumentation	13



1. Einleitung

Als zentraler Inhalt der gegenständlichen Untersuchung wurden die Feststellung, Verteilung und zeitliche Änderung von Vegetationseinheiten, deren Grenzen und die Korrelation mit biotischen und abiotischen Parametern im Modellsystem Schneeböden festgelegt.

Methodisch können durch die vergleichsweise einfache fotografische Auswertung von wenig komplexen Systemen potentielle Verschiebungen von Grenzlinien und der Artfeinverbreitung reproduzierbar gemessen und gezählt, und nicht wie bei anderen zeitsparenden Monitoringmethoden (Deckungsschätzung) lediglich halb-quantitativ erhoben werden. Da keine Proben zur Bestimmung entnommen werden müssen, ist dabei eine minimale Einflussnahme auf das Untersuchungsobjekt gewahrt. Die Befunde können in Zukunft - in welcher Form auch immer - neu oder anders ausgewertet werden. Darüber hinaus wird ein Erkennen und Quantifizieren von Unschärfen ermöglicht.

Mit dem vorgelegten Monitoringansatz wird eine hohe, mit keiner anderen bisher bekannten Monitoringtechnik für alpine Ökosysteme realisierbare Präzision erreicht. Schon im einfachen Bildvergleich kann einzelnen Pflanzen sprichwörtlich »beim Wachsen zugesehen werden«. Letztlich wird durch die exakte Dokumentation in Programm-Skripten und die Verwendung von Open-Source-Software die Erweiterung der bestehenden Ansätze sowie ihre stringente Fortführung unterstützt bzw. überhaupt erst sinnvoll und effizient möglich gemacht.

2. Anwendungsbereich / Handlungsfeld

Mit dem vorliegenden Handbuch werden alle durchzuführenden Arbeiten entweder in »Schritt-für-Schritt Anweisungen« detailliert erklärt, oder es wird auf Programm-Skripte verwiesen, die ihrerseits lückenlos in Englischer Sprache dokumentiert sind.

3. Zielsetzung

Das Handbuch richtet sich vor allem an den Praktiker im Feld. Ihm sollen alle methodischen Schritte transparent gemacht werden, welche zu einer optimalen Erfüllung notwendig sind. Letztlich definiert das Handbuch auch exakt die aus den Befunden abzuleitenden Statistiken, welche die kondensierten Feststellungen einer jährlichen Kampagne darstellen.

4. Vorbereitungsarbeit und benötigtes Material

a. Fototechnik- und Stativ-Konstruktion

Als Kamera dient eine Vollformatkamera mit 50 mm Normalobjektiv. Als Beleuchtung kommen zwei mit Diffusor ausgerüstete Reportageblitze zum Einsatz. Die Kamera- und Stativ-Konstruktion (vgl. Abb. 1) besteht aus acht wesentlichen Teilen (in Klammern Angabe der Hersteller-Bezeichnung): (A) Dreibein-Stativ (Rollei® Rock Solid Alpha XL Carbon), (B) Stativ-Kugelkopf mit Schnellwechselplatte (1 × Manfrotto® 498 RC2), (C) Kameragehäuse mit 50 mm Objektiv (Nikon D750, Nikon AF-S Nikkor 50 mm 1:1.8 G), (D) Klemme zum Befestigen der Friktionsarme (2 × Manfrotto® 035 Superclamp), (E) Friktionsarme (2



× Manfrotto® Magic Arm 244N), (F) Kameraschiene (2 × Manfrotto® 143 BKT) mit Blitzschuh bzw. Fernauslöser, (G) Beleuchtung (2 × Nikon SB 910) und (H) Diffusor (2 × B.I.G. Blitz-Softbox 33).

Zur späteren Kalibrierung der digitalen Negative werden Stufen-Graukeil und Farbkarte den Fotos beigegeben. Weiters wird ein kleines Papierkärtchen mit der exakten Bezeichnung des zu fotografierenden Rasterfeldes beigelegt. Die Papierkärtchen wurden in Form von Blöcken für jedes Transekt vorbereitet. Für die Beschattung der Fotos ist eine eigens angefertigter Schattenvorhang von essentieller Bedeutung. Diverse Ersatz- und Kleinmaterialien sind unerlässlich, insbesondere Ersatzbatterien und Klein-Werkzeug. Letztlich wird ein Smartphone mit einem besonders hellen und kontrastreichen Display benötigt. Auf diesem Gerät muss eine dem Kameramodell entsprechende Software zur Herstellung einer Drahtlosverbindung installiert sein (je nach Kameramodell, z. B. Nikon®-App). Es wird empfohlen ein weiteres Smartphone als Ersatz mit der nötigen Software auszurüsten.

b. Probenahme-Raster

Es wird ein 8 m langer und auf ± 1 cm maßhaltiger Probenahme-Raster aus Carbonstäben und dehnungsfreier Schnur verwendet. Es handelt sich dabei um den für diesen Zweck hergestellten Prototypen, welcher möglichst lange benutzt und daher sorgsam behandelt werden soll. Jede »Sprosse« des Rasters ist auf beiden Seiten mit einem Beschriftungsgerät (schwarz auf gelb) mit einer Halbmeter-Bezeichnung versehen.

c. Erhebungszeitpunkte

Die Geländearbeiten sind approximativ im Zeitraum zwischen letzter Juli- und erster Augustwoche durchzuführen. Der gewählte Zeitpunkt ist jedenfalls nach phänologischen Kriterien wie der Fruchtreife von *Gnaphalium supinum* und *Salix herbacea* sowie der Vollblüte von *Euphrasia minima* festzulegen.

5. Arbeitsablauf

Aus fototechnischen Gründen ist zu berücksichtigen, dass Morgentau bzw. Nässe die Bilder durch gleißende Reflexionen stört. Daher sollten alle Bilder bei trockenem Boden aufgenommen werden. Um die Arbeiten im Feld so optimal wie möglich zu gestalten, wird eine Durchführen bei stabilem Hochdruckwetter ausdrücklich empfohlen.

a. Lage der Untersuchungs- und Probestellen

Die Untersuchungsflächen sind auf alle drei Bundesländer des Nationalparks Hohe Tauern verteilt. Der Standort Untersulzbachtal befindet sich in Salzburg zwischen 2.360 und 2.385 msm (47.16617 N, 12.33114 E, EPSG:4326), die Untersuchungsfläche Innergschlöß in Osttirol kommt auf rund 2.250 msm zu liegen (12.42653 N, 47.11114 E). Der Standort Seebachtal in Kärnten liegt zwischen 2.285 und 2.300 msm (13.18257 N, 47.03925 E).

b. Vorgehensweise

Das Vorgehen gliedert sich in den (1) Auf- und Zusammenbau der Kamera-Apparatur, (2) das Auslegen des Probenahme-Rasters, (3) die Vorbereitung der Kamera-Apparatur vor Erstellung der Bildsequenz, sowie (4) die Sequenzielle Erstellung der Einzelfotos.



i. Auf- und Zusammenbau der Kamera-Apparatur

Die Abb. 1 stellt den gesamten Aufbau in allen Einzelheiten dar. In der Abb. 2 werden relevante Montage-Hinweise anhand von Detail-Fotos gezeigt. Im Folgenden wird mehrfach auf die Illustration in Abb. 1 verwiesen. Alle notwendigen Handgriffe zum Auf- bzw. Zusammenbau der Ausrüstung werden »Schritt-für-Schritt« erläutert:

1. Vor Ort ist ein möglichst ebener Platz für den Zusammenbau der Ausrüstung zu suchen.
2. Alle Teile der Ausrüstung werden aus den Transportbehältnissen genommen.
3. Das Kameragehäuse mit Schnellwechselplatte wird mit dem Objektiv verbunden. Auf dem Objektiv sollte sich zu diesem Zeitpunkt noch ein Schutzfilter (Skylight-Filter oder Ähnliches) befinden, der mittig mit einem kleinen Klebeetikett versehen ist. Selbstredend sollte auch der Objektivdeckel angebracht sein.
4. An der Kamera werden alle notwendigen Einstellungen kontrolliert und falls notwendig verändert. Die Kameraeinstellungen sind wie folgt zu wählen: Verschlusszeit M 1:125, Blende F 11, Sensor-Empfindlichkeit ISO 100, Weißabgleich »white balance flash«, Focus manuell 1,5 m und Bildformat RAW. Falls am Gerät verfügbar, sollte eine automatische Bildrotation deaktiviert werden. Die Batterie der Kamera sollte vollständig geladen sein.
5. Die Beleuchtung (G) wird mit den Diffusoren (H) verbunden und gegen Verrutschen mit Gewebeband (z. B. Tesa extra Power Perfect) gesichert und für die spätere Montage beiseite gelegt. Beide Blitze werden mit voller Leistung (1/1) betrieben. Die Akkusätze der Blitze sollten vollständig geladen sein.
6. Das Stativ (A) wird ausgezogen und die Beine auf Standardposition gespreizt. Die obersten drei Stufen des Stativs sind auf vollen Auszug, die unterste (vierte) Stufe auf Position 6 exakt einzustellen.
7. Die im Stativ integrierte Montageplatte ist mittels eingebauter Wasserwaage auf Lot zu bringen.
8. Der Stativ-Kugelkopf mit Schnellwechselplatte (B) wird mit dem Stativ so verschraubt, dass ein Verdrehen ausgeschlossen ist.
9. Die Friktionsarme (E) mit Klemmen (D) und Kameraschienen (F) werden zusammengesetzt und alle Verschraubungen auf guten Sitz kontrolliert.
10. Die Klemmen der Friktionsarme (D) werden am Stativ (A) befestigt. Um ein Verrutschen zu unterbinden, wird zwischen Klemme und Stativbein je ein dünnes Gummistück (Fahrradschlauch) beigelegt.
11. Die Beleuchtung (G) mit Diffusor (H) wird an den Kameraschienen (F) befestigt.
12. Die Kamera wird mit der Schnellwechselplatte am Stativ-Kugelkopf eingerastet und ausgerichtet. Auf korrektes Einrasten der Schnellwechselplatte ist zu achten.
13. Die Blitzsteuerung wird mit der Kamera verbunden und getestet. Dazu müssen sowohl die Beleuchtung als auch das Steuerungsgerät eingeschaltet werden.





14. Alle Winkel und Höhen werden durch Verstellen der Friktionsarme gemäß Abb. 1 eingestellt.
15. Der Schattiervorhang wird vorsichtig und faltenfrei über die gesamte Apparatur gezogen.
16. Der Objektivdeckel wird abgenommen und der Schutzfilter vom Objektiv geschraubt. Hinweis: wann immer die Kamera nicht benutzt wird, sollte der Objektivdeckel aufgesetzt werden. Dies trotz der Tatsache, dass das Objektiv nach unten orientiert ist und damit die Frontlinse sehr gut gegen Flugstäube gesichert ist.
17. Vor dem nächsten Schritt sollten alle Gerätschaften eingeschaltet und eine Verbindung zur Kamera per Sofortvorschau am Smartphone hergestellt sein.
18. Nun werden Kalibrierungsaufnahmen bei abgesenktem Schattiervorhang angefertigt. Dazu wird je ein ungebrauchter DIN A3 Graukarton mit darauf platziertem Farb- und Graukeil im Aufnahmebereich der Kamera fotografiert (Abb. 3).
19. Die Apparatur ist nun bereit zur Verwendung. Sämtliche Stromverbraucher werden aber vorerst abgeschaltet und erst wieder zu Beginn der eigentlichen Fotografie in Betrieb genommen.

ii. Auslegen des Probenahme-Rasters

Im Sinne einer exakten Reproduzierbarkeit ist es notwendig, eine auf ± 2 cm maßhaltige, wiederfindbare Position des Probenahme-Rasters an den bestehenden Holz-Markierungen zu finden. Dazu stehen weiters auch zwei Unterflurmarkierungen an den Transektenden bereit (vgl. Abb. 4). Die Abstände des Probenahme-Rasters zu diesen Markierungen sind Tab. 4 zu entnehmen. Die korrekte Lage wird anhand der beschrifteten Dokumentationsfotos aus der Erstbefundung (2017) sowie der analogen Bilder aus der Zweitbefundung (2018) auf Übereinstimmung kontrolliert. Beachte, für das Transekt IN1 muss der Probenahme-Raster zweimal angelegt werden. Das Vorgehen beinhaltet die folgenden Schritte und nimmt ca. 30 Minuten in Anspruch:

1. Entrollen des Probenahme-Rasters und Überprüfung desselben.
2. Zur Positionierung an den Unterflurmarkierungen werden die für jedes Transekt vorbereiteten Maßschnüre an den entsprechenden Stellen des Probenahme-Rasters befestigt und kontrolliert (vgl. Tab. 4).
3. Zwei Personen heben den Probenahme-Raster hoch und tragen ihn leicht gespannt zum Transekt und legen ihn außerhalb dessen ab.
4. In der Mitte der Unterflurmarkierungen befindet sich eine vertikale Vertiefung von ca. 5 mm. In diese wird ein metallener Haltebolzen für die nachfolgende Fixierung der Maßschnüre gesteckt.
5. Der Probenahme-Raster wird nun mittels der Maßschnüre über die Haltebolzen gespannt und somit direkt am Transekt aufgelegt.
6. Die vier freien Schnurenden des Probenahme-Rasters werden nach außen (d. h. in Längsrichtung) mit dünnen Zelt-Heringen auf leichte Spannung gebracht. Beachte, die Schnüre lassen sich am einfachsten mittels Mastwurf-Knoten an den Heringen befestigen.





7. Die Fotos werden konsultiert, um die vormaligen Positionen der Ecken des Probenahme-Rasters an den Holzpflocken sowie weitere Strecken an natürlichen Fixpunkten zu finden.
8. Der Probenahme-Raster wird entsprechend der Fotos exakt auf Lage getrimmt. Dazu kann ein Lockern der mit dünnen Zelt-Heringen befestigten Schnurrenden des Probenahme-Rasters notwendig sein.
9. Fallweise wird nun der teils noch leicht verwindbare Probenahme-Raster mit Metallstift-Heringen zusätzlich an einzelnen Geländestellen fixiert.
10. Alle auf den Dokumentationsfotos abgebildeten Positionen werden abschließend kontrolliert.
11. Falls erforderlich, d. h. bei signifikanten Abweichungen von ± 2 cm oder mehr, werden Dokumentationsfotos mit 10 cm Fotomaßstab angefertigt.
12. Falls durch den Probenahme-Raster Grashalme u.d.g. niedergedrückt werden, müssen diese nun vorsichtig und sehr gewissenhaft unter den Stäben bzw. Schnüren befreit und in deren ursprüngliche Lage gebracht werden.
13. Abschließend wird kontrolliert, ob Schnurmaterial in den Probenahme-Raster ragt und dieses ggf. außerhalb des Fotomotivs abgelegt.

iii. Vorbereitung der Kamera-Apparatur vor Erstellung der Bildsequenz

Mit jedem Foto wird ein quadratisches Feld mit den Abmessungen von 50×50 cm des Probenahme-Rasters (=Motiv) fotografiert. Die Bilder werden streng systematisch in Serie angefertigt, wobei stets am topographisch höchsten Punkt («Kopfende» des Transekt) begonnen wird (Abb. 5). Der Ablauf dauert nur wenige Minuten und gestaltet sich wie folgt:

1. Zwei Personen tragen mit Hilfe der Stativbeine die zuvor abgestimmte Kamera-Apparatur mit hoch geschlagenem Schattenvorhang zu einem anvisierten Transekt und setzen den Apparat außerhalb davon an einer möglichst ebenen Stelle ab. Beachte, sollten sich die Friktionsarme während des Transports verstellt haben, werden diese nun nachjustiert. Gleiches gilt für die Position der Kamera am Stativ-Kugelkopf sowie die korrekte Einstellung des Kamera-Focus von 1,5 m.
2. Das Startfeld, die erste zu fotografierende Rasterzelle (wahlweise 8a oder 8b), wird im Team kommuniziert.
3. Eine abgestellte Person, welche im Weiteren die Farb- und Graukeile sowie den Nummernblock beilegt, überprüft sorgfältig, ob alle Utensilien parat sind.
4. Alle Gerätschaften werden nun eingeschaltet und eine Drahtlos-Verbindung zwischen Kamera und Smartphone hergestellt.
5. Der Schattenvorhang bleibt noch über die Friktionsarme geschlagen.
6. Die Kamera-Apparatur ist nun bereit, um an der Startposition eingesetzt zu werden.





iv. Sequenzielle Erstellung der Einzelfotos

Für jede 50 × 50 cm große Rasterzelle (Motiv) muss der Kameraaufbau inklusive Schattiervorhang bewegt werden. Beginnend bei 8a ist die Sequenz wie folgt: 8a > 8c > 7a > 7c > 6a ... (vgl. Abb. 5). Für das weitere Prozedere werden nun drei Personen benötigt. Diese bilden ein eng abgestimmtes Team, welches ständig kommuniziert. Jedes Mitglied erhält dabei eine spezifische Rolle: (1) Eine Person bedient Kamera, überwacht im Überblick ständig die Technik und gibt die Freigabe für das nächste Foto. (2) Ein Mensch legt Farb- und Graukeil sowie einen Zettelblock mit eindeutigen Probennummern. (3) Ein Kopf bzw. eine Person hält sich großteils unter dem Schattiervorhang auf und überwacht zum Zeitpunkt des Auslösens der Kamera die Beleuchtung. Lediglich die Person 1 steht direkt innerhalb des Probenahme-Rasters, bevorzugt auf größeren Steinen. Die Personen 2 und 3 halten sich beide tunlichst außerhalb des mit dem Probenahme-Raster abgegrenzten Bereichs auf.

Bei der Durchführung der Erst- und Zweitbefundung traten in der Regel keine Probleme auf. Lediglich am Transekt UN1 am Standort Untersulzbachtal erwies sich die Steilheit des Geländes als erschwerender Faktor. Um ein Kippen des Kamera-Stativs zu verhindern, musste dieses permanent von einer Person fixiert werden. Die Arbeiten sind durch Ausführung der richtigen Handgriffe problemlos zu bewerkstelligen. Um die Unversehrtheit der Vegetation am Transekt zu wahren, ist ausnahmslos barfuß vorzugehen. Die Choreographie umfasst die folgenden wiederkehrenden Schritte, welche in Summe bis zu zwei Minuten in Anspruch nehmen:

1. Der gesamte Aufbau wird auf ± 5 cm an einer günstigen Position des Probenahme-Rasters positioniert (vgl. 5 cm Maßstabkasten in Abb. 1 sowie auch Abb. 5).
2. Farb- und Graukeil werden gut sichtbar, aber jedenfalls außerhalb des Motivs und niemals innerhalb einer Rasterzelle des Probenahme-Rasters, abgelegt.
3. Mit Hilfe des Nummernblocks wird die eindeutige Fotonummer neben Farb- und Graukeil gelegt. Die dafür abgestellte Person kontrolliert die Richtigkeit und Position von Nummernblock, Farb- und Graukeil; es dürfen keine Teile ins Motiv ragen (vgl. Abb. 2 H).
4. Der Vorhang wird nun vorsichtig über die Blitz-Arme gelegt, sodass das Motiv komplett abgeschattet ist und der Stoff – nach außen ausgebreitet – durchgängig am Boden liegt.
5. Eine Person prüft nun unterhalb des Vorhangs, ob der Strahlengang der Beleuchtung in irgendeiner Weise durch Stoff behindert ist. Ebenso wird überprüft, ob unerwünschte harte Umgebungslichter im Motiv vorhanden sind; fallweise wird dann am Schattiervorhang nachgebessert.
6. Die Person, welche die Sofortvorschau am Smartphone bedient, überprüft die vollständige Abdeckung der Szene, und ob der Schattiervorhang an irgendeiner Stelle ins Motiv ragt. Falls sich das Motiv nicht vollständig im Aufnahmebereich der Kamera befindet, wird die Apparatur leicht angehoben und neu positioniert; oft reicht es aus, den hangabwärts gerichteten Fuß leicht zu bewegen. Die Person an der Sofortvorschau gibt die dazu notwendigen Anweisungen.
7. Vor dem Auslösevorgang der Kamera halten zwei oder alle drei Personen den flexiblen Vorhangstoff gegen Wind arretiert.
8. Die Person an der Sofortvorschau löst die Kamera aus.



9. Die Person unter dem Vorhang bestätigt das korrekte Auslösen der Blitze. Falls die Beleuchtung nicht ordnungsgemäß war, wird der letzte Schritt wiederholt.
10. Die Person an der Sofortvorschau validiert zuletzt das drahtlos übertragene, gerade aufgenommene Bild der Kamera. Letztendlich ist nun ein Datensatz erzeugt worden. Nunmehr kann die Freigabe zum Bewegen der Kamera-Apparatur zum nächsten Rasterfeld geben werden.

6. Datenverarbeitung

a. Entwicklung der digitalen Negative und Rektifizierung

Die »RAW-Verarbeitung« ist gemäß dem Stand der Technik durchzuführen (z. B. Adobe Photoshop®, Adobe Lightroom®). Selbstredend sollte ein qualitativ hochwertiger, den Anforderungen entsprechender Bildschirm vorhanden sein. Die Dateien müssen in ein strenges Ordnersystem eingepflegt werden. Die Hierarchie ist wie folgt: »Jahr« (z. B. 2017) > »Standort« (z. B. in) > »RAW-Dateien« (raw) > »Transekt« (z. B. in1). Im Ordner mit den »RAW-Dateien« ist ein exklusiver Ordner zum Ablegen der Kalibrierungsaufnahmen vorhanden (z. B. in calibrate). Das Vorgehen umfasst die folgenden basalen Schritte:

1. Die von der Kamera erstellten Dateien (»RAW«-Format) werden anhand der auf den Fotos ersichtlichen eindeutigen Nummern benannt und im Dateisystem systematisch abgelegt. Für jedes Transekt ist dazu ein eigenständiger Ordner vorgesehen.
2. Falls nötig, werden die Bilder nun rotiert, sodass die Halbmeter-Beschriftung am Probenahme-Raster aufrecht lesbar ist.
3. Der Weißabgleich jeder Foto-Serie (eine pro Standort) wird anhand der Kalibrierungsfotos (Mittelgrau des Farb- bzw. Graukeils) gemessen (Parameter »Temperature« und »Tint«).
4. Die Option Kissen-Entzerrung durch Linsenkorrektur wird angewählt. Der Objektivtyp muss dazu unterstützt sein. Die Magnitude der Entzerrung wird auf Standardeinstellungen belassen (»Distortion« und »Vignetting« auf Wert 100).
5. Zur Schärfung des Sensorbildes sind die Parameter »Amount« und »Detail« auf die Werte 100 bzw. 50 einzustellen.
6. Die digitalen Negative werden letztlich als TIF (LZW-Kompression) entwickelt und im entsprechenden Verzeichnisbaum gespeichert.

Für die Rektifizierung der vorverarbeiteten Bilder (siehe oben) werden »Boden-Kontrollpunkte« herangezogen. Dazu werden vier Pixel-Koordinaten bei 100 % Bildvergrößerung ermittelt – und zwar jeweils an den vier Eckpunkten der Rasterzelle. Die Nummerierung und Sequenz der Kontrollpunkte beginnt in der linken unteren Ecke und wird gegen den Uhrzeigersinn fortgeführt (vgl. Abb. 2 H). Die Pixel-Koordinaten jedes einzelnen Bildes werden in Form einer CSV-Datei auf gleicher Ordner-Hierarchie gespeichert. Die CSV-Datei unterscheidet sich von der zugehörigen Bilddatei lediglich durch die Dateiendung (».csv«). Die CSV-Datei (z. B. »IN1B 1a.csv«) liegt schließlich gemeinsam mit dem Originalbild (z. B. »IN1B 1a.tif«) im gleichen Ordner vor. Alle Arbeitsschritte zum Erzeugen der rektifizierten Bilder sind in Programm-Skripten festgelegt (*Bash-Unix shell*). Zum Digitalisieren der Kontrollpunkte bietet das Programm ImageJ (Rueden et al. 2017) passende Funktionalität.



b. Auswertung von Bildkategorien

Eine Liste der definierten Bildkategorien ist in Tab. 1 dargestellt. Die Auswertungen sind anhand einer Auswahlstichprobe zu tätigen (aktuell 416 Teil-Rasterzellen). Dazu werden ausgeschnittene Bilder (Originalgröße 10 × 10 cm) bei zweifacher Vergrößerung (200 %) auf einem qualitativ hochwertigem Bildschirm angezeigt. Vorkommen einer Kategorie in einem Bild werden dann binär (0/1) in einer Gesamt-Datenmatrix protokolliert. Als Variablen (Spaltenbezeichnungen) dienen die dreistelligen Buchstaben-Codes der Bildkategorien entsprechend Tab. 1.

Die gewonnenen Rohdaten werden abschließend gemäß der Analyse-Programmskripte weiter verarbeitet. Aus den tabulierten Häufigkeiten der erfassten Arten (Bildkategorien) können deskriptiv die Unterschiede zwischen zwei Zeitzuständen für jedes Transekt errechnet werden. Dadurch werden Zu- bzw. Abnahmen auf Art-Basis quantifiziert. Statistische Tests sind in zweifacher Hinsicht möglich. Erstens liefert eine einfache Pearson-Korrelationsanalyse der zwei Daten-Matrizen (416 Beobachtungen und 39 Variablen) die Signifikanz der Korrelationen der beiden Datensätze. Dazu werden zuvor alle Vorkommen jeder Bildkategorie für ein gegebenes Transekt summiert (Poolbildung pro Transekt). Die Analyse liefert den Wert der Pearson Korrelation und dessen Signifikanz. Zweitens können auf multivariater Ebene Unterschiede der Gemeinschaftsstruktur getestet werden. Dabei kommt die Mantel-Statistik auf Basis der Jaccard-Distanz zum Einsatz (vgl. Legendre & Legendre, 2012). Die Transekte werden hierbei in Form von Permutations-Strata berücksichtigt. Die Analyse liefert den Wert der Mantel Statistik und dessen Signifikanz.

c. Erfassung von Grenzlinien

Eine Aktualisierung bzw. Überarbeitung der Grenzlinien-Ziehung im Zuge künftiger Wiederholungsdurchgänge sollte von einem versierten Vegetationsökologen mit Kenntnis über die Vegetation der Untersuchungsflächen vorgenommen werden. Die dazu definierten und auszuwertenden (Vegetations-)Strukturen sind in Tab. 2 sowie in Abb. 6 dargestellt.

Als Ausgangspunkt für die Aktualisierung sind die in der vorgehenden Beprobung angefertigten Grenzlinien heranzuziehen. Das heißt, das vorherige Ergebnis wird dupliziert und basierend auf einem neuen Bildmosaik so lange angepasst, bis alle Grenzlinien dem neuen Zustand entsprechen. Der Digitalisierung am Bildschirm liegt ein auf ein 2 cm Gitter (kurz Zelle) genormter Objektfang (»snapping«) zugrunde. Die topologische Toleranz ist stringent auf 3 Karteneinheiten (Millimeter) zu setzen. Grenzlinien von Vegetationsbeständen sowie Strukturen innerhalb dieser (Nr. 1 bis 7 in Tab. 2) sind restriktiv auf die Verwendung der Stützpunkte (Eckpunkt, Vertex) des Gitters beschränkt. Für den häufigen Fall der Trennung von Gräsern und kleinen Kräutern bzw. Kryptogamenvereinen (z. B. Grenzlinie zwischen Krummseggenrasen und Schneeböden) ist ein Anteil von zumindest 20 % an grünen Grashalmen in der Zelle als Kriterium definiert. Beachte, da auch die Diagonalen einer Zelle topologisch zulässig sind (diagonale Querteilung), ist eine Geometrie nicht rein auf eine streng rasterartige (kachelartige) Linienführung beschränkt. Bildinhalte deren Grenzen ganz objektiv am Bild gesehen werden können – das sind Steine und Holzpflocke – werden mit höherem Detailgrad digitalisiert. Dazu können auch die Kanten des 2 cm Gitters zum Objektfang benutzt werden (»edge snapping«). Zusätzlich sind maximal zwei weitere Stützpunkte ohne Objektfang innerhalb einer einzelnen Zelle nur für diese Strukturen zulässig. Mit diesen Grundregeln kann ein Stein also (1) mit Gitter-Stützpunkten, (2) mit zusätzlichem Objektfang auf die Gitterkanten, und – wenn nötig – (3) mit maximal zwei frei gewählten Stützpunkten innerhalb einer Zelle umrissen werden.





Die Digitalisierungsarbeiten werden in einem GIS-System durchgeführt (QGIS, QGIS Development Team, 2018), wobei für jedes Transekt und Jahr eine eigenständige Datenebene als ESRI® Shapefile gegeben ist. Die finalen Polygontopologien werden mit GRASS-GIS (Neteler & Mitasova, 2008) erstellt, womit höchste Zuverlässigkeit und Genauigkeit gewährleistet ist. Abgesehen von rein verbal zu beschreibender, allfälliger Änderung der Vegetationsmuster, sind alle weiteren Verarbeitungsabläufe als Programm-Skript dokumentiert (*R*). Das essentielle Ergebnis stellt die Flächenstatistik der definierten Vegetationsstrukturen als einfache Kreuztabelle dar. Daraus können Vergleiche zwischen zwei beliebigen Zeitständen bzw. zwischen dem Ausgangszustand (2017) und einem Vergleichszustand (Resultate eines jeweiligen Jahres) angestellt werden.

d. Auswertung auf Populationsebene

Für die Auswertung ist eine Liste an gut bis sehr gut erkenntlichen Arten mit unterschiedlichen Lebensraumansprüchen und Lebensformen zu berücksichtigen (Tab. 3).

Die Auswertung dazu geschieht am Bildschirm. Pro 10 cm Teil-Rasterzelle wird die genaue Lage eines Individuums bzw. einer Spross-Struktur bei etwa 3-facher Vergrößerung durch einen Punkt digitalisiert (vgl. Abb. 7). Für jedes Transekt ist dabei eine eigenständige Datenebene als ESRI® Shapefile vorgesehen, in welcher die Arten mit Code-Ziffern attribuiert werden (vgl. Tab. 3).

Wie bereits bei der Erfassung von Grenzlinien, ist ein GIS-System zur Bearbeitung nötig (QGIS, QGIS Development Team, 2018). Die weitere Datenaufbereitung und Analyse ist als Programm-Skript (*R*) abgefasst. Für jede Art werden pro Transekt die Unterschiede zwischen den zwei verglichenen Jahren mit Hilfe des Wilcoxon Tests (*Wilcoxon signed rank test*) für die zweiseitige (ungerichtete) Alternativhypothese ermittelt. Durch die Spezifizierung von anderen Alternativhypothesen (einseitiger Test) können spezielle Annahmen getestet werden, wie beispielsweise die Ab- oder Zunahme einer Art. Der Test wird immer nur ab einer Einzel-Stichprobengröße größer gleich 4 angewandt.

7. Qualitätssicherung

a. Feldarbeit

Im Abschnitt Arbeitsablauf ist das methodische Vorgehen detailliert beschrieben und in diesem Sinne immanenter Bestandteil der Qualitätssicherung.

Um die Konzentration zu wahren, sollte nach Fertigstellung jedes Transekts eine kurze Pause gemacht werden. Eine schnelle und im Regelfall ausreichende Kontrolle der Bildqualität kann mit Hilfe der drahtlos an das Smartphone übertragenen Bilder geschehen. Dies sollte in jedem Fall nach Beendigung der Fotoserie an einem Transekt geschehen, und zwar bevor der Probenahme-Raster wieder abgebaut wird.

Nach Anfertigung aller Fotos für einen Standort kann die Speicherkarte der Kamera vor Ort mittels Laptop ausgelesen werden. Zum reflexionsfreien Betrachten des Bildschirms bietet es sich an, unter den Schattenvorhang zu schlüpfen. Bei guter Abschirmung gegen Sonnenlicht wird nun die Qualität der gemachten Fotos kontrolliert. Falls Fotos eines Transekts von minderer Qualität (z. B. Schärfe) sind – was bisher nicht geschehen ist – kann das betreffende Transekt wiederholt fotografiert werden. Beachte, am Ende jedes Geländetages wird der Inhalt der Speicherkarte auf ein anderes Medium gesichert.





b. Datenverarbeitung

Da alle Schritte mit geprüften Program-Skripten festgelegt sind, kommt diesem Punkt keine Bedeutung zu.

8. Interpretation der wichtigsten Erhebungsparameter

a. Auswertung von Bildkategorien

Mit diesem Ansatz werden Änderungen der Häufigkeiten der analysierten Bildsignaturen und der Gemeinschaftsstruktur interpretierbar. Beispielsweise würde eine Zunahme von Arten der Krummseggenrasen (Verband *Caricion curvulae*) zum Nachteil der Arten der Schneeböden (Verband *Salicion herbaceae*) eine Transformation in Richtung der alpinen Grasländern indizieren. In diesem Zusammenhang legen verminderte Korrelationskoeffizienten eine Änderung im System nahe. Das Fehlen jedweder signifikanten Korrelation würde eine drastische Verschiebung in der Artenzusammensetzung dokumentieren, sodass zwei verglichene Zeitzustände als entkoppelt zu werten wären. Korrelationskoeffizienten nahe 1 weisen auf nicht gegebene Effekte hin.

b. Erfassung von Grenzlinien

Für diese Teilthematik werden vordergründig die Flächenanteile der Vegetationseinheiten verglichen. Vor dem Hintergrund einer zukünftigen Verminderung der winterlichen Schneedecken (Dauer und Mächtigkeit) ist die Hypothese aufzustellen, dass die Flächen an *Salicetum herbaceae* und *Polytrichetum sexangularis* zugunsten von *Hygrocaricetum curvulae* abnehmen. Weiters ist davon auszugehen, dass die Anteile an Grasflecken (Strukturmerkmale) in diesen Vegetationsformen zunehmen sowie insgesamt eine Ausdehnung der Flächen an *Caricetum curvulae* geschieht. Ferner, kann eine Transformation von Beständen des *Caricetum curvulae* zu *Loiseleurio-Caricetum curvulae* als Reduktion bzw. Verlust einer schützenden Schneedecke interpretiert werden.

c. Auswertung auf Populationsebene

Anhand signifikanter Wilcoxon Tests können jene Arten ermittelt werden, für die Änderungen der Populationszahlen nachweisbar sind. Unter den gegebenen Klimaszenarien ist eine Abnahme der charakteristischen Arten der Schneeböden (*Gnaphalium supinum*, *Salix herbacea* und *Soldanella pusilla*) als Hypothese zu formulieren. Im Gegensatz dazu ist bei den Arten der Krummseggenrasen (*Euphrasia minima*, *Primula glutinosa* und *P. minima*) eine Zunahme der Populationszahlen möglich. Diese Annahmen können durch einen einseitigen Wilcoxon Test modelliert werden. Ergänzend sollte versucht werden, allfällige Änderungen einem spezifischen Wirkfaktor zuzuordnen.





Abbildungsverzeichnis

1. Patentzeichnung Kameraaufbau	14
2. Bildtafel Kameraaufbau	15
3. Kalibrierungsfotos	16
4. Bildtafel Kameraaufbau	17
5. Schema Bewegung des Kameraaufbaus	18
6. Bildbeispiele Interpretationsschlüssel Grenzlinien	19
7. Beispiel Individuen 2017 vs. 2018	20
8. Übersichten	21

Tabellenverzeichnis

1. Auszuwertende Bildkategorien	22
2. Interpretationsschlüssel Grenzlinien	23
3. Arten zur Auswertung auf Populationsebene	24
4. Abstände Unterflurmarkierungen	25





Literaturverzeichnis

- Fischer M.A., Oswald, K. & W. Adler (2008). Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 3. Auflage. Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen.
- Hastie TJ, & R.J. Tibshirani (1990). Generalized Additive Models. Chapman and Hall.
- Legendre, P. & L. Legendre (2012). Numerical ecology. Developments in Environmental Modelling, 24:1-990.
- Neteler, M. & H. Mitasova (2008). Open Source GIS: A GRASS GIS Approach, 3 Auflage. Springer.
- QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System Version 3.2. Open Source Geospatial Foundation
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rueden, C. T., Schindelin, J., Hiner, M.C., Barry E., DeZonia, A.E., Walter, E.T., Eliceiri, A. & K. W. Eliceiri (2017). ImageJ for the next generation of scientific image data. BMC Bioinformatics 18:529



Anhang

a. Vorlagen Standard-Protokoll

Prinzipiell sind keine auszufüllenden Formularblätter u.d.g. erforderlich. Lediglich Vordrucke für den Nummernblock als Beilage zu jedem Foto werden benötigt.

b. Vorlagen digitale Datenverarbeitung

Da alle Analyse-Schritte sowie auch eine Stringenzkontrolle der Rohdaten in Form von Programm-Skripten vorhanden sind, kann auf diese verwiesen werden.

c. Kartenmaterial

Für die gegenständliche Untersuchung ist ein Plan der einzelnen Transekte hilfreich. Für die Anstiegsrouten liegen Navigations-Dateien sowie Pläne beim Nationalpark Hohe Tauern vor. Für weitere Informationen zu den Untersuchungsflächen sei auf den Nationalpark Hohe Tauern mit dessen Landesstellen verwiesen.

d. Fotodokumentation

Eine bildliche Dokumentation der beprobten Transekte ist in Abb. 8 dargestellt. Die angefertigten Dokumentationsfotos zum Auslegen des Probenahme-Rasters (vgl. Abb. 4 A bis F) sind gemeinsam mit den restlichen (Roh-)Daten in systematischer Weise abgelegt. In Summe liegen aus dem Jahr der Erstbefundung 179 relevante Dokumentationsfotos vor (IN: 52, SE: 49, UN: 78). Diese sind hier aus Platzgründen nicht abgebildet.

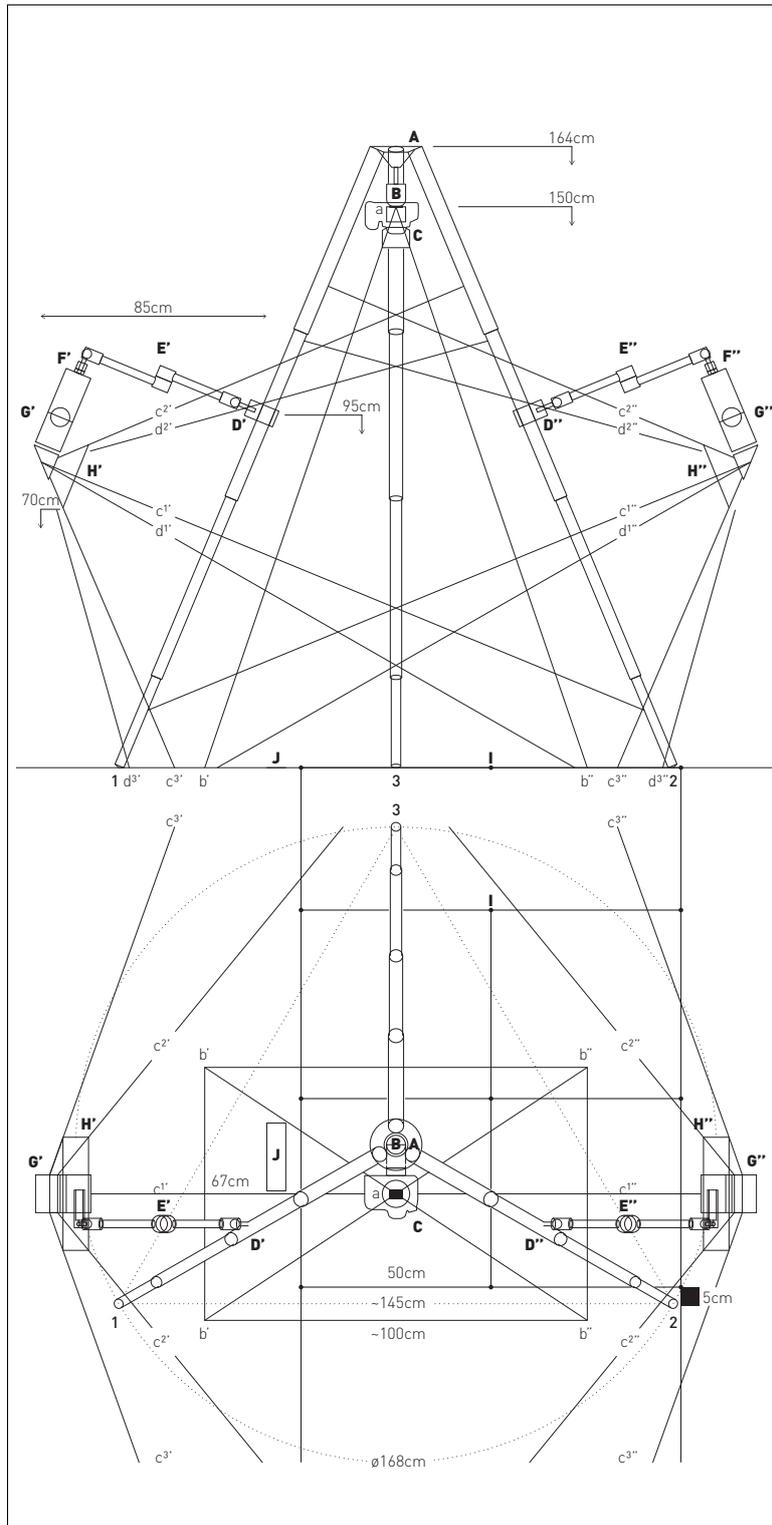


Abbildung 1: Patentzeichnung Kameraaufbau (M 1:20). **A:** Dreibein-Stativ, **B:** Stativ-Kugelkopf mit Schnellwechsellplatte (vgl. Abb. 2 D), **C:** Kameragehäuse mit 50 mm Objektiv, **D:** Klemme zum Befestigen der Friktionsarme (im Grundriss nicht dargestellt), **E:** Friktionsarm (*Blitz-Arm*), **F:** Kameraschiene, **G:** Beleuchtung, **H:** Diffusor, **I:** Probeflächen-Raster (4 komplette Rasterflächen zu $0,5 \times 0,5$ m, nach oben (talwärts) und unten (bergan) verlängert), **J:** Stufen-Graukeil und Farbkarte. *a:* Sensorebene, *b:* Objektgröße, *c:* Strahlengang (¹ Mitte, ² oben, ³ unten) bei Blitz Neigung 23° (Maximum), *d:* Strahlengang Blitz bei Neigung 30° (Minimum). Der Basis-Umkreis des Dreibein-Stativs ist punktiert im Grundriss dargestellt, ebenso das umschreibende gleichseitige Dreieck. 1: linkes und 2: rechtes bergseitiges Bein, 3: Tal-Bein.

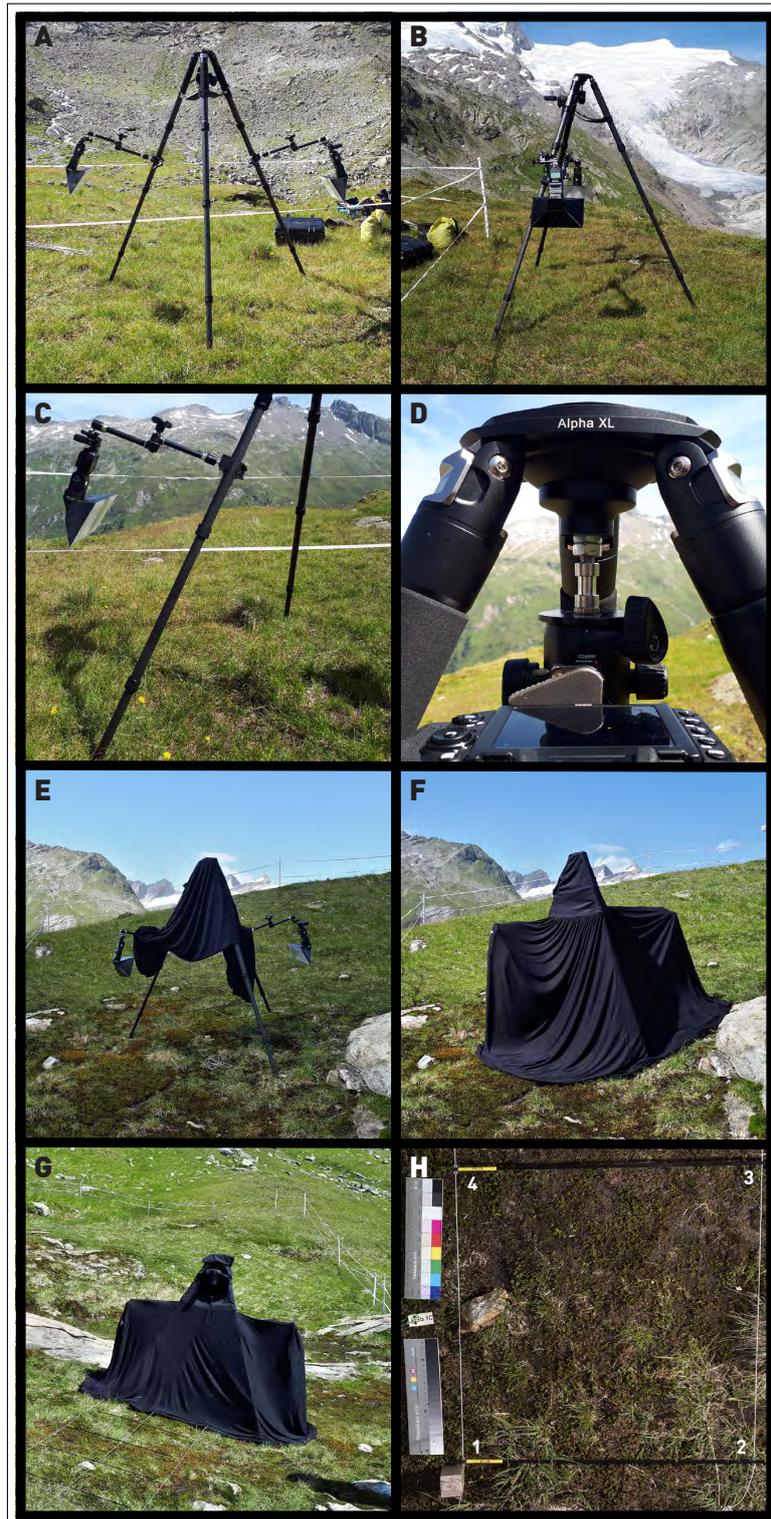


Abbildung 2: Bildtafel Kameraaufbau (zu den Richtungsangaben vgl. Abb.1). **A:** Ansicht von hinten, **B:** Ansicht von rechts, **C:** Blick auf den linksseitig montierten Blitz mit Friktionsarm und Klemme am Stativ, **D:** Stativ-Kugelkopf mit Schnellwechselplatte, **E:** nach oben geschlagener Schattenvorhang auf der Fläche UN5 am Quadrat 1c, **F:** wie E nur Vorhang am Boden, **G:** Blick von vorne auf F, **H:** quadratischer Ausschnitt des unverarbeiteten Originalbilds der Fläche UN5B 1c mit Nummerierung der Referenzierungspunkte 1 bis 4. Bilder A bis G, Stefan Pfeiffer (Salzburg).



Abbildung 3: Anzufertigende Kalibrierungsfotos.



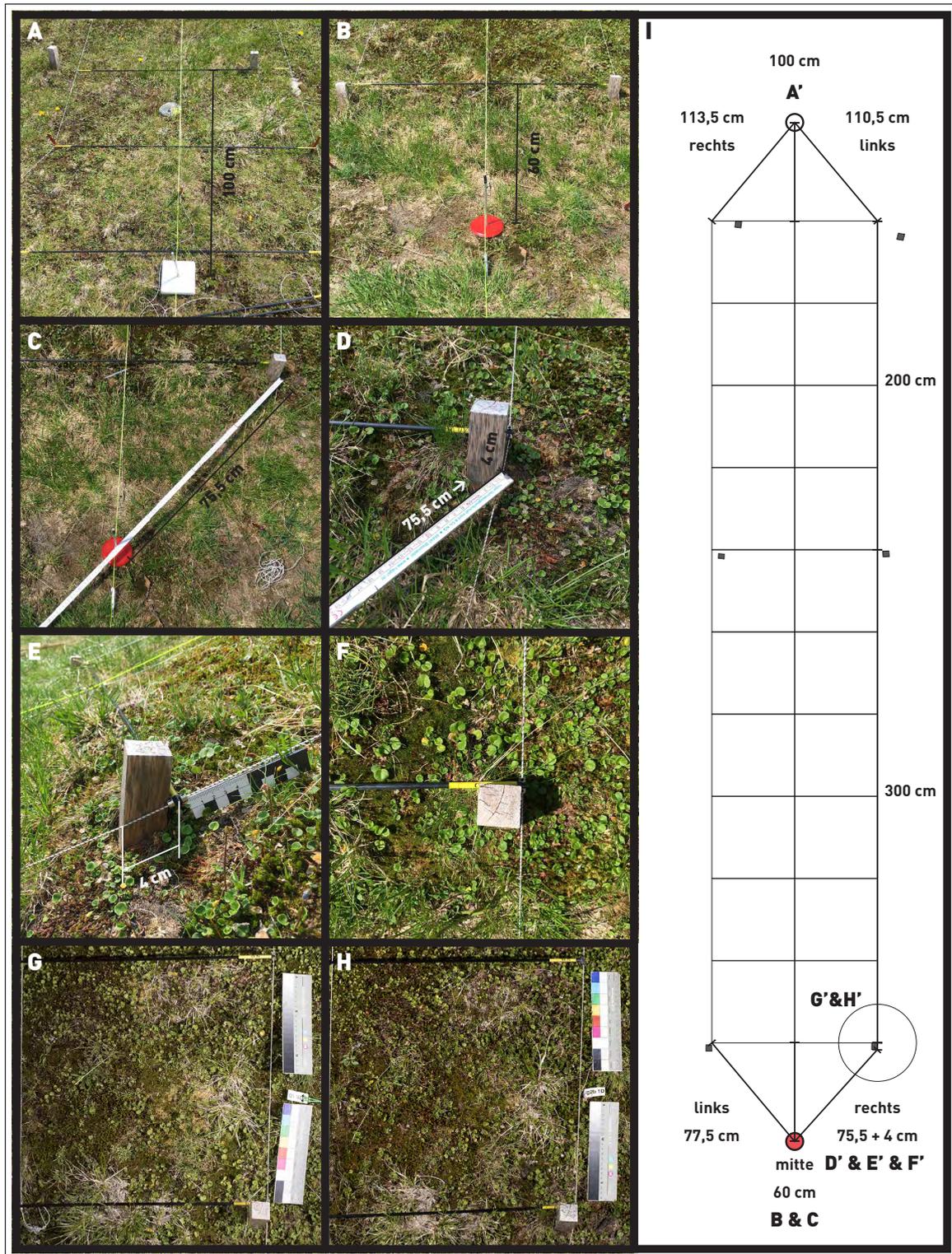


Abbildung 4: Bildtafel zur Dokumentation der gesetzten Unterflurmarkierungen, beispielhaft anhand des Transekts IN2. Alle Bilder stammen – sofern nicht explizit erwähnt – aus dem Jahr 2018. **A:** Setzen der Markierung am »Kopf«-Ende; **B:** Markierung am »Tal«-Ende; **C:** Messen des Schenkels nach rechts im Falle eines direkt anliegenden Pflöckes (vgl. Tab. 4 für IN2 sowie großer Kreis in Bild I); **D:** Anlegen eines Meterstabes zur Ermittlung der Schenkellängen (im Bild Schenkel rechts am »Tal«-Ende, vgl. Bild B Pflöck rechts); **E:** Teilmessstrecke am Pflöck von 4 cm; **F:** Aufsicht auf den Pflöck in Bild E aus dem Jahr 2017; **G:** quadratischer Ausschnitt des unverarbeiteten Originalbilds der Fläche IN2B 1d aus dem Jahr 2017; **H:** wie Bild G nur aus dem Jahr 2018; **I:** Lageplan Transekt IN2 mit Pflöcken (grau), Unterflurmarkierungen (rote und weiße Kreise) und Messstrecken laut Tab. 4.

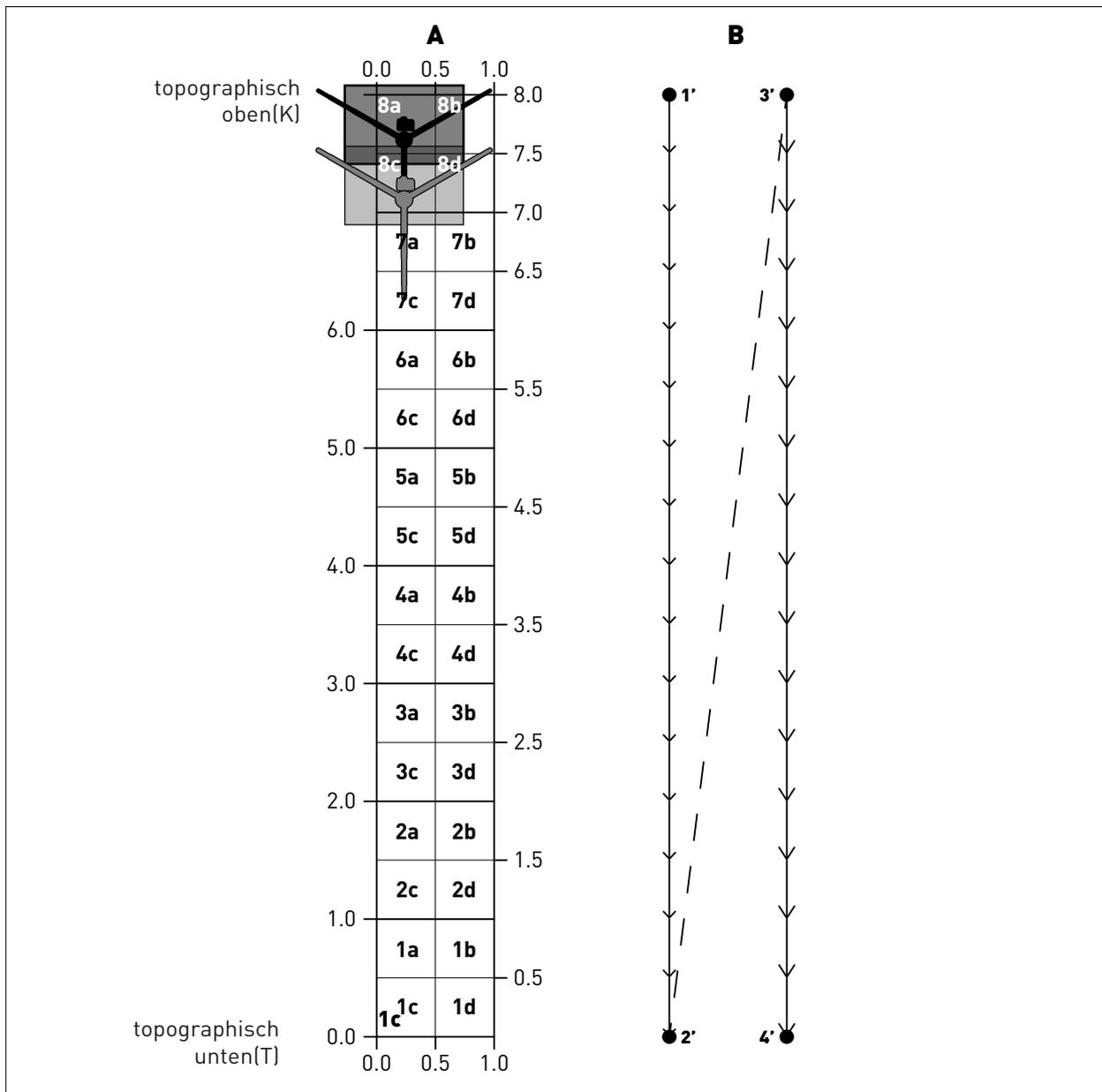


Abbildung 5: Schema zum Bewegung des Kameraaufbaus. **A:** Die Abbildung zeigt den Kameraaufbau zur Startposition an der Rasterzelle 8a sowie an der nächst folgenden Zelle 8c in der Sequenz. Der Aufnahmebereich der Kamera ist grau schattiert dargestellt (vgl. b in Abb. 1). **B:** Vereinfacht wird hier der Fortschritt skizziert. Beginnend bei 1' wird bis 2' in Serie fotografiert. Bei Abschluss von 1c wird die Kameraapparatur auf die Position 3' (8b) transferiert (strichlierte Linie) und wiederum in Serie bis 4' (1d) fortgesetzt.





Abbildung 6: Bildbeispiele zum Interpretationsschlüssel zur Abgrenzung von Grenzlinien zwischen Vegetationsbeständen sowie Strukturen innerhalb dieser (Strukturmerkmal). Nummerierung gemäß Tab. 2 (Spalte Nr.).

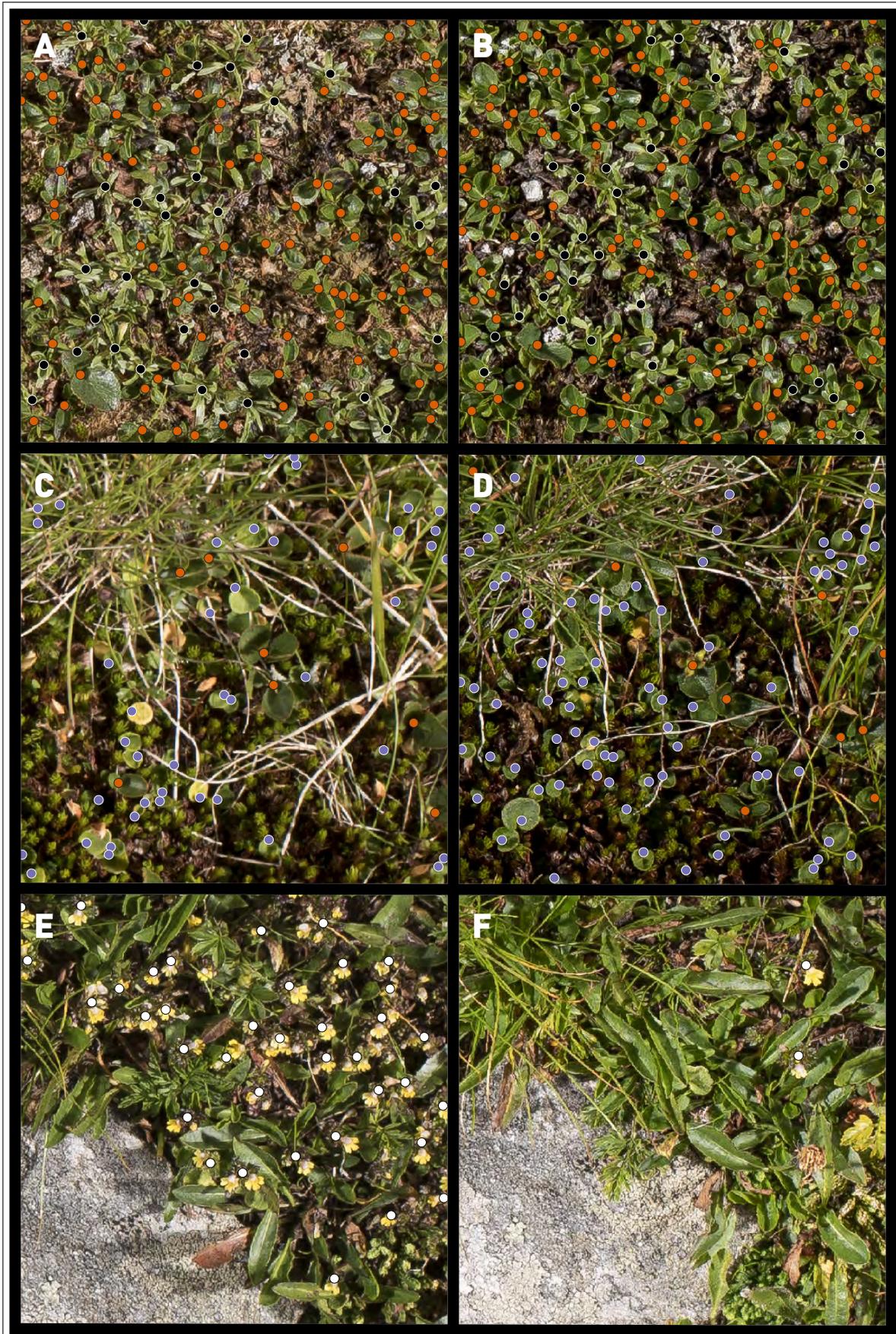


Abbildung 7: Beispiel des Datensatzes zur Auswertung auf Populationsebene für 2017 (linke Spalte) vs. 2018 (rechte Spalte). **Blau:** *Soldanella pusilla*, **Braun:** *Salix herbacea*, **Schwarz:** *Gnaphalium supinum*, **Weiß:** *Euphrasia minima*. **A & B:** IN1 1c 10 cm Zelle 14.; **C & D:** IN3 4c 10 cm Zelle 15; **E & F:** UN2 1a 10 cm Zelle 14.

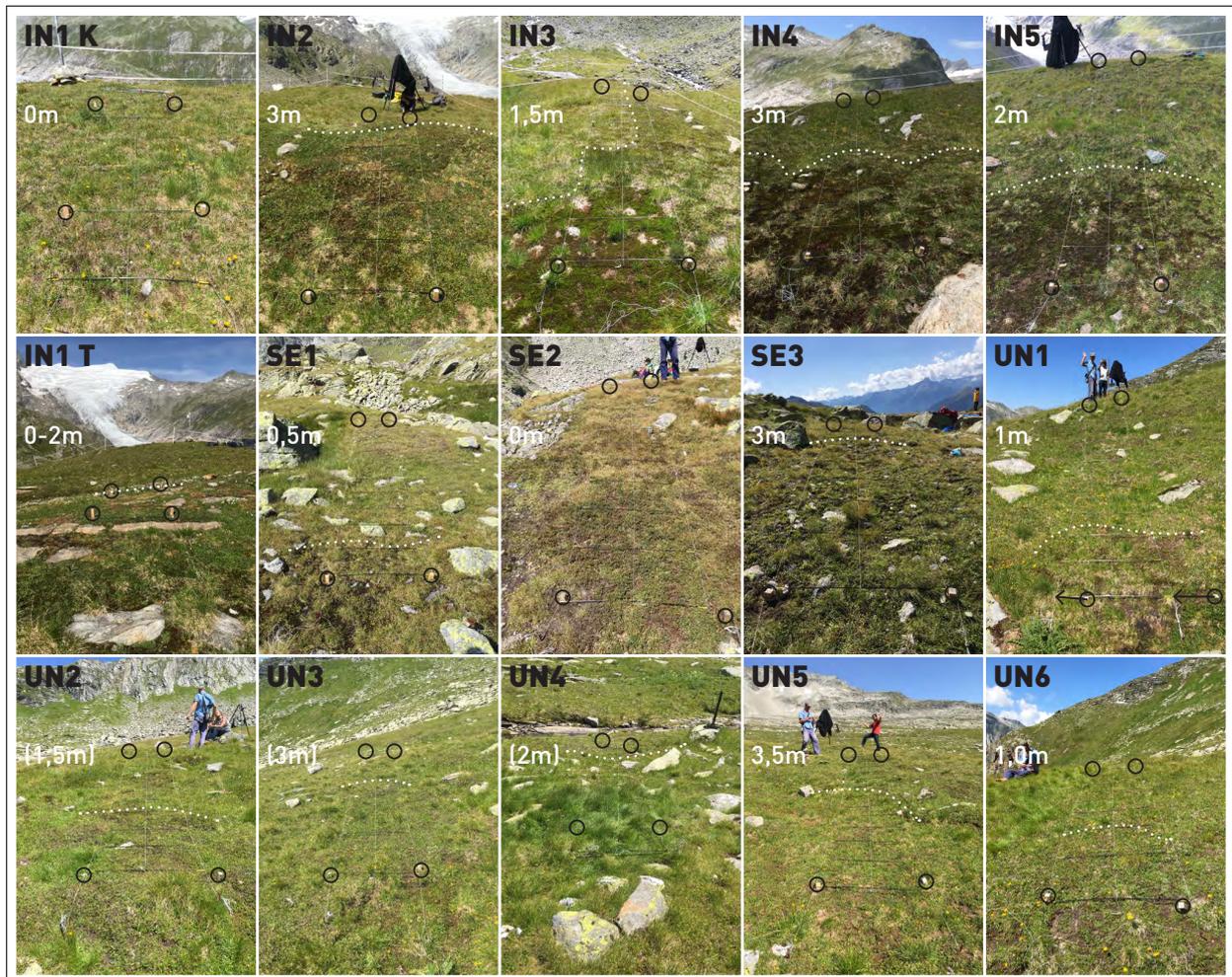


Abbildung 8: Übersichten der Transekte mit Blick hangaufwärts (Ausnahme UN4 hier Blick hangabwärts). **Punktierte weiße Line:** approximierte Grenze von Krummseggenrasen zu Schneeböden (oder schneeschutzbedürftigen Krummseggenrasen UN2, UN3, UN4). Beachte SE2 weist keine Bereiche mit Schneebodenvegetation auf. Das geteilte Transekt IN1 ist ganzheitlich den Schneeböden (IN1 T) bzw. Grasland zuzuordnen. Die Zusätze »T« und »K« bedeuten Tal und Kopf, sprich topographisch unten bzw. oben. **Schwarze Kreise:** Eckmarkierungen (Holzpflocke). Abweichungen sind insbesondere bei UN1 (Pfeile) gegeben, da hier die Pflocke nicht ausreichend genau in Linie gesetzt wurden. Alle Fotos stammen, bis auf Transekt UN6, das nur 2018 beprobt wurde, aus dem Jahr 2017.



Tabelle 1: Auszuwertende Bildkategorien mit Angabe der verwendeten dreistelligen Code-Bezeichnung. Der erste Buchstabe des Kategorie-Codes verweist auf die Gruppe (vgl. Klammerausdruck der fetten Zwischenüberschriften). †: Die Gruppe enthält die Arten *Agrostis rupestris*, *Nardus stricta*, *Oreochloa disticha* sowie (selten) Kümmerexemplare von *C. curvula* und *F. picturata*, die alle nicht zweifelsfrei zu attributieren waren. ‡: Morphospezies. Nomenklatur nach Fischer et al. 2008.

Code	Kategorie
Steine (r)	
rcr	Steine mit Kryptogamen
ruv	Steine ohne Bewuchs
Erde (s)	
sbs	unbewachsene Erde
sdc	abgestorbene terrestrische Kryptogamen
Flechten (l)	
lcl	terrestrische Krustenflechten (z. B. <i>Dibaeis baeomyces</i>)
lci	<i>Cetraria islandica</i> (inkl. <i>C. ericetorum</i>)
lfl	terrestrische Strauchflechten (z. B. <i>Cladonia</i> sp.)
lsc	<i>Solorina crocea</i>
lth	terrestrische thallose Flechten (z. B. <i>Peltigera</i> sp.)
Moose (b)	
bps	<i>Polytrichum</i> sp. (<i>P. sexangulare</i> , <i>P. juniperinum</i>)
bbr	Laubmoose
blw	Lebermoose
Gräser, Seggen und Simsen (g)	
gaa	<i>Anthoxanthum alpinum</i>
gav	<i>Avenula versicolor</i>
gcc	<i>Carex curvula</i>
gcs	<i>Carex</i> sp. (<i>C. nigra</i> , <i>C. atrata</i> , <i>C. sempervirens</i>)
gdc	<i>Deschampsia cespitosa</i>
gfp	<i>Festuca picturata</i>
gla	<i>Luzula alpino-pilosa</i>
gnl	schmalblättrige, kleine Süßgräser (Poaceae) †
Kräuter (h)	
hca	kleine Caryophyllaceae
hha	<i>Homogyne alpina</i>
hem	<i>Euphrasia minima</i>
hgm	<i>Geum montanum</i>
hgs	<i>Gnaphalium supinum</i>
hla	<i>Leucanthemopsis alpina</i>
hli	<i>Ligusticum</i> »s.lat« ‡ (<i>Mutellina adonidifolia</i> , <i>Pachypleurum mutellinoides</i>)
hpa	<i>Potentilla aurea</i>
hpu	<i>Pulsatilla alpina</i> spp. <i>austriaca</i>
hph	<i>Phyteuma hemisphaericum</i>
hpg	<i>Primula glutinosa</i>
hpm	<i>Primula minima</i>
hse	<i>Sedum</i> sp.
hsh	<i>Scorzoneroidea helvetica</i>
hsp	<i>Soldanella pusilla</i> (ssp. <i>alpicola</i>)
Zwergsträucher (d)	
dem	<i>Empetrum</i> sp. (<i>E. hermaphroditum</i> , <i>E. nigrum</i>)
dkp	<i>Loiseleuria procumbens</i>
dsh	<i>Salix herbacea</i>
dvg	<i>Vaccinium gaultheroides</i>
dvm	<i>Vaccinium myrtillus</i>
dw	<i>Vaccinium vitis-idea</i>



Tabelle 2: Interpretationsschlüssel zur Abgrenzung von Grenzlinien zwischen Vegetationsbeständen sowie Strukturen innerhalb dieser (Strukturmerkmal). Vgl. dazu die Bildbeispiele in Abb. 6.

Nr.	Bezeichnung	Kurzbeschreibung
1.	<i>Festucetum picturatae</i>	<i>Festuca picturata</i> (Hochgras) dominiert.
2.	<i>Loiseleurio-Caricetum curvulae</i>	mit <i>Loiseleuria procumbens</i> und diagnostischen Strauchflechten.
3.	<i>Caricetum curvulae</i>	mit dominierender <i>Carex curvula</i> .
3.1.	Strukturmerkmal <i>Caricetum curvulae</i>	Flecken von Ericaceen-Sträuchern (insbesondere <i>Vaccinium gaultheroides</i>) in <i>Caricetum curvulae</i> .
4.	<i>Hygrocaricetum curvulae</i>	in der Regel schütterere Deckung von <i>Carex curvula</i> , oft mit dominierenden kleinen Kräutern (<i>Scorzoneroides helvetica</i> , <i>Soldanella pusilla</i> , <i>Euphrasia minima</i> , <i>Leucanthemopsis alpina</i>).
4.1.	Strukturmerkmal <i>Hygrocaricetum curvulae</i>	geschlossene und auffällige Grasflecken $\geq 100 \text{ cm}^2$ (entsprechend fündundzwanzig 2 cm Zellen) in <i>Hygrocaricetum curvulae</i> .
5.	<i>Salicetum herbaceae</i>	deckende Krautweidenspalierie inklusive Bestände mit hoher Deckung von <i>Soldanella pusilla</i> und nur zerstreuten Individuen von <i>Salix herbacea</i> , teils mit vegetationsarmen Lücken (offener Boden und Bodenkrusten).
5.1.	Strukturmerkmal <i>Salicetum herbaceae</i>	offensichtliche Grasflecken $\geq 48 \text{ cm}^2$ (entsprechend zwölf 2 cm Zellen) in <i>Salicetum herbaceae</i> .
6.	<i>Polytrichetum sexangulare</i>	mit dominantem Vorkommen von <i>Polytrichum sexangulare</i> und/oder <i>Solorina crocea</i> , weiters mit zahlreichen vegetationsarmen Lücken (offener Boden und Bodenkrusten).
6.1.	Strukturmerkmal <i>Polytrichetum sexangulare</i>	kleinste Grasflecken $\geq 8 \text{ cm}^2$ (entsprechend zwei 2 cm Zellen) in <i>Polytrichetum sexangulare</i> .
7.	offener Boden	unbewachsener Boden, Bodenkrusten, auch abgestorbene Grashorste, Moosteppiche, Tierkot u. a.; weiters auch schütter bewachsene Lücken innerhalb von <i>Hygrocaricetum curvulae</i> oder <i>Caricetum curvulae</i> , nicht aber Lücken in <i>Polytrichetum sexangulare</i> , welches sich in Summe durch Lückenstrukturen auszeichnet.
8.	Steine	Steine größer 5 cm im längsten Durchmesser, am Bildrand auch kleiner, wenn sich der Umriss des Steins darüberhinaus fortsetzt; falls der Stein mit Moosen bewachsen ist, löst eine Deckung von mehr als 10 % eine eigene Grenzlinie aus.
9.	Holzpflöcke	Transektmarkierungen aus Kanthölzern die auf den Bildern randlich angeschnitten sind.





Tabelle 3: Auf Basis von »Individuen« auszuwertende Arten, mit Angaben zu ökologischer Einnischung, wesentlichen vegetativen Merkmalen und Angabe der gezählten und verorteten Pflanzenteile (Referenzpunkt, vgl. dazu Abb. 7).

Code	Art	Merkmale	Referenzpunkt
1	<i>Euphrasia minima</i> (<i>Caricion curvulae</i>)	Therophyt, Halbparasit; (1)2-15(25) cm hoch, meist unverzweigt, kurz behaart, Blätter meist gleich lang wie breit, jederseits mit 1-4 nicht begranneten Zähnen. Krone (5)6-7(8) mm lang, weiss oder gelb (bläulich oder bunt).	Blühender oder abgeblühter Trieb
2	<i>Gnaphalium supinum</i> (<i>Salicion herbaceae</i>)	Mehrjähriger Hemikryptophyt; (1)2-8(10) cm hoch, Rhizom kriechend, meist mehrere bis zahlreiche sterile Blattrosetten bildend, Blätter schmal-lanzettlich, weissfilzig, meist höchstens 3 cm lang und 1-2(3) mm breit. Blütenköpfchen einen kurzen, ährigen Gesamtblütenstand bildend.	Knospe der (Teil-)Rosette
3	<i>Primula glutinosa</i> (<i>Caricion curvulae</i>)	Mehrjähriger Hemikryptophyt; 3-8 cm hoch, kahl, aber drüsig-klebrig, Blätter spatelförmig, in den breit geflügelten, kurzen Stiel verschmälert, gelblichgrün, vorn fein gezähnt, seltener ganzrandig.	Knospe der Rosette
4	<i>Primula minima</i> (<i>Caricion curvulae</i>)	Mehrjähriger Hemikryptophyt; 1-3 cm hoch, Blätter 0,5-1,5(3) cm lang, verkehrt dreieckig, Seiten ganzrandig, Vorderkante mit 3-9 groben Sägezähnen.	Knospe der Rosette
5	<i>Salix herbacea</i> (<i>Salicion herbaceae</i>)	Verholzter Chamaephyt (Geophyt); 2-3(8) cm hoch, niederliegender Spalierstrauch mit im Boden eingewachsenen Zweigen (unterirdisch kriechend) und krautigen, oberirdischen Trieben, Laubblattspreite rundlich 1-1½× so lang wie breit, ca. 0,5-3(8) cm lang, beiderseits grün, glänzend, kahl, Rand fein gezähnt.	Frucht oder Knospe mit 2 schüsseligen Blättchen bzw. (Teil-)Trieb mit 2 bis 3(4) Blättchen
6	<i>Soldanella pusilla</i> (ssp. <i>alpicola</i>) (<i>Salicion herbaceae</i>)	Mehrjähriger Hemikryptophyt; 2-10 cm hoch, Blätter kurz gestielt, dünn, kreisrund bis nierenförmig, mit deutlicher Basalbucht, Durchmesser meist weniger als 1 cm, (4)10(20) mm breit, Nerven oberseits deutlich hervortretend (runzelig), Blattoberseite punktiert erscheinend.	Basalbucht eines Blättchens





Tabelle 4: Abstände der Ecken des Probenahme-Rasters zu den zwei im Jahr 2018 gesetzten Unterflurmarkierungen. K = Kopf (Transektende) und T = Tal (Transektbeginn, 0 m). Die Richtung der drei Messstrecken sind mit Links, Mitte und Rechts angegeben, wobei als Blickrichtung jeweils das gegenüberliegende Transektende definiert ist (vgl. Abb. 4). Beachte, die räumliche Teilung des Transekts IN1 wird mit K (0-2 m und 2-4 m) ausgezeichnet. Für Maße, bei denen die Spannung der Messlinie um einen Holzpflock zu berücksichtigen ist, werden systematisch beide Teilstrecken angegeben (z. B. 4 + 75,5 cm bei IN2 T, Rechts).

Transekt	Seite	Abstand (cm)		
		Links	Mitte	Rechts
IN1 0-2m	K	111	100	113
IN1 0-2m	T	4 + 108,5	100	111
IN1 2-4m	K	140,5	130	138
IN1 2-4m	T	111	100	113,5
IN2	K	110,5	100	113,5
IN2	T	77,5	60	4 + 75,5
IN3	K	110,5	100	114
IN3	T	113	100	5 + 106,5
IN4	K	109,5	100	113,5
IN4	T	86	70	85,5
IN5	K	121	110	120
IN5	T	111	100	5+107,5
SE1	K	154,5	141	150
SE1	T	99	85	98,5
SE2	K	113,5	100	3,5 + 105,5
SE2	T	59	31,5	58,5
SE3	K	4 + 107,5	100	111
SE3	T	85	70	4,5 + 83
UN1	K	108,5	100	112,5
UN1	T	94	80	93
UN2	K	64	43,5	68,5
UN2	T	71,5	50	70
UN3	K	110	100	112
UN3	T	114,5	100	110
UN4	K	123,5	115	126
UN4	T	112,5	100	111
UN5	K	111,5	100	110,5
UN5	T	83,5	67	82
UN6	K	111,5	100	110,5
UN6	T	55	25	56

