



Langfristige Ökosystembeobachtung - Endbericht

Modul 01: Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und pflanzliche Produktivität

Mit Unterstützung von Bund und Europäischer Union

Zitiervorschlag: Newesely C, Niedrist G, Tappeiner U, Körner C (2019) Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2016-2019. - Modul 01: Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und pflanzliche Produktivität. Endbericht. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern. http://www.parcns.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=37874

Innsbruck, 25.6.2019

Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:

Christian Newesely und Ulrike Tappeiner / Universität Innsbruck, Georg Niedrist / Eurac Research, Christian Körner / Universität Basel

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

Projektleitung: Ulrike Tappeiner

Titelbild: Ein Transekt im Untersuchungsgebiet Innerschlöss (2350 m üNN) wird beprobt (8/2017). © Newesely

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
a. Ausgangssituation und Problemstellung	5
b. Zielsetzung	7
c. Projektpartner	7
Methodik.....	7
a. Präambel	7
b. Standorte und Dauerbeobachtungsflächen	7
c. Klimatische Standortparameter	11
i Lufttemperatur	11
ii Bodentemperaturen	12
d. Bodenphysikalische und bodenchemische Charakterisierung der Untersuchungsstandorte	12
i Probennahme im Gelände	12
ii Vorbereitung der Proben für die Laboranalysen	13
iii Laboranalysen zur bodenphysikalischen Charakterisierung.....	13
iv $\delta^{15}\text{N}$ Untersuchungen.....	13
v Laboranalysen zur bodenchemischen Charakterisierung	13
e. Biomasse	14
i Auswahl der Beprobungsflächen innerhalb der Transekte	14
ii Oberirdische Biomasse: Probennahme und -verarbeitung.....	16
iii Unterirdische Biomasse: Probennahme	16
Ergebnisse	17
a. Klimatische Standortparameter	17
b. Bodenphysikalische und bodenchemische Charakterisierung der Untersuchungsstandorte	24
i Bodentextur und organische Substanz	24
ii Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt.....	26
c. Bodenchemische Charakterisierung.....	29
d. $\delta^{15}\text{N}$	32
e. C/N-Verhältnis (aus der Isotopenuntersuchung)	33
f. Pflanzliche Biomasse	34
Interpretation und Diskussion	36
a. Präambel	36
b. Standortcharakterisierung	36
c. Bodenphysikalische und bodenchemische Charakterisierung der Untersuchungsstandorte	39
d. Biomasse	40
e. Eignung der Dauerbeobachtungsflächen/Probestellen	41
Ausblick.....	42
a. Aussagewert für das Testgebiet und Aussagewert für das gesamte Schutzgebiet	42



b. Einbettung in internationale Forschungsnetzwerke.....	42
Kosten-Analyse	42
Danksagung.....	43
Abbildungsverzeichnis	44
Literaturverzeichnis.....	49
Anhang.....	51
a. Standardgradtage.....	51
b. Bodentemperaturverläufe	52
c. Bodentextur:	63
i Innergschlöss	65
ii Seebachtal	72
iii Untersulzbachtal.....	76
iv Furka	85
v Oberettes.....	91



Einleitung

a. Ausgangssituation und Problemstellung

Organismen, die an einem Standort stabile Populationen ausbilden, sind an die vorherrschenden Umweltbedingungen angepasst, so dass bestimmte Lebensgemeinschaften (Biozöosen) an einem bestimmten Ort entstehen, die die langfristige Antwort der "Natur" auf die Umwelt widerspiegeln. "Natur" ist aber nicht statisch, sondern befindet sich in stetem Wandel, woran auch der Mensch maßgeblich beteiligt ist. Veränderung der Landnutzung, atmosphärische Veränderungen wie CO₂-Anstieg und Stickstoffeintrag, und anthropogene klimatische Veränderungen hinterlassen ihre Spuren auch in heute weitgehend natürlichen Lebensräumen. Solche Änderungen sind mit unseren Sinnen nicht unmittelbar erkennbar – entsprechend wichtig ist, dass tatsächliche und relevante Veränderungen durch Messungen und quantitative Beobachtungen sichtbar gemacht werden. Veränderungen werden besonders im Hochgebirge erst über lange Zeiträume nachweisbar, der Grund warum die langfristige Ökosystemforschung (Long Term Ecological Research, LTER) eine globale Aufgabe wurde und speziell für Berggebiete ein vordringliches internationales Anliegen ist (aus: Körner 2018).

Gerade im Gebirge spielt für den Energiehaushalt und damit auch für die Oberflächentemperatur die Topographie eine große Rolle. Hangneigung, Exposition und Mikrorelief beeinflussen insbesondere die Absorption der Solarstrahlung. Damit ergibt sich eine kleinräumig starke Heterogenität der Oberflächentemperatur, mit der warme Nischen in einem ansonsten meteorologisch kühlen Gelände geschaffen werden (Scherrer & Körner 2009). Die Topographie beeinflusst aber auch die Schneeverteilung und Schneebedeckungsdauer auf kleinstem Raum. Diese wirken sich wiederum auf abiotische Umweltfaktoren aus, wie Bodentemperaturen und -feuchtigkeit und die damit zusammenhängende Habitateignung für Bodentiere und Bodenmikroorganismen oder die für die Pflanzen wichtige Vegetationszeit, als auch wichtige Prozesse in diesen Ökosystemen, wie das Wachstum der Pflanzen und die Abbauraten. Entlang eines stark ausgeprägten Umweltgradienten der Lebensfeindlichkeit (Schneeschnmelzgradienten) finden Pflanzen- und Tierarten und die mit ihnen assoziierten Mikroorganismen eine Existenzgrenze. Schon Friedel (1961) erkannte die besondere Eignung solcher Flächen für Langzeitbeobachtungen, da sich die räumlichen Muster der Schneeverteilung während der Schneeschnmelze nicht ändern, sondern nur der zeitliche Ablauf. Daher sind die Isolinien dieser Existenzgrenzen auch empfindliche Indikatoren für die Wirkung von Klimaänderungen (vgl. Körner 2018, Matteodo et al. 2016).



Abbildung 1: Isolinien der Schneeschnmelze in einem topographiebedingten alpinen Schneeschnmelzgradienten (aus Körner 2018)



Eines der übergeordneten Ziele des gegenständlichen Projektes ist das „Leben an Existenzgrenzen“ im Gebirge zu erfassen und zu verstehen. In terrestrischen Ökosystemen eignen sich dafür steile Schneeschmelzgradienten als Modell-Ökosysteme besonders gut. Allerdings ist es notwendig, genügend Replikate für testbare Hypothesen im Raum zu erfassen (vgl. Körner 2019). Ganz entscheidend ist dabei die Auswahl der Untersuchungsgebiete bzw. Standorte, und innerhalb dieser, die Auswahl geeigneter Transekte, die die entsprechenden Umweltgradienten abbilden.

Für das terrestrische Langzeitmonitoring wurden daher bewusst in allen drei Teilen des NPHT Standorte über der Waldgrenze ausgewählt, wo sehr steile Schneeschmelzgradienten auf kleinstem Raum vorherrschen und entlang denen sich über wenige Meter Distanz die Lebensbedingungen für Pflanzen, Bodentiere und Bodenmikroorganismen drastisch ändern. Im Jahr 2016 wurden im NPHT, nördlich und südlich der Hauptalpengrenze, in Kärnten (Seebachtal 2300 m üNN, Ankogel), Tirol (Innerschlöss bei Matri 2350 m üNN) und Salzburg (Untersulzbachtal 2380 m üNN), Messstellen eingerichtet. Weitere methodisch gleiche Messstellen gibt es in Südtirol (Oberettes 2700 m üNN, Matschertal, Ötztaler Alpen innerhalb des Standortes von LTER- IT25 - Val Mazia/Matschertal, vgl. <https://deims.org/11696de6-0ab9-4c94-a06b-7ce40f56c964>) und in den Schweizer Zentralalpen (nahe Furkapass 2460 m üNN innerhalb des Standortes von LTER-Switzerland, Alpine Research Station Furka, ALPFOR, vgl. <https://deims.org/network/Switzerland-LTER-Switzerland>). Die dominante Vegetation unter günstigen Wachstumsbedingungen ist an allen Standorten eine Krummseggenheide, mit oft nur noch wenigen oder keinen blühenden Pflanzenarten im Zentrum des Schneeschmelzgradienten (aus: Körner 2018). Damit folgte die Auswahl der Standorte und der Transekte der in Körner (2019) postulierten Grundbedingungen:

- (i) Die großräumige Replikation der Standorte, bei der möglichst viele Standorte in einer weiten Streuung entlang des Alpenhauptkammes auf gleicher Geologie angelegt werden sollten, sowohl um großräumige Muster abzudecken als auch generalisierbare Aussagen treffen zu können;
- (ii) Lokale Standortsreplikation mit möglichst vielen Dauerflächen pro Standort, die standardisiert (hier Transekte entlang von Schneeschmalzgradienten) angelegt werden müssen und die es ermöglichen eine systematische Veränderung der Umweltbedingungen zu detektieren;
- (iii) Eine möglichst hohe Replikation innerhalb einer Dauerbeobachtungsfläche (Subquadrate innerhalb eines Transektes), um der hohen Heterogenität der Vegetation innerhalb eines Transektes gerecht zu werden und die Reproduzierbarkeit der Beobachtungen auch nach vielen Jahren (Nachvollziehbarkeit, Wiederholbarkeit) zu gewährleisten.

Im Rahmen des auf mehrere Jahrzehnte ausgelegten NPHT-Projektes „Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen“ erfolgt in den ausgewählten terrestrischen Modell-Ökosystemen in mehreren Modulen (1 - 4) ein Monitoring mehrerer abiotischer Umweltparameter (Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie) und verschiedener biotischer Kennzahlen bzw. Taxa (pflanzliche Produktivität, Vegetationszusammensetzung, Bodenmesofauna, Bodenmikrobiologie). Außerdem erfolgt zur Bestimmung der Lebensraumnutzung durch wiederkäuende Nutz- und Wildtiere ein Monitoring entlang von Höhengradienten von der Waldgrenze bis zur vegetationsfreien Zone, wobei die ausgewählten Schneeschmelzgradienten inkludiert werden (Modul 6).

Im vorliegenden Endbericht werden die Ergebnisse von Modul 1: Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und Produktivität vorgestellt und kurz andiskutiert. Der große Wert dieses Projektes liegt darin, ein Langzeitmonitoring an terrestrischen Modell-Ökosystemen an drei Standorten im NPHT zu etablieren, eine Standortcharakterisierung von Klima und Boden durchzuführen, eine gute Ausgangsbasis mit Referenzdaten zu legen, Grundlagendaten für die anderen terrestrischen Gruppen in den Bereichen Bodenzoologie und Bodenmikrobiologie zu erheben, sowie ein detailliertes Methodenhandbuch (vgl. Newesely et al. 2019) zu erstellen und damit die Messprotokolle für das Monitoring zu fixieren. Daher wurde bei den Projektarbeiten gezielt auf diese Aspekte der Schwerpunkt gelegt. Eine umfassende Diskussion der erhobenen Daten wird daher in diesem Bericht aus mehreren Gründen nicht durchgeführt: (1) sind gerade die Ergebnisse der Standortcharakterisierung naturgemäß sehr deskriptiv gehalten und den Nutzen daraus werden vor allem diejenigen ziehen können, die diese Daten als Interpretationsgrundlage für ihre biotischen Erhebungen benötigen, oder die in den kommenden Jahrzehnten des Monitorings darauf aufbauend, Systemänderungen beobachten, (2) sind sie erst der Ausgangspunkt für ein langfristiges Monitoring und gewinnen ihren Wert mit der geplanten langjährigen Reihe, in der Variabilitäten und Trends herausgefiltert werden können, (3) sprengt eine dafür notwendige weiterführende statistische Auswertung bei weitem den Projektumfang und (4) sind bereits konkrete wissenschaftliche Publikationen in Fachzeitschriften geplant, in deren Rahmen eine weiterführende Auswertung und Testung von Hypothesen erfolgen wird.

b. Zielsetzung

Zielsetzung von Modul 01 war es,

- (i) das Langzeitmonitoring für die Fachbereiche Standortklima, Bodenphysik und Bodenchemie, sowie pflanzliche Produktion (mit dessen Proxy lebende oberirdische Biomasse zum Biomassehöhepunkt, der sogenannten „peak biomass“) mittels etablierter Methoden aufzubauen,
- (ii) die ersten Referenzdaten als Basis für das langfristig angesetzte Monitoring der entsprechenden Parameter zu gewinnen, und
- (iii) die gewonnenen Daten auszuwerten und zu dokumentieren.

c. Projektpartner

In Modul 01 waren folgende Projektpartner involviert:

- Universität Innsbruck, Institut für Ökologie (AT): Dr. Mag. Christian Newesely, Ing. Mario Deutschmann (TA), Herbert Wachter (TA), Anna Türtscher, Matteo Wurdinger, Univ.-Prof. Dr. Ulrike Tappeiner
- Universität Basel (CH): Prof. em. Dr. DDr. h.c. Christian Körner
- Eurac Research (IT), Institut für Alpine Umwelt: Dr. Mag. Georg Niedrist, Dr. Andreas Hilpold, Michael Steinwandter MSc, Laura Stefani, PD Dr. Mag. Julia Seeber

Methodik

a. Präambel

Da im Methodenhandbuch (Newesely et al. 2019) die verwendete Methodik detailgetreu dargestellt wird, werden hier aus Gründen der Redundanz die Standorte, ausgewählte Dauerbeobachtungsflächen / Transekte und die verwendeten Methoden nur kurz beschrieben, wie dies bei einer wissenschaftlichen Publikation üblich ist. Details zu der Auswahl von geeigneten Standorten finden sich in Körner 2019.

b. Standorte und Dauerbeobachtungsflächen

Die Untersuchungen wurden an insgesamt 5 Standorten durchgeführt, jeweils ein Standort in den drei Nationalparkteilen des NPHT, im Seebachtal (2300 m üNN, Abbildung 2) in Kärnten, im Untersulzbachtal (2380 m üNN, Abbildung 3) in Salzburg und im Innergschlöss (2350 m üNN, Abbildung 4) in Tirol, sowie jeweils ein weiterer Standort nahe des Furkapasses (Furka, 2460 m üNN, Abbildung 6) in der Schweiz und im Matschertal (Oberettes, 2700 m üNN, Abbildung 5) in Südtirol (IT). Insgesamt wurden im NPHT 14 Dauerbeobachtungsflächen (DF) (3 im Seebachtal, 6 im Untersulzbachtal, 5 in Innergschlöss), sowie 5 DF auf der Furka und 3 DF in Oberettes in Form von Transekten entlang von Schneeschmelzgradienten eingerichtet. Abbildung 7 gibt einen schematischen Überblick über eine mögliche Position von derartigen DFs an einem Standort (Grafik aus Körner 2018).

Innerhalb eines Standortes wurden die Transekte dauerhaft markiert (Details dazu siehe Eberl & Kaiser 2018, Newesely et al. 2019). Wie Körner (2015) detailliert beschreibt, sind DF grundsätzlich 1 m breit und in der Falllinie zum Zentrum des topographiebedingten Schneeschmelzgradienten ausgerichtet (Abbildung 7). Im Idealfall finden sich in einer Schneemulde in unterschiedlichen Expositionen mehrere solche Transekte, die als unabhängige Replikate betrachtet werden können, weil der Unterschied zwischen solchen Transekten oft viel grösser ist, als zwischen Transekten ähnlicher Ausrichtung in unterschiedlichen topographiebedingten Schneeschmelzgradienten. Die Orientierung des Transektes ist daher ein wichtiges Merkmal. Links und rechts der DF wurden 1 m breite Streifen (ohne weitere Vermarkung) definiert, die für destruktive Untersuchungen zur Verfügung stehen (z.B. Biomasseernte, Bodenproben). Die Streifen wurden später in 1 m Abschnitten beprobt, wobei ein mitgebrachtes Messgitter mit 10 x 10 m und einer Maschenweite von 1 x 1 m die Erhebungsquadranten auswies (siehe Newesely et al. 2019, Abbildung 8 links). Insgesamt gibt es pro Transekt drei Streifen, A, B, C, von denen der mittlere, B, die ungestörten DFs darstellt. A und C sind Streifen für destruktive Arbeiten (Abbildung 7).



Abbildung 2: Standort Seebachtal, Transekt 2, (2300 m üNN, Ankogel) in Kärnten (Foto Körner 2017)



Abbildung 3: Standort Untersulzbachtal (2380 m üNN,) in Salzburg (Foto Körner)



Abbildung 4: Standort Innerschloß, Transekt 4, bei Matrei (2350 m üNN) in Tirol (Foto Körner 2017)



Abbildung 5: Standort Matschertal (Oberettes, 2700 m üNN, Ötztaler Alpen) in Südtirol mit einer Mikroklimamessstation in unmittelbarer Nähe der Transekte. Diese erfasst nicht nur die Lufttemperatur, sondern auch wesentliche Parameter des Strahlungshaushaltes, die Windgeschwindigkeit, sowie die Schneehöhe im Winter / bzw. die Bestandeshöhe im Sommer. Der Standort befindet sich in einem international anerkannten langzeitökologischen Untersuchungsgebiet (LTER- IT25 - Val Mazia/Matschertal) (Foto Körner)



Abbildung 6: Standort Furka, 2460 m üNN in den Schweizer Zentralalpen. Der Standort befindet sich in einem international anerkannten langzeitökologischen Untersuchungsgebiet (LTER-Schweiz, Alpine Research Station Furka, ALPFOR) (Foto Körner)

Die Wahl der Standorte und der Transekte erfolgte nach den Kriterien von Körner (2019). Die Transekte wurden derartig ausgewählt, dass sie einen Gradienten vom lokalen Optimum der Vegetationsentwicklung ('K') zum lokalen Pessimum der Vegetationsentwicklung ('T') und damit auch einen Gradienten der ‚Habitatgunst‘ abbilden. Diese Gradienten sind eine Folge der Hangneigung und sind auch dem Ausmaß der Schneeverfrachtung zuzuschreiben. Die Transekte erstrecken sich über 7 bis 10 Meter Länge. Aufgrund der natürlichen Gegebenheiten im Gelände ist es unmöglich, Transekte so zu legen, dass Klima, Boden und Vegetation sich kontinuierlich (gleichmäßig) von Meter zu Meter ändern. Da Körner (2019) im Detail beschreibt, was bei der Auswahl der Standorte und der DF zu beachten ist, wird dies hier nicht weiter vertieft.

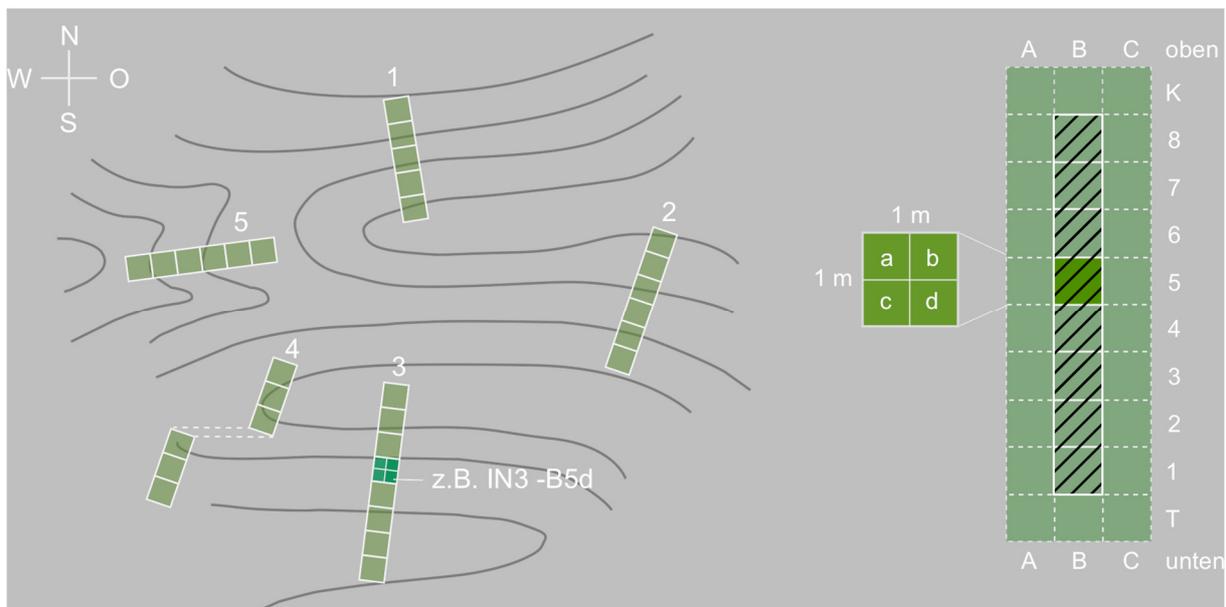


Abbildung 7: Position und Feinstruktur von Dauerbeobachtungsflächen (DF) in Form von Transekten entlang von Schneeschmelzgradienten eines Standortes in einem Untersuchungsgebiet (aus Körner 2018)

Aufgrund des Arbeits- und Zeitaufwandes erwies es sich als nicht machbar, bei der Beprobung alle 1 m² Quadrate zu beproben. Durch den langen Auf- und Abstieg zu/von den Standorten blieb für die Geländearbeiten, selbst bei langen Sommertagen, nur ein gewisser Zeitrahmen zur Verfügung. Für die besonders arbeitsaufwändigen Analysen im Gelände bedeutete dies, dass pro Transekt nur 3 Proben, und zwar je eine aus dem untersten, mittleren und obersten Bereich



genommen werden konnten. Da vielfach 2 (oder gar 3) Bodentiefen beprobt wurden, ergab das bei 5 Transekten 30 Proben pro Thema für einen Standort, bei 5 Themen (Bodenphysik, Bodenchemie, Bodenzoologie, unterirdische Biomasse, Mikrobiologie) somit 150 Proben. Deshalb wurden Proben aus allen 'K' Quadraten mit Proben aus dem unterhalb von 'K' liegenden Feld 5...8 in eine Sammel-Kategorie 'K' gepoolt. Analog wurde bei Proben aus dem Umfeld von 'T' vorgegangen. Proben aus den mittleren 3(-4) Feldern wurden in 'M' gepoolt. Bei kurzen Transekten wurde nur das jeweils letzte Feld vor 'T' oder 'K' bei der Poolung einbezogen, bei sehr langen Transekten konnten es auch die letzten 2 sein.

Ein weiterer Grund spricht für dieses Zusammenfassen: Im Hochgebirge ändert sich Substrat, Mikroklima, Bewuchs im Maßstab von wenigen Zentimetern. Es kann also durchaus sein, dass ein Quadratmeter in 'T' üppig ist und einer gleich daneben vegetationslos ist. Indem die Kategorien 'T', 'M' und 'K' breiter besetzt wurden, konnte diese Mikro-Habitat-Variabilität etwas aufgefangen werden. Eine meterweise Abbildung aller Transekte wäre bei destruktiver Beprobung nicht machbar und würde eine Wiederbeprobung stark erschweren bis unmöglich machen. So zeigen Erfahrungen in vergleichbarer Höhenlage, dass es selbst bei weniger invasiven Beprobungen, wie die Ernte der pflanzlichen oberirdischen Biomasse, ca. 3 Jahre braucht, damit sich die Vegetation soweit erholt, dass auf denselben Flächen wieder von der vorherigen Ernte unbeeinflusste Beprobungen durchgeführt werden können. Daher wurde beschlossen, für die weniger invasive Beprobungen (pflanzliche oberirdische Biomasse) jährlich 6 Subquadrate pro Transekt zu beproben. Für die Analysen wurden die Proben ebenfalls in 'T', 'M', 'K' Bereiche gepoolt, wie oben beschrieben.

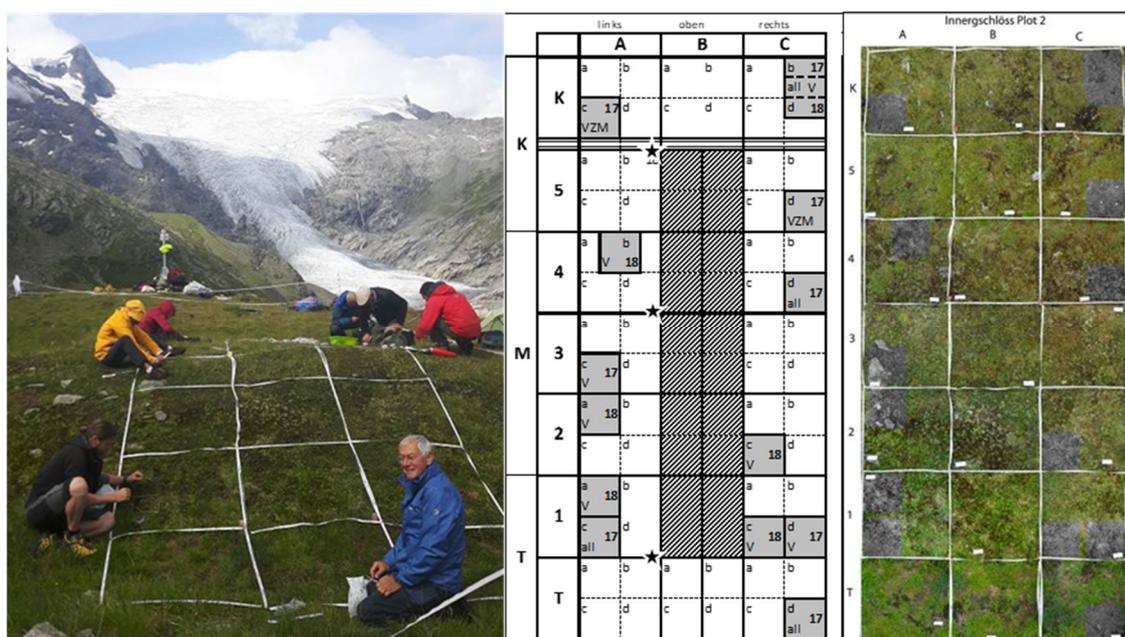


Abbildung 8: Messgitter im Gelände am Transekt, zugehöriges Protokoll und Foto (Beispiel: Transekt 2 Innerschlöss). Fotos: Newesely (links), Eurac Research (rechts), Bearbeitung Newesely (aus Newesely et al. 2019)

In Newesely et al (2019) erfolgte eine genaue Beschreibung der ausgewählten DF an den fünf Standorten, sowie deren schematische Darstellung und fotografische Dokumentation. Aus Gründen der Redundanz wird dies daher an dieser Stelle nicht wiederholt.

c. Klimatische Standortparameter

In diesem Unterkapitel wird auf die Erfassung der klimatischen Umweltfaktoren eingegangen, das darauffolgende Unterkapitel beschäftigt sich mit dem Boden.

i Lufttemperatur

Für die Erfassung der Lufttemperatur wurden an den 3 Standorten des NPHT einfache Temperatur- und Luftfeuchtigkeit-Logger (HOBO Pro v2 Datenlogger mit internem Feuchte /Temperatur-Sensor U23-001 {Onset Computer Corporation}) mit einem Temperaturmessbereich von -40° bis 70°C, einer Genauigkeit von ±0.21°C zwischen 0° und 50°C und einer Auflösung von 0.02°C bei 25°C verwendet. Nach dem Einbau von Montagemaßen (ein 1,5 m langes Edelstahlrohr mit 3 cm Durchmesser), die an den Standorten Untersulzbachtal und Seebachtal (am 9.8.2018 eingerichtet) mittels





Montageplatte mit 3 Schraubbolzen auf einer Felsplatte fixiert wurden, wurde der Montagemast mittels drei, im Winkel von je 120° angeordneter Edelstahlseile, an weiteren im Felsen verschraubten Ankerpunkten fixiert (vgl. Abbildung 3). Nur im Innergschlöss wurde der Mast mittels größerer Steine im Boden fixiert und dann ebenfalls in drei Richtungen verspannt. Die Lufttemperatur- und Luftfeuchte-Logger wurden zur Vermeidung eines Strahlungsfehlers in einem Strahlungsschutzgehäuse (solar radiation shield RS1, {Onset Computer Corporation}), das mit Halteschellen (U23 Clamp Kit, {Onset Computer Corporation}) an den Masten befestigt wurde, 1,2 m über Grund montiert. Lufttemperatur und Luftfeuchte werden mit einem Messintervall von 1 Stunde erfasst und im Logger bis zum Auslesen der Daten gespeichert. Weil für die aktuelle Fragestellung vor allem die Messung der Lufttemperatur von Bedeutung ist, wurden die Luftfeuchtwerte nicht weiter ausgewertet, sind aber im Datenfile vorhanden, sodass sie bei Bedarf verfügbar sind.

An den beiden LTER-Standorten Furka (CH) und Oberettes (I) waren bereits unmittelbar in der Nähe der Transekte Makro- bzw. Mikroklimastationen vorhanden (vgl. für Oberettes Abbildung 5).

ii Bodentemperaturen

Für die Messung der Bodentemperaturen wurden Mini-Einkanaldatenlogger der Type iButton (DS1922L, {Maxim Integrated}) mit einer Auflösung von 0,5°C (Temperaturbereich -40°C bis +85°C), mit einem 3-stündigen Messintervall verwendet. Die Logger sind in einem Edelstahlgehäuse zwar mechanisch ausreichend für den Einsatz unter den hier vorherrschenden schwierigen Bedingungen geeignet, wurden aber in wasserfeste iButton-Schutzkapseln (SL50-ACC06-PK1, {Maxim Integrated}) eingebaut, um sie vor Feuchtigkeit zu schützen. Pro Transekt werden jeweils 3 Logger eingebaut, um die Bodentemperaturen in den Bereichen 'T' (pessimal), 'M' (mittlerer Bereich) und 'K' (optimal) zu charakterisieren. Neben der Temperatur der aktivsten Bodenschicht liefern diese Messungen auch präzise Information über die lokale Schneebedeckung. Da Schnee isoliert, verschwinden bei Schneebedeckung die tageszeitlichen Schwankungen weitgehend (Körner et al. 2003). Damit wird jeder Transekt hinsichtlich Ausaperungsdynamik charakterisiert. Die Logger wurden konsequent immer an der Position 'T', 'M', 'K' in einer Bodentiefe von 3-4 cm Unterkante eingebaut und zwar an der äußeren hangabliegenden Kante von 'K', an der oberen, hangaufwärts liegenden Kante des Feldes 'T' und an der Kante zwischen zwei Quadraten in 'M'. Jeder Logger wurde genau mit einem zumeist quadratisch ausgestochenen Vegetationsziegel abgedeckt, der rasch wieder mit der Umgebung verwuchs. Die Vegetationsoberfläche darf sich von der Umgebung nicht unterscheiden, was eine Markierung oberhalb der Logger nicht zulässt (vgl. Details dazu in Newsely et al. 2019). Zum Auslesen der Daten müssen die Logger wieder vorsichtig ausgebaut werden, wobei die Vegetationsziegel vorsichtig abgehoben werden. Das Auffinden der Logger kann durch die Verwendung eines Metallsuchgeräts (Leitungssuchgerät) deutlich erleichtert werden. Beim Einbau bzw. Austausch der Logger ist darauf zu achten, dass die Logger exakt gleich positioniert werden wie vorher. Danach werden wieder die Vegetationsziegel über die Logger gegeben. Die „Lebensdauer“ der Logger ist mit ca. 3 Jahren limitiert. Für den 2019 nötigen Austausch der Logger sollte auf die neue, bereits mit einer wasserdichten Schutzhülle ummantelten Type MF1925L {Maxim Integrated} gewechselt werden, da diese einen nicht flüchtigen Speicher aufweist, der auch bei leerer Batterie ausgelesen werden kann, wodurch die Datensicherheit deutlich erhöht wird.

d. Bodenphysikalische und bodenchemische Charakterisierung der Untersuchungsstandorte

i Probennahme im Gelände

Bei der Probennahme für die oberirdische Biomasse wurden 2017 auch (möglichst steinfreie) Bodenproben aus -1 bis -6 und -6 bis -11 cm Bodentiefe in insgesamt drei von den Quadraten, in denen die Biomasse geerntet wurde (jeweils eine im 'T', 'M', 'K' Bereich des Transektes), entnommen und im Labor bodenphysikalisch, bodenchemisch, und bezüglich Wasserhaushaltsparametern charakterisiert. Dazu wurden sowohl „ungestörte“ Zylinderproben, als auch „gestörte“ Proben durch Ausstechen eines Teils des Bodens (auch Löffelproben genannt) entnommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich in der Probe möglichst wenige Steine befanden, weil im Labor nur der Feinbodenanteil (Korngröße von 2 mm) aus den luftgetrockneten Proben ausgesiebt wurde. Die Menge an Probenmaterial wurde bei den Löffelproben so gewählt, dass eine genügend große Menge an lufttrockenem Feinboden (angegeben in Trockengewicht, TG) für die Korngrößenanalyse (30 g TG), die bodenchemischen Analysen (ca. 100 g TG) und das Bodenarchiv (195 ml bzw. ca. 100-200 g TG, je nach Boden) vorhanden war. Dazu war es nötig, das dafür benötigte Volumen bei der Entnahme der Löffelprobe im Gelände abzuschätzen, weil es auch davon abhängig war, wie viele Steine und Grobmaterial (Korngröße > 2 mm) sich in einer Probe befanden. Die volumensgetreuen Zylinderproben wurden für die Analyse des



Bodenwasserhaushalts (pF-Kurve, kF Wert) sowie für die Bestimmung der unterirdischen Biomasse benötigt. Der erste, oberste Zentimeter wurde nicht beprobt, da diese Stufe aufgrund der Bodenunebenheiten nicht eindeutig erfasst werden konnte. Außerdem war diese oberste Schicht häufig stark durch Streu, aber auch von Rhizomen durchsetzt, sodass keine eindeutige Abgrenzung zwischen Streuauflage und Boden möglich war, und sich dies negativ auf die Vergleichbarkeit der Proben zwischen den Standorten auswirken würde. Da die Böden in den Transekten z.T. nur wenige Zentimeter tief sind und teilweise auch große Steine vorhanden waren, war die Beprobung der Tiefenstufe 6-11 in vielen Fällen nicht möglich. Aufgrund der stark destruktiven Probenentnahme ist die nochmalige Nutzung eines Messquadrats, an dem Bodenproben entnommen wurden, für weitere Untersuchungen nicht möglich. Daher wurde ein genauer Workflow bei der Probenentnahme eingehalten. Vor der Entnahme der Bodenproben wurde zuerst an dem Messquadrat die oberirdische Biomasse abgeerntet, dann die Beprobung für die Module 3 (Bodenzoologie) und 4 (Bodenmikrobiologie) durchgeführt, und erst dann die Bodenproben genommen, wobei zu beachten war, dass für die Zylinderproben der Boden noch vollständig intakt sein musste. Da Stechzylinder mit einem Durchmesser von 5 cm (mit einem Volumen von 100 cm³) verwendet wurden, konnte die Beprobung auf dem 20x20 cm großen Erntequadrat mit etwas Vorsicht, und einer gemeinsamen Probenwerbung mit Bodenzoolog*innen und Bodenmikrobiolog*innen technisch problemlos durchgeführt werden. Das entstandene Loch wurde wieder mit Steinen aus der Umgebung aufgefüllt. Das Verfüllen mit Boden aus der Umgebung würde zu einer Verfälschung der Standortbedingungen führen und wurde daher vermieden. Außerdem verhindern die Steine auch eine irrtümliche Wiederbeprobung an der gleichen Stelle. Weitere Details zur Probenentnahme finden sich in Newesely et al. 2019.

ii Vorbereitung der Proben für die Laboranalysen

Die ungestörten Zylinderproben wurden vor den weiteren Untersuchungen vollständig im Wasserbad aufgesättigt, die gestörten Bodenproben luftgetrocknet und danach mit dem Rüttelsieb auf eine Korngröße von 2 mm gesiebt. Danach wurden die Proben bis zur weiteren Analyse in beschrifteten, dichten Kartonschachteln bis zur Analyse gelagert. Die Proben für das Bodenarchiv wurden nach dem Trocknen und Sieben auf 2 mm in 195 ml Schraubgläser gefüllt, verschlossen und etikettiert.

iii Laboranalysen zur bodenphysikalischen Charakterisierung

An allen Bodenproben wurden umfangreiche und zeitaufwändige Laboranalysen zur Bodenphysik durchgeführt. In der Folge wird kurz auf die jeweils verwendete Methode hingewiesen, die Details dazu finden sich in Newesely et al. 2019. Für inhaltliche Fragen zu den erhobenen Parametern sei auf Amelung et al. 2018 verwiesen.

- Die Messung der Bodentextur, also der Korngrößenzusammensetzung der mineralischen Bodensubstanz erfolgte nach DIN 4220:1998-07 und DIN 4220:2008-11 mit Hilfe des automatischen Messsystem PARIO {METER Group}
- Die Wasserretentionskurve (pF-Kurve) wurde mit Hilfe des Analysesystems HYPROP® / HYPROP® 2 gemessen. Aus der pF-Kurve lassen sich wichtige Charakteristika (v.a. des Wasserhaushaltes) eines Bodens ableiten, wie z.B. die Porosität (Verhältnis von Hohlraumvolumen zu Gesamtvolumen), die Lagerungsdichte, die Feldkapazität und der permanente Welkepunkt).

iv $\delta^{15}\text{N}$ Untersuchungen

Die Untersuchung des stabilen Stickstoffisotops $\delta^{15}\text{N}$ erfolgte in einem Isotopen Speziallabor der Freien Universität Bozen (Italien) mittels einem Elementar Analyzer (Organic Elemental Analyzer Flash 2000" {ThermoFisher Scientific}) und einem Delta V Advantage CF-IRMS (continuous flow isotopic ratio mass spectrometer {ThermoFisher Scientific}). Das $\delta^{15}\text{N}$ Signal erlaubt Rückschlüsse auf das Ausmaß des mikrobiellen Recyclings, da Mikroben gegen ^{15}N diskriminieren, was sich daher im Boden anreichert.

v Laboranalysen zur bodenchemischen Charakterisierung

Die bodenchemischen Untersuchungen wurden in einem Speziallabor (Versuchszentrum Laimburg, Auer, Italien) durchgeführt. Tabelle 1 gibt die analysierten Parameter an, sowie die am Versuchszentrum Laimburg verwendeten Analysemethoden.

Tabelle 1: Liste der Parameter der bodenchemischen Untersuchung sowie die Methode bzw. Norm der Analyse

Analyse	Norm / Methode
pH-Wert (in CaCl ₂)	VdLufa Methodenbuch I A5.1.1:1991 mit 0.01 M CaCl ₂ x 2 H ₂ O im Verhältnis 1 zu 2,5 (g Boden zu mL Lösung)
pH-Wert (in KCl)	VdLufa Methodenbuch I A5.1.1:1991 mit 1 M KCl im Verhältnis 1 zu 2,5 (g Boden zu mL Lösung)
Organischer Kohlenstoff ausgedrückt als Humus (Bodenorganische Substanz OSB bzw. englisch soil organic matter SOM) (Gewichts% TS)	ISO 10694:1995 Umrechnungsfaktor 1.72 (SOM = C _{org} x 1,72)
Phosphor im CAL-Auszug ausgedrückt als P ₂ O ₅ (mg/100 g)	ÖNORM L 1087:2012 A.5
Gesamt-Stickstoff (N) (%)	ÖNORM EN 16168: 2012 bzw. DIN EN ISO 16634-1:2009 (Elementaranalysator nach Dumas)
C/N-Verhältnis	Berechnung aus Humus (Umrechnungsfaktor für C 1.72) und Gesamt-N
Calcium im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Magnesium im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Kalium (K) im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Natrium (Na) im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Aluminium (Al) im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Eisen (Fe) im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Mangan (Mn) im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
H+ im BaCl ₂ -Auszug (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Kationenaustauschkapazität (KAK) (mmolc/kg)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Basensättigung (%)	ÖNORM L1086-1:2014 (ungepuffert)
Calcium (Ca) im KW-Auszug (g/kg TM)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018 (Mikrowellenaufschluss mit Königswasser und Endbestimmung mit ICP-OES)

e. Biomasse

Eine der wichtigsten Kennzahlen eines Ökosystems ist dessen Produktivität. Sie wird hier aus praktischen Gründen der lebenden oberirdischen pflanzlichen Biomasse zum Biomassehöhepunkt (peak biomass) gleichgesetzt. Allerdings ist eine genaue Auswahl des Erntezeitpunktes entscheidend für die Güte der Messungen. Dieser Zeitpunkt variiert von Jahr zu Jahr in Abhängigkeit von der Schneemenge und von den Frühjahrstemperaturen. Der Erntezeitpunkt sollte daher so gewählt werden, dass auch die pessimalsten Teilflächen (mit der kürzesten Vegetationsperiode) eine Chance haben, ihren saisonalen Biomassehöhepunkt zu erreichen. Da der Schnee dort vielfach erst Mitte Juli schmilzt, wurde die Ernte in der Regel in der mittleren Augustdekade durchgeführt. Der Erntezeitpunkt sollte so festgesetzt werden, dass an den günstigsten Randstandorten die Seneszenz noch gering ist. Ein guter phänologischer Marker ist der Zeitpunkt, an dem am inneren/unteren Rand der Transekte *Gnaphalium supinum* seine Infloreszenzen gestreckt hat (Zustand 3-4 in Abbildung 9). Zu dem Zeitpunkt haben sich die Blütenstandstiele der ursprünglich sitzenden Infloreszenzen auf etwa 4-5 cm verlängert (vgl. Abbildung 9).

i Auswahl der Beprobungsflächen innerhalb der Transekte

In der Regel wurden pro Transekt 6 pflanzliche Biomasseernten pro Jahr durchgeführt. An nur 3 davon (in 'T', 'M', 'K') erfolgen die anderen Beprobungen (Bodenzoologie, Bodenmikrobiologie, Bodenphysik, Bodenchemie, unterirdische Biomasse). Die Auswahl dieser 20x20 cm Flächen erfolgte so, dass innerhalb der Transekte noch vergleichbar gute Flächen für weitere Beprobungen von pflanzlicher Biomasse in Folgejahren möglich sind. Proben der übrigen Forschungsbereiche (Bodenzoologie, -mikrobiologie, -physik und -chemie) werden nur in größeren zeitlichen Abständen (z.B. alle 10 oder mehr Jahre) wiederholt. Das zentrale Problem bei der Festlegung der 20x20 cm Erntequadrate und damit der Position aller anderen Erstbeprobungen ist, dass es völlig ausgeschlossen ist, bei der gegebenen heterogenen Oberflächenstruktur und der begrenzten Transektfläche diese Flächen zufällig auszuwählen. In den Flächen finden sich 'zufällig' (i) Felsflächen, (ii) kahle Flächen, (iii) Flächen mit Zwergsträuchern, (iv) Polsterpflanzen, (v) extrem üppige Einzelhorste von Gräsern, (vi) Moos-Mulden oder (vii) Flächen mit Tierkot nebeneinander, die eine Vergleichbarkeit der Proben massiv beeinflussen würden (vgl. Körner 2019). Zudem durfte unter der Fläche der Pflanzenernte kein größerer Stein im Boden sein, da dies die Probennahme für unterirdische (Zylinder) Proben unmöglich macht. Es mussten also aus Vergleichsgründen Flächen des Typs (i) bis (vii) ausgeschlossen werden. Ohne so ein Ausschlussverfahren würden auch die unterirdischen Proben wegfallen oder sinnlos werden. Die verbliebene Fläche akzeptabler Oberflächentypen reicht von 0-100%. Das heißt es gibt 1 m Quadrate die völlig ausgeschlossen werden mussten (Felsplatten) und andere in denen die ganze Fläche zur Verfügung stand. Da die Vegetation im cm Bereich variiert, von nichts bis üppigst, galt es

bei der Platzierung der Erntequadrate Extreme in beide Richtungen zu vermeiden. Dies bedeutete, dass die 20x20 cm Quadrate nicht immer im Zentrum einer 50x50 cm Teilfläche liegen konnten, manches Mal sogar in den Grenzbereich zweier 50x50 cm Teilflächen rutschten, was immer so vermerkt wurde. Eine prinzipienlose Platzierung der Ernte/Probe-Flächen würde in diesem Gelände, bei dieser Beprobungsdichte (Machbarkeit) keinerlei brauchbare Resultate liefern. Da diese Entscheide für die pflanzliche Biomasse von Jahr zu Jahr neu zu treffen sind, und Flächen die 1 oder 2 Jahre vorher beprobt wurden vermieden werden müssen, schließt der verfügbare Platz einen langfristigen subjektiven Bias aus. Irgendeinmal kommen alle verfügbaren Flächen dran, die das obige Ausschlussverfahren passieren.



Abbildung 9: Phänologieabfolge von *Gnaphalium supinum* von der Blüte (1, ganz links) bis zum leeren Fruchtkörper (5, ganz rechts). Nach der Befruchtung streckt sich der Stängel (2-4). Idealerweise soll in den Phasen 3-4 geerntet werden. Dies ist ein sehr kurzes Zeitfenster von etwa einer Woche. Phase 5, in der bereits die Früchte ausgestreut sind, ist für die Ernte zu spät (Foto Körner), (aus Newesely et al. 2019)

Alle Beprobungspunkte wurden detailliert in den Standardprotokollen eingetragen (vgl. Abbildung 8, Mitte). Die ausgefüllten Protokollblätter für die Untersuchungen 2017 und 2018 finden sich in Newesely et al. 2019. Für die Auswertung wurden die einzelnen Subquadrate dann den Kategorien 'K' (Kopf), 'M' (Mitte) und 'T' (Tief) zugeordnet, um entsprechend gepoolt zu werden. Alle Untersuchungen der Module 1, 3 (Zoologie) und 4 (Bodenmikrobiologie), sowie die Entnahme der Bodenproben wurden 2017 auf ein und denselben Subquadraten durchgeführt (vgl. oben). Daher sind diese Subquadrate aus der Beprobung 2017 für den weiteren Verlauf des Monitorings nicht mehr verwendbar. Weiters war zu beachten, dass der mittlere Streifen unterhalb von 'K' und oberhalb von 'T' (B1 – B5...8; im Plan schraffiert dargestellt, vgl. Abbildung 8) ausschließlich der nicht destruktiven Untersuchung diene. In diesem Streifen durften weder Ernten noch sonstige Probenahmen erfolgen. Zudem wurde darauf geachtet, bei der Beprobung nicht in die Probenflächen zu treten, um Artefakte zu vermeiden.

An manchen der Standorte findet eine Beweidung durch landwirtschaftliche Nutztiere, oder auch durch Wildtiere statt, wodurch es zu einem Verlust an pflanzlicher Biomasse kommt. Daher wurde im Innergschlöss, wo die Schafe bereits im Gelände sind bevor der Schnee weg ist, ein Elektroweidezaun bis zur Ernte aufgestellt (ca. 6 Wochen). In Oberettes kommt es ebenfalls zu einem sehr frühen Auftrieb der Schafe, die einen hohen Weidedruck ausüben. Hier wurden unmittelbar nach dem Ausapern Weideausschlusskörbe in den Transekten auf denjenigen Subquadraten aufgestellt, die im entsprechenden Jahr geerntet wurden. Diese Maßnahme muss jedenfalls so früh gesetzt werden, dass kein Fraß durch landwirtschaftliche Nutztiere oder durch Wildtiere erfolgen kann. Auch auf der Furka kamen Weideausschlusskörbe zum Einsatz, allerdings nur für ca. 2 Wochen, da das Weidemanagement dort sehr stark geregelt ist und die Schafe erst später aufgetrieben werden. Die Weideausschlusskörbe wurden aus einem verzinkten Metallgitter mit einer Maschenweite von 2,5 cm hergestellt. Sie werden im Labor auf die geeignete Größe zugeschnitten, in ungefalteter Form ins Gelände transportiert (Abbildung 10, links), im Gelände in die entsprechende rechteckige Form (Länge x Breite x Höhe = 28,6 x 28,6 x 18,2 cm) gebogen und die Korbform mit Draht fixiert. Die Weideausschlusskörbe werden auf den ausgewählten Subquadraten mit jeweils 4 Zeltheringen fixiert.



Abbildung 10: Transport der Weideausschlusskörbe in zerlegter Form in das Untersuchungsgebiet Oberettes (links), eingebaute Weideausschlusskörbe auf einem der Transekte (Mitte) (Fotos Eurac Research) und „eingewachsener“ Weideausschlusskorb unmittelbar vor der Ernte (rechts, Foto Körner). Die Körbe werden für die Ernte entfernt und für das darauffolgende Jahr eingelagert.

ii Oberirdische Biomasse: Probennahme und -verarbeitung

Aus praktischen Gründen wurde im Feld die gesamte oberirdische Phytomasse (Biomasse und Nekromasse) sowie Teile der Streu (Litter) auf einer Fläche von 20x20 cm unmittelbar an der Bodenoberfläche abgeschnitten. Dafür werden je 4 Nägel an den Eckpunkten eines 20x20 cm Quadrats in den Boden eingestochen und diese dann mit einer Schnur verbunden. Geerntet wurde nach dem Prinzip 'virtueller Quader'. Das heißt, es wird scharf an der Kontur des Erntequadrates vertikal alles was nach innen ragt einbezogen, alles was nach außen ragt verworfen. Bei bodengleicher Ernte gelangen auch ungewollt Moose und Flechten in das Erntegut, welche erst beim Sortieren ausgeschieden werden.

Es wurde so abgeschnitten, dass kein Nachbessern nötig war, weil die kleinen Stoppelreste sonst kaum zu sortieren wären. Das so gewonnene Erntegut wurde in Papiersäcken verpackt, beschriftet und so rasch als möglich kühl gelagert (Kühlbox). Nach der Rückkehr aus dem Gelände wurden die Proben im Kühlschrank möglichst nahe an 0°C aufbewahrt. Die Aufarbeitung war jeweils längstens eine Woche nach der Ernte abgeschlossen.



Abbildung 11: Optimalvegetation, Graminoid dominiert (links), Schneetälchenboden mit 80 % *Alchemilla pentaphyllea* (rechts). (Fotos Körner, aus Newesely et al. 2019)

Die Ernteproben wurden im Labor in Gräser und Kräuter aufgetrennt. Moose und Flechten wurden verworfen, da es unmöglich ist, deren diesjährige Teile zu definieren. Es wurden auch keine mehrjährigen oberirdischen Organe gesammelt. Wesentliche Details zur Sortierung finden sich in Newesely et al. 2019. Abbildung 11 vermittelt einen Eindruck von sortierten Proben. Das Sortiergut wurde dann bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (IBP Standard nach Milner et al., 1968). Danach wurde das Trockengewicht (TG) mittels Wägen auf einer Analysewaage auf 0,1 mg genau bestimmt und für eine weitere Verarbeitung trocken und genau beschriftet gelagert (vgl. Newesely et al. 2019).

iii Unterirdische Biomasse: Probennahme

Zwar wurde eine Proportionalität der oberirdischen mit der unterirdischen Biomasse angenommen, um dies aber zu testen, wurde an allen Standorten einmalig auch die unterirdische Biomasse ermittelt. Dazu wurden mittels 100 cm³ Bodenstechzylinder nach Abstechen des obersten Zentimeters (Rohhumus, allfällige Stoppelreste) im Erntefeld der oberirdischen Biomasse die Wurzelproben gewonnen. Der Bodenzylinder wurde mit dem Hammer unter Zuhilfenahme

eines Schutzblocks in den Boden eingeschlagen. Aufgrund der Zylinderlänge von 5 cm ergaben sich damit die beiden Bodentiefen von -1 cm bis -6 cm und -6 bis -11 cm. Die Unterseite wird jeweils mit einem Messer oder einer Spachtel unmittelbar an der Stechzylinderunterkante abgeschnitten. Diese Zylinderproben wurden aus dem Zylinder gedrückt und in eindeutig mit Messfläche, Subquadrat und Tiefe beschrifteten Plastikbeuteln verpackt. Die Proben wurden so rasch als möglich gekühlt. Aus rein logistischen Gründen wurden sie im Labor bei $<-20^{\circ}\text{C}$ eingefroren, da die Aufarbeitung der oberirdischen Pflanzenmasse Priorität hatte. Vor der Bearbeitung wurden die Proben im 4°C Kühlschrank langsam, tranchenweise (vom Vortag über Nacht) aufgetaut. Die Gewinnung sauberer Biomasse erfolgte mehrstufig, wie in Newesely et al. 2019 beschrieben. Ein sehr genaues Befolgen des Protokolls ist von größter Bedeutung, da Wurzeln ein relativ geringes TG haben, und jede Verunreinigung mit Steinchen, Erde oder Sand zu einer starken Verfälschung der Messergebnisse führt. Nach dem Trocknen der Proben bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank bei 80°C wurden die Proben auf 0,1 mg genau gewogen.



Abbildung 12: Typische 1-6 cm Probe nach der Reinigung. Kleine organische Totmaterialreste gleichen kleine Wurzelverluste beim Sieben aus (links); Typische 6-11 cm Probe nach der Reinigung (rechts). (Foto Körner, aus Newesely et al. 2019)

Ergebnisse

a. Klimatische Standortparameter

Die gemessenen Lufttemperaturen erlauben eine grundsätzliche klimatische Standortcharakterisierung. In Abbildung 13 bis Abbildung 15 sind die Verläufe der Lufttemperaturen für die drei Standorte im Nationalpark Hohe Tauern, sowie für die beiden Zusatzstandorte in der Schweiz und in Südtirol für die Periode August 2016 bis August 2018 dargestellt.

Die Daten für das Innergschlöss, das Untersulzbachtal, die Furka und Oberettes entstammen eigenen Messstationen, die unmittelbar am Standort der Transekte stehen. Für das Seebachtal wurden die Daten der ÖBB Station Liesgele 1 herangezogen. Um auch hier von konsequent mit eigenen Daten arbeiten zu können, wurden am 9.8.2018 auch im Seebachtal ein eigener Logger zur Erfassung von Lufttemperatur und -feuchte aufgestellt. Die Abbildungen zeigen, dass der Jahresverlauf der Lufttemperatur an allen Standorten den klassischen Verlauf für ein Jahreszeitenklima abbildet, mit der Abnahme der Lufttemperatur in der Winterperiode und dem Anstieg der Lufttemperaturen bis Mitte August und der nachfolgenden Lufttemperaturabnahme im Herbst.

Im Gegensatz zum meteorologischen Standard wird aufgrund des Starts der Messungen im August 2016 für die Berechnung der relevanten Temperaturmittel jeweils die Periode 1. August bis 31. Juli verwendet. Dies ändert aber rein rechnerisch nichts daran, dass jeweils die Temperaturen über 365 Tage (bzw. 12 Monate) gemittelt werden. Nach einer längeren Messreihe im Rahmen des Monitorings kann die Mittelwertbildung auch, wie in der Meteorologie üblich, auf ein Kalenderjahr bezogen werden, allerdings verliert man den Vergleich mit den Messungen August - Dezember 2016.

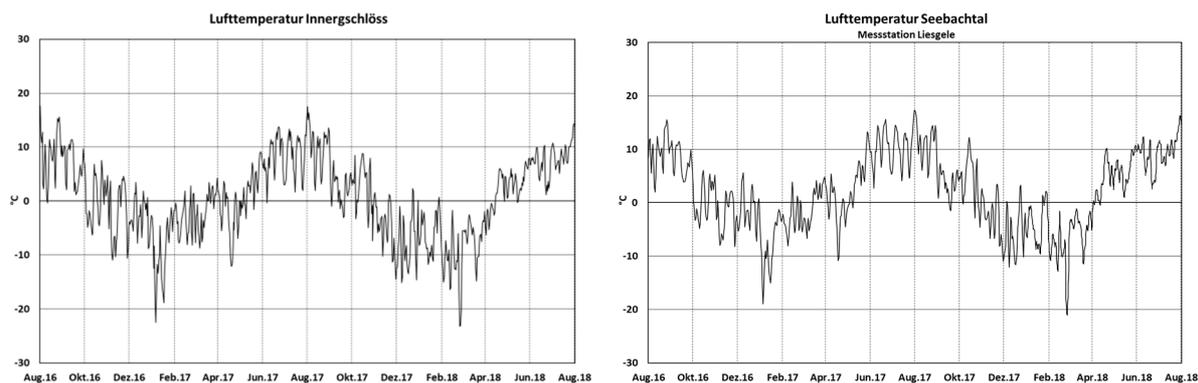


Abbildung 13: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Innerschlöss (2350 m üNN, links), Seebachtal (2300 m üNN, die Daten entstammen der meteorologischen Station Liesgele 1 / ÖBB, 2290 m üNN) (rechts)

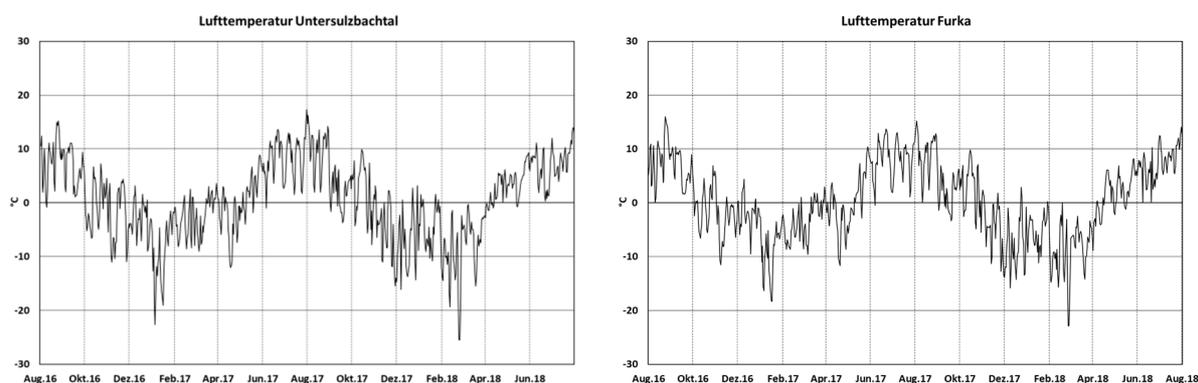


Abbildung 14: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Untersulzbachtal (2380 m üNN, links), Furka (2460 m üNN, rechts)

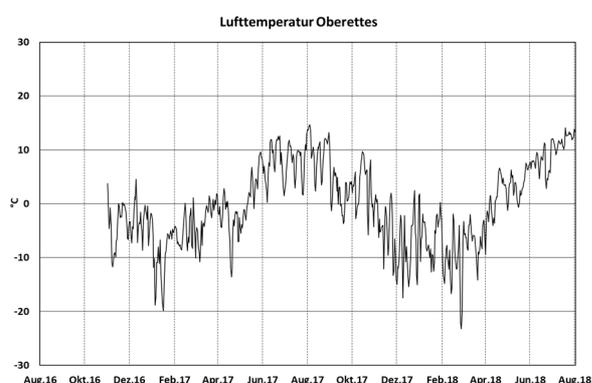


Abbildung 15: Lufttemperatur Im Untersuchungszeitraum Oberettes (2700 m üNN)

Es zeigte sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Messjahren 2016/17 und 2017/18 (Abbildung 16). Im Messjahr 2016/17 lagen die Mittelwerte der Lufttemperatur an allen Standorten über dem Gefrierpunkt, wogegen das Messjahr 2017/18 an allen Standorten deutlich kühler ausfiel, mit Werten um 0,5 bis 1,2 K niedriger, als 2016/17. An den Standorten Innerschlöss und Furka lagen die Mittelwerte der Lufttemperatur im Messjahr 2017/18 mit $-0,04^{\circ}\text{C}$ und $-0,25^{\circ}\text{C}$ sogar unter dem Gefrierpunkt.

Für die Vegetationsentwicklung ist die Temperatur, die von den Pflanzen tatsächlich erlebt wird, von Bedeutung. Diese Bestandes- und Bodentemperaturen unterscheiden sich deutlich von der Lufttemperatur. Daher wurden auf allen Transekten idealerweise an 3 Stellen entlang des Gradienten vom lokalen Optimum der Vegetationsentwicklung 'K' über einen mittleren Bereich 'M' zum lokalen Pessimum der Vegetationsentwicklung 'T' Bodentemperaturen in einer Tiefe von 3-4 cm gemessen. In dieser Bodentiefe befinden sich die Blattmeristeme der Graminoiden (Gräser und Seggen), sowie die Apikalmeristeme der meisten krautigen Arten. Der oberste Bodenbereich ist biologisch der aktivste: hier befindet sich eine hohe Feinwurzelmasse, aber auch eine hohe mikrobielle und bodenzoologische Aktivität.



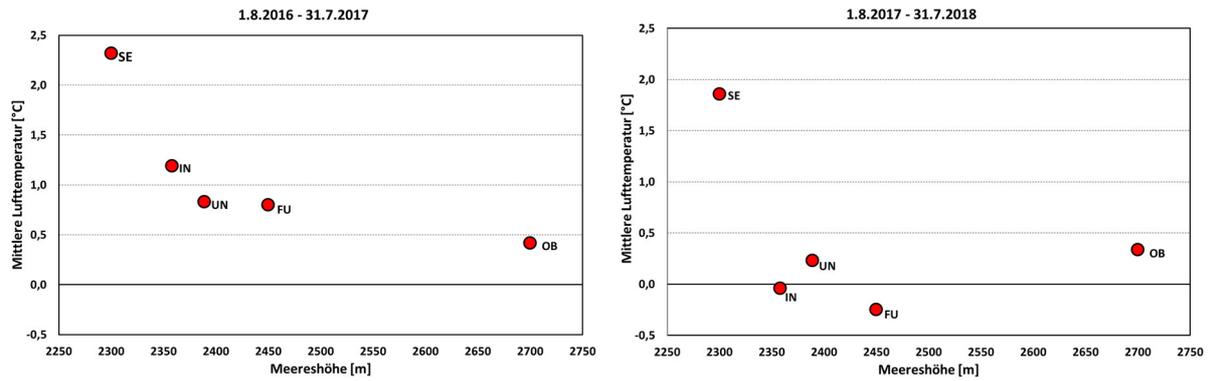


Abbildung 16 (links): Vergleich der mittleren Lufttemperatur zwischen allen Standorten vom 1.8.2016 bis 31.7.2017 (Messjahr 2016/17, links), und vom 1.8.2017 bis 31.7.2018 (Messjahr 2017/18, rechts)

Tabelle 2: Gesamtübersicht über die klimatischen Standortfaktoren der Transekte an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innerschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) entlang der Gradienten der 'Habitatgunst' von K (optimal) über M (Mitte) und T (pessimal) für alle Transekte im Messjahr 2016/17. Die Wachstumsperiode entspricht dem Zeitraum, in dem die Tagesmittelwerte der Bodentemperaturen über 5°C waren. Für die durchgestrichenen Zellen waren keine Daten vorhanden, da entweder noch keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat. Die mittlere Boden- und Lufttemperatur wurde für die Periode von 1.8.2016 bis 31.7.2017 gemittelt.

2016/17	mean temp (season) [°C]				yearly mean temp. [°C]				Airtemp
	Mittlere Bodentemperatur (Wachstumsperiode) [°C]				Mittlere Bodentemperatur (1.8.2016 - 31.7.2017) [°C]				Mittlere Lufttemperatur
	K	M	T	Mittelwert	K	M	T	Mittelwert	[°C]
IN / 2358m	11,4	11,4	11,0	11,3	3,9	3,6	3,1	3,6	1,19
IN1	11,2	/	10,9		3,7	/	3,0		
IN2	10,8	10,8	10,1		3,5	3,5	2,7		
IN3	11,5	/	10,5		4,0	/	3,0		
IN4	11,6	/	12,0		4,3	/	3,2		
IN5	11,7	12,0	11,4		4,3	3,8	3,4		
SE / 2300m	10,3	10,0	9,8	10,1	3,3	3,2	3,1	3,2	2,32
SE1	10,6	9,8	10,0		3,9	3,3	3,4		
SE2	10,1	10,3	9,6		2,8	3,2	2,9		
SE3	/	/	/		/	/	/		
UN / 2389m	11,1	11,2	11,2	11,2	4,2	4,3	3,6	4,0	0,83
UN1	12,3	11,7	11,6		4,8	4,7	3,4		
UN2	11,1	11,0	11,2		4,0	4,4	3,7		
UN3	11,5	/	11,9		4,8	/	4,1		
UN4	10,3	/	10,5		3,8	/	3,2		
UN5	10,5	/	10,0		3,8	/	3,0		
UN6	10,8	10,9	11,8		3,8	3,7	4,0		
FU / 2450 m	12,0	/	11,3	11,6	4,1	/	3,5	3,8	0,80
FU1	12,2	/	10,9		4,2	/	3,5		
FU2	/	/	11,6		/	/	4,0		
FU3	11,5	/	11,0		3,6	/	2,6		
FU4	12,2	/	11,5		4,7	/	3,9		
FU5	/	/	/		/	/	/		
OB / 2700 m	10,7	11,1	10,0	10,6	2,3	2,4	2,2	2,3	0,42
OB1	11,1	11,1	10,0		2,3	2,4	2,3		
OB2	10,4	/	10,0		/	/	2,2		
OB3	/	/	/		/	/	/		

Tabelle 2 und Tabelle 3 erlauben einen detaillierteren Vergleich sowohl der Transekte innerhalb eines Standortes, als auch zwischen den Standorten. Deutlich zeigt sich die klassische ‚lapse rate‘ der Lufttemperatur, die mit der Meereshöhe abnimmt, und zwar vom niedrigsten Standort dem Seebachtal auf 2300 m üNN mit 2,32°C im ersten Messjahr (bzw. 1,86 °C im zweiten Messjahr) zum höchsten Standort Oberettes auf 2700 m üNN mit 0,42°C (2016/17) bzw. 0,34°C (2017/18).

Tabelle 3: Gesamtübersicht über die klimatischen Standortfaktoren der Transekte an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innerschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) entlang der Gradienten der ‚Habitatgunst‘ von K (optimal) über M (Mitte) und T (pessimal) für alle Transekte im Messjahr 2017/18. Die Wachstumsperiode entspricht dem Zeitraum, in dem die Tagesmittelwerte der Bodentemperaturen über 5°C waren. Für die durchgestrichenen Zellen waren keine Daten vorhanden, da entweder noch keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat. Die mittlere Boden- und Lufttemperatur wurden für die Periode von 1.8.2017 bis 31.7.2018 gemittelt.

	mean temp (season) [°C]				yearly mean temp. [°C]				Airtemp
2017/18	Mittlere Bodentemperatur (Wachstumsperiode) [°C]				Mittlere Bodentemperatur (1.8.2017 - 31.7.2018) [°C]				Mittlere Lufttemperatur
	K	M	T	Mittelwert	K	M	T	Mittelwert	[°C]
IN / 2358m	11,0	10,8	11,2	11,0	3,7	2,8	2,3	3,0	-0,04
IN1	10,9	10,9	11,1		3,8	2,5	2,7		
IN2	/	10,3	11,0		/	3,0	2,0		
IN3	11,1	9,9	10,8		3,5	2,9	2,7		
IN4	11,1	11,3	11,5		3,8	2,7	2,4		
IN5	11,1	11,4	11,6		3,8	3,1	1,7		
SE / 2300m	10,0	9,5	9,9	9,8	3,1	3,0	2,9	3,0	1,86
SE1	10,6	9,4	10,2		3,3	2,7	2,5		
SE2	9,6	9,8	9,2		2,7	3,4	3,4		
SE3	9,9	9,4	10,2		3,2	2,8	2,8		
UN / 2389m	10,6	10,2	10,7	10,5	3,7	3,4	3,3	3,4	0,23
UN1	/	9,7	9,8		/	3,2	2,8		
UN2	10,9	10,3	10,9		4,1	4,2	3,6		
UN3	10,6	/	11,4		3,4	/	3,7		
UN4	10,3	9,6	10,6		3,7	2,6	2,9		
UN5	10,6	/	10,3		3,4	/	3,2		
UN6	/	11,1	11,1		/	3,4	3,4		
FU / 2450 m	11,2	/	11,3	11,3	3,9	/	2,8	3,3	-0,25
FU1	11,8	/	11,4		4,3	/	2,9		
FU2	10,1	/	11,3		3,2	/	3,4		
FU3	11,8	/	11,7		3,5	/	2,0		
FU4	11,1	/	10,9		4,4	/	2,7		
FU5	/	/	/		/	/	/		
OB / 2700 m	9,6	9,4	10,2	9,7	2,0	2,8	2,7	2,5	0,34
OB1	/	9,7	9,8		/	3,2	2,8		
OB2	9,7	9,0	9,7		1,3	2,4	2,4		
OB3	9,5	/	10,9		2,8	/	3,0		

Gerade im zweiten Messjahr zeigte sich aber, dass die Lage des Standortes auf der Nord- bzw. Südabdachung der Alpen und damit einhergehende unterschiedliche Großwetterlagen, sowie die unterschiedlichen Expositionen einen Einfluss auf die mittlere Lufttemperatur haben, und damit die klassische ‚lapse rate‘ Regel der Lufttemperatur überlagern können. So war die mittlere Lufttemperatur im Jahr 2018 auf den Standorten Furka, Innerschlöss und Untersulzbachtal tiefer, als auf dem höchsten Standort Oberettes.

Auf allen Transekten und Standorten sind in beiden Messjahren die Bodentemperaturen im Mittel deutlich höher als die Lufttemperatur. Interpretiert man die Bodentemperaturen zudem auch als Proxy für die Bestandestemperaturen wird deutlich, dass die niederwüchsigen Pflanzenbestände in der alpinen Stufe deutlich von der Lufttemperatur entkoppelt sind. Ökologisch relevant für das Pflanzenwachstum ist aber die mittlere Bestandes- und Bodentemperatur während der

Wachstumsperiode, also dem Zeitraum, in dem die gemessenen Bodentemperaturen im Tagesmittel über 5°C waren (vgl. Tabelle 2 für 2017 und Tabelle 3 für 2018).

Die mittleren Bodentemperaturen waren 2017 in der Wachstumsperiode mit 11,6°C am höchsten auf der Furka, gefolgt vom Innerschlöss (11,3°C), dem Untersulzbach (11,1°C), Oberettes (10,6°C) und dem Seebachtal mit 10,1°C (Tabelle 2). Auch hier sieht man sehr deutlich, dass Lufttemperaturwerte nicht viel über die für das Wachstum relevanten Temperaturen aussagen.

Prinzipiell lagen die mittleren Bodentemperaturen in der Wachstumsperiode bei allen Standorten niedriger als 2017. Aber auch 2018 wurden die höchsten mittleren Bodentemperaturen in der Wachstumsperiode auf der Furka (11,3°C) gemessen, gefolgt vom Innerschlöss (11,0°C), dem Untersulzbach (10,5°C), Seebachtal (9,8°C) und Oberettes (9,7°C) (Tabelle 2). Obwohl die Reihenfolge der Standorte anhand des Mittelwertes der Lufttemperatur zwischen 2017 und 2018 sehr unterschiedlich war, zeigte sich, dass die Reihenfolge der Standorte anhand des Mittelwertes der Bodentemperatur sehr konservativ war. Es bleibt die spannende Frage, inwieweit dies tatsächlich so konservativ über mehrere Jahre ist. Eine Antwort darauf kann nur das langfristige Monitoring geben.

Für das pflanzliche Wachstum ist vor allem die Periode zwischen dem Ausapern und dem Zeitpunkt des Vegetationshöhepunkts, der auch dem Erntezeitpunkt entspricht, relevant. Neben der Temperatur spielt für die pflanzliche Produktivität auch die Dauer der Wachstumsperiode eine wichtige Rolle. Als Maß für die Wärmemenge, die den Pflanzen für das Wachstum zur Verfügung steht, wurde daher die Wärmesumme aus den Bodentemperaturen berechnet, indem die Bodentemperaturen, bei denen die Werte $\geq 5^\circ\text{C}$ waren, addiert und in Gradstunden ($\text{GH}_{\geq 5}$) ausgedrückt wurden (siehe Abbildung 17, Tabelle 4 und

Tabelle 5). Bei der Berechnung wurden die Gradstunden der Bodentemperaturen der 'K', 'T' und 'M' Bereiche aller Transekte für jedes Gebiet gepoolt. Die vollständigen Kurven der Bodentemperatur für die einzelnen Transekte sind den Abbildungen im Anhang (Abbildung 33ff) zu entnehmen. In Abbildung 17 zeigt die Länge der Balken den Unterschied zwischen dem jeweiligen 'K'-Bereich mit optimalen Bedingungen (kürzeste Schneedeckenandauer) und dem 'T'-Bereich am Grund des Schneeschmelzgradienten mit der kürzesten Wachstumsperiode (pessimaler Bereich). Dabei sind deutliche Unterschiede zwischen den beiden Jahren, aber auch innerhalb der Standorte entlang der Ausaperungsgradienten zu erkennen. Für Oberettes waren die Wärmesummen im Vergleich der beiden Jahre sehr ähnlich. Im Untersulzbachtal waren 2018 im 'K' Bereich höhere Wärmesummen als 2017. Auf der Furka und im Seebachtal lagen hingegen die Wärmesummen 2018 deutlich unter jenen von 2017.

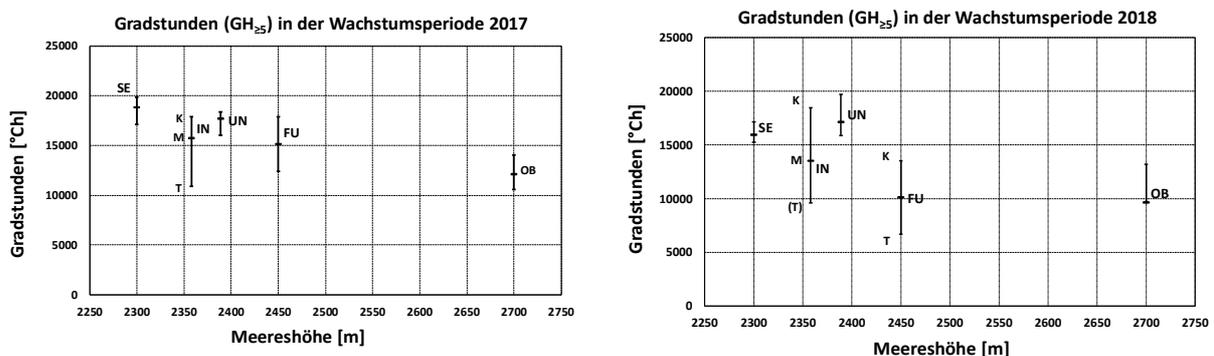


Abbildung 17: Gradstunden ($\text{GH}_{\geq 5}$) in [$^\circ\text{Ch}$] aller Standorte (Seebachtal SE, Innerschlöss IN, Untersulzbach UN, Furka FU, Oberettes OB). $\text{GH}_{\geq 5}$ sind ein Maß für die Wärmesummen, die den Pflanzen für das Wachstum zur Verfügung stehen. Für die Berechnung wurden nur Bodentemperaturen $\geq 5^\circ\text{C}$ bis zur Ernte 2017 (links), sowie bis zur Ernte 2018 (rechts) berücksichtigt und zudem für die 'K', 'T' und 'M' pro Standort gepoolt. Die Balken geben die Variabilität für die einzelnen Gebiete entlang des Gradienten vom lokalen Optimum der Vegetationsentwicklung K über einen mittleren Transektbereich M bis zum lokalen Pessimum der Vegetationsentwicklung T an. Im Innerschlöss wurde 2018 für den pessimalen Bereich zu früh geerntet (in der Grafik durch die Notation (T) gekennzeichnet)

Die Unterschiede zwischen dem botanisch optimalen 'K'-Bereich und dem pessimalen 'T'-Bereich waren im Innerschlöss und im Untersulzbachtal stark und im Seebachtal nur gering ausgeprägt. Zudem war es für das Seebachtal auch nicht möglich, die exakte Schneedeckenandauer zu bestimmen. Aus den Bodentemperaturkurven ist abzulesen, dass der Transekt 2 sowohl 2017 als auch 2018 (Abbildung 39, Seite 55) während des gesamten Winters über längere Perioden schneefrei war. Ein Vergleich der botanisch pessimalen 'T'-Bereiche (Tabelle 4 und 5) zeigt, dass die Wärmesummen im Innerschlöss und im Untersulzbachtal in beiden Jahren ähnlich hoch waren, wogegen sie auf der Furka und im

Seebachtal 2018 generell geringer als im Vorjahr waren. Zudem wies die Furka 2018 im T-Bereich die geringsten Wärmesummen aller Standorte auf, wogegen dies 2017 bei Oberettes der Fall war.

Tabelle 4 und

Tabelle 5 geben einen detaillierten Überblick über die ökologisch relevanten klimatischen Standortparameter für alle Standorte und Transekte. Die „Länge der Wachstumsperiode“ gibt die Anzahl der Tage an, an denen die Bodentemperaturen in der Messtiefe von 3-4 cm im Tagesmittel über 5°C waren. Diese bildet die thermischen Bedingungen ab, während der die meisten Pflanzen physiologisch zu Wachstumsprozessen befähigt sind, sobald sie überhaupt aktiv sind. Die Zellstreckung, die notwendig für das pflanzliche Wachstum ist, braucht Temperaturen über 5°C. „Wachstumstage bis zur Ernte“ sind die Anzahl der Tage, an denen die Bodentemperaturen in der Messtiefe von 3-4 cm im Tagesmittel über 5°C waren bis zum Erntezeitpunkt. In den Zeilen für die Mittelwerte für die gesamten Standorte (z.B. „SE / 2300 m“) ist in Klammer die jeweilige Standardabweichung zwischen den Werten der einzelnen Transekte innerhalb desselben Standorts angegeben. Die „Gradstunden bis zur Ernte“ sind ein Maß für die kumulative Wärmesumme vom Zeitpunkt des Ausaperns an der betreffenden Stelle bis zum Tag der Ernte und entsprechen den GH_{≥5} bis zum Erntezeitpunkt.

Tabelle 4: Gesamtübersicht über die für das Wachstum der pflanzlichen Biomasse relevanten klimatischen Faktoren der Transekte an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innergschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) entlang der Gradienten der botanischen 'Habitatgunst' von K (optimal) über M (Mitte) und T (pessimal) für alle Transekte im Jahr 2017. Für die durchgestrichenen Zellen waren keine Daten vorhanden, da entweder noch keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat.

2016/17	length season [day]				Wachstumstage bis Ernte				Gradstunden			
	Länge der Wachstumsperiode [Tage mit t > 5°C]				Wachstumstage bis Ernte (Standardabweichung in Klammer)				Gradstunden bis zur Ernte [Summe der Bodentemperaturen ≥ 5°C]			
	K	M	T	Mittelwert	K	M	T	Mittelwert	K	M	T	Mittelwert
IN / 2358m	115	107	87	103	67 (3,4)	59 (0,0)	45 (3,5)	56 (1,4)	20244	17923	13124	17097
IN1	116	/	90		68	/	47		20326	/	13833	
IN2	108	106	82		61	59	44		17762	17373	12477	
IN3	114	/	91		66	/	50		20221	/	13413	
IN4	119	/	88		69	/	42		21142	/	13232	
IN5	121	108	88		69	59	42		21771	18472	12663	
SE / 2300m	131	128	121	127	76 (10,6)	74 (12,7)	72 (14,8)	74 (12,7)	20833	19818	18107	19586
SE1	119	116	108		68	65	61		19572	17806	16894	
SE2	143	141	134		83	83	82		22094	21830	19320	
SE3	/	/	/		/	/	/		/	/	/	
UN / 2389m	111	122	108	114	70 (4,5)	66 (11,8)	63 (7,2)	66 (6,3)	20690	20193	18291	19725
UN1	135	128	120		62	53	50		22452	18444	16769	
UN2	122	124	113		75	76	72		21587	21771	20312	
UN3	57	/	111		70	/	66		19831	/	19990	
UN4	120	/	103		72	/	64		19854	/	16919	
UN5	119	/	93		72	/	64		20178	/	16799	
UN6	116	116	109		68	69	64		20236	20365	18958	
FU / 2450 m	120	/	94	107	56 (5,5)	/	40 (7,2)	47 (7,1)	17908	/	12372	15140
FU1	119	/	99		56	/	47		18367	/	13986	
FU2	/	/	99		/	/	42		/	/	12897	
FU3	108	/	82		50	/	30		15562	/	9511	
FU4	134	/	98		61	/	42		19796	/	13093	
FU5	/	/	/		/	/	/		/	/	/	
OB / 2700 m	64	55	53	57	56 (14,1)	/	45 (1,4)	50 (6,4)	14031	12097	10611	12246
OB1	55	55	54		46,0	46,0	46,0		12076	12097	10911	
OB2	74	/	52		66,0	/	44,0		15987	/	10311	
OB3	/	/	/		/	/	/		/	/	/	

Mit Ausnahme von Oberettes, war die Wachstumsperiode 2017 an allen übrigen Standorten im Mittel deutlich länger als 2018 (SE: +25 Tage, IN: +23 Tage, UN: +13 Tage, FU: +19 Tage, OB: -15 Tage). Trotz der absoluten Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsjahren blieb aber das „ranking“ der Standorte anhand der Länge der Wachstumsperiode in 2017 und 2018 stabil, mit der längsten Wachstumsperiode im Seebachtal, gefolgt vom Untersulzbachtal, der Furka, dem Innergschlöss und Oberettes. Die Wachstumsperiode war in Oberettes 2018 um 30 Tage kürzer als im Seebachtal, und um immerhin noch 16 Tage kürzer als die nur 250 Höhenmeter tiefer liegende Furka und 2017 sogar 70 Tage kürzer, als im Seebachtal und um 50 Tage kürzer, als auf der Furka.

Die Anzahl der Wachstumstage bis zur Ernte war mit Ausnahme des Untersulzbachtales 2017 immer höher als 2018. Die Differenz zwischen 2017 und 2018 betrug auf der Furka -13 Tage, im Seebachtal -6 Tage, in Oberettes -4 Tage, im Innergschlöss -2 Tage und im Untersulzbach +5 Tage. Für das Wachstum spielen aber nicht nur die schneefreien Tage ab der Schneeschmelze eine Rolle, sondern auch die Wärmesumme, die sich in der schneefreien Zeit ergibt. Die Wärmesumme (GH_{≥5}) bis zur Ernte war an fast allen Standorten im Mittel (Ausnahme UN) im Jahr 2017 höher als 2018. Auf der Furka war die Wärmesumme 2018 im Mittel um 5037 Kh, im Seebachtal um 2487 Kh, auf Oberettes um 1389 Kh und im Innergschlöss um 986 Kh geringer als 2017. Nur im Untersulzbachtal lag sie 2018 um 208 Kh höher als 2017. Wachstumstage und Wärmesumme bis zur Ernte sind - nicht überraschend - hoch korreliert (r = 0,89).

Tabelle 5: Gesamtübersicht über die für das Wachstum der pflanzlichen Biomasse relevanten klimatischen Faktoren der Transekte an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innergschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) entlang der Gradienten der botanischen 'Habitatgunst' von K (optimal) über M (Mitte) und T (pessimal) für alle Transekte im Jahr 2018. Für die durchgestrichenen Zellen waren keine Daten vorhanden, da entweder noch keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat

2017/18	length season [day]				Wachstumstage bis Ernte				Gradstunden bis Ernte			
	Länge der Wachstumsperiode [Tage mit t > 5°C]				Wachstumstage bis zur Ernte (Standardabweichung in Klammer)				Gradstunden bis zur Ernte [Summe der Bodentemperaturen ≥ 5°C]			
	K	M	T	Mittelwert	K	M	T	Mittelwert	K	M	T	Mittelwert
IN / 2358m	105	76	59	80	67 (1,5)	48 (9,2)	33 (7,3)	48 (6,2)	18680	13757	9833	14090
IN1	110	56	66		66	38	37		18380	11490	10875	
IN2	91	57			50	30			13628	8657		
IN3	107	85	70		65	61	44		18284	16287	11730	
IN4	92	64	54		68	41	26		18818	11997	8827	
IN5	113	88	48		68	52	29		19237	15385	9078	
SE / 2300m	109	105	91	102	70 (13,1)	70 (16,7)	67 (17,5)	69 (21,7)	18471	17125	16526	17374
SE1	93	90	72		60	57	50		16371	13356	12465	
SE2	132	142	124		85	89	85		21431	22243	19895	
SE3	102	84	79		66	65	67		17610	15775	17219	
UN / 2389m	109	94	89	97	75 (4,3)	64 (12,9)	60 (10,3)	65 (12,3)	19718	17111	15876	17568
UN1		82	74			40	41			9841	9686	
UN2	123	120	98		80	77	70		22423	20661	19082	
UN3	103		101		73	70	67		18762	19767	19306	
UN4	108	77	81		70	60	57		18095	16123	14834	
UN5	105		86		76	68	63		19591	17739	15755	
UN6		98	97			68	61			18535	16591	
FU / 2450 m	106		70	88	44 (6,8)		25 (3,4)	34 (3,0)	14436		7519	10978
FU1	116		72		44		28		15505		8028	
FU2	102		85		34		26		10040		7982	
FU3	85		51		49		24		16013		7437	
FU4	122		74		48		20		16187		6628	
FU5												
OB / 2700 m	63	82	72	72	57 (10,6)	43 (4,2)	41 (1,5)	46 (4,6)	13213	9634	9724	10857
OB1	0	82	74			40,0	41,0			9841	9686	
OB2	100	83	68		64,0	46,0	39,0		14663	9428	8738	
OB3	90		74		49,0		42,0		11764		10749	

Durch das Auswerten der Verläufe der Bodentemperaturen für die einzelnen Transekte konnten die Ausaperungszeitpunkte entlang der Gradienten der 'Habitatgunst' in den Transekten bestimmt werden (Tabelle 6). An den meisten Standorten unterschieden sich die Ausaperungszeiten zwischen den Jahren 2017 und 2018 beträchtlich. So aperten die Flächen im optimalen 'K'-Bereich im Frühjahr 2018 im Mittel im Innergschlöss (4 Tage) im Untersulzbachtal (23 Tage) und im Seebachtal (4 Tage) zum Teil wesentlich früher aus als 2017. Auf der Furka verzögerte sich die Ausaperung 2018 im 'K'-Bereich jedoch um 5 Tage, in Oberettes war der Tag der Ausaperung während beider Jahre bis auf einen Tag gleich. In den pessimalen Bereichen 'T' verzögerte sich die Ausaperung dagegen in den Gebieten Innergschlöss (+6 Tage), Furka (20 Tage) und Oberettes (+5 Tage) im Jahr 2018 bis zu 3 Wochen. Dies führte auch zu einer Verkürzung der Wachstumsperiode bis zur Ernte. Auf der Furka konnte der Erntezeitpunkt variabel an die Vegetationsentwicklung angepasst werden. Die Wärmesummen (Abbildung 17) lagen demnach 2018 in den Gebieten Innergschlöss und Untersulzbachtal in den 'K'-Zonen höher als 2017. Für Oberettes waren die Unterschiede zwischen den beiden Jahren nur gering. Seebachtal war 2018 deutlich kühler. Auch auf der Furka lagen die Wärmesummen für 2018 wesentlich unter jenen des ersten Messjahres.



Tabelle 6: Ausaperungszeiten an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innerschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) für alle Transekte entlang der Gradienten der 'Habitatgunst' von K (optimal) über M (Mitte) und T (pessimal). Zusätzlich zu den konkreten Ausaperungsdaten sind auch die Differenzen zwischen den Ausaperungszeiten zwischen 2018 und 2017 in Tagen angegeben (Dif. 18-17). Negative Werte bedeuten ein früheres Ausaperungsdatum 2018, positive Differenzen hingegen ein früheres Ausaperungsdatum 2017.

	K			M			T		
	2017	2018	Dif. 18-17	2017	2018	Dif. 18-17	2017	2018	Dif. 18-17
SE / 2300m	21.05.2017	17.05.2018	-4	25.05.2017	19.05.2018	-7	28.05.2017	21.05.2018	-7
SE1	02.06.2017	02.06.2018	0	10.06.2017	06.06.2018	-4	12.06.2017	12.06.2018	0
SE2	10.05.2017	21.04.2018	-19	10.05.2017	22.04.2018	-18	13.05.2017	23.04.2018	-20
SE3		28.05.2018			28.05.2018			28.05.2018	
IN / 2358m	05.06.2017	01.06.2018	-4	16.06.2017	18.06.2018	2	28.06.2017	04.07.2018	6
IN1	02.06.2017	02.06.2018	0		02.07.2018		28.06.2017	03.07.2018	5
IN2	16.06.2017			17.06.2017	16.06.2018	-1	28.06.2017	08.07.2018	10
IN3	09.06.2017	04.06.2018	-5		06.06.2018		21.06.2017	18.06.2018	-3
IN4	30.05.2017	31.05.2018	1		21.06.2018		04.07.2017	12.07.2018	8
IN5	31.05.2017	31.05.2018	0	16.06.2017	16.06.2018	0	01.07.2017	11.07.2018	10
UN / 2389m	04.06.2017	11.05.2018	-23	11.06.2017	26.05.2018	-16	12.06.2017	04.06.2018	-8
UN1	06.06.2017	11.05.2018	-26	16.06.2017	08.06.2018	-8	19.06.2017	17.06.2018	-2
UN2	31.05.2017	03.05.2018	-28	31.05.2017	09.05.2018	-22	02.06.2017	24.05.2018	-9
UN3	05.06.2017	12.05.2018	-24	16.06.2017	25.05.2018	-22	13.06.2017	30.05.2018	-14
UN4	02.06.2017	25.05.2018	-8		04.06.2018		14.06.2017	06.06.2018	-8
UN5	03.06.2017	10.05.2018	-24	16.06.2017	26.05.2018	-21	13.06.2017	12.06.2018	-1
UN6	08.06.2017	10.05.2018	-29	09.06.2017	27.05.2018	-13	13.06.2017	31.05.2018	-13
FU / 2450 m	11.06.2017	24.06.2018	13				20.06.2017	10.07.2018	20
FU1	11.06.2017	17.06.2018	6				20.06.2017	03.07.2018	13
FU2		29.06.2018					03.06.2017	28.06.2018	25
FU3	17.06.2017	24.06.2018	7				05.07.2017	19.07.2018	14
FU4	05.06.2017	26.06.2018	21				24.06.2017	20.07.2018	26
FU5									
OB / 2700 m	26.05.2017	27.05.2018	1	07.06.2017	10.06.2018	3	08.06.2017	13.06.2018	5
OB1	09.06.2017	15.06.2018	6	09.06.2017	15.06.2018	6	09.06.2017	15.06.2018	6
OB2	12.05.2017	03.05.2018	-9	05.06.2017	05.06.2018	0	08.06.2017	12.06.2018	4
OB3		02.06.2018						13.06.2018	

b. Bodenphysikalische und bodenchemische Charakterisierung der Untersuchungsstandorte

Die hier vorgestellten Daten dienen der Grundbeschreibung der Transekte und erlauben eine detaillierte bodenhydrologische Bewertung der Transekte. Sie stellen eine wichtige Basis für die Interpretation der Ergebnisse der bodenzoologischen und bodenmikrobiologischen Untersuchungen, sowie für die Ergebnisse der pflanzlichen Produktivität dar.

i Bodentextur und organische Substanz

Die Bodentextur ermöglicht eine Klassifizierung der Bodenart nach nationalen und internationalen Standards und gehört zur Grundbeschreibung eines Bodens. Die Bodenarten waren an allen Standorten schluffiger bis lehmiger Sand (Tabelle 7, links), der Tongehalt variierte zwischen 0% und 23% (Tabelle 7, rechts).

Eine etwas genauere Analyse, bei der die Daten nach 'K', 'M' und 'T' an den Standorten gepoolt wurden zeigt, dass im Innerschlöss, Untersulzbach in beiden Bodentiefen der jeweilige 'T'-Bereich etwas sandiger ist, wogegen an der Furka die Böden sowohl entlang des Transektes als auch mit der Bodentiefe mit einem hohen Sandanteil zwischen 53% (1-6 cm) und 63% (6-11 cm) sehr tonarm sind. Die höchsten Tonanteile wurden in Oberettes in 'T' gemessen, und zwar in beiden Bodentiefen (vgl. Tabelle 7).



Tabelle 7: Grobklassifizierung der Böden an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innerschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) (links) und Details in den drei Bereichen 'K', 'M' und 'T' entlang des Gradienten der 'Habitatgunst'. Dazu wurden die Daten am jeweiligen Standort für die 3 Bereiche gepoolt (rechts)

Standort	Bodenart		Gesamt			Klassifizierung
	SE	Su3 mittel schluffiger Sand	Ton <2.0µm	Schluff 2.0-63µm	Sand 63-2000µm	
IN	SI3	mittel lehmiger Sand				
UN	SI4	stark lehmiger Sand				
FU	Su4	stark schluffiger Sand				
OB	SI4	stark lehmiger Sand				

Ort	Fläche	Position	Tiefe	Gesamt			Klassifizierung
				Ton <2.0µm	Schluff 2.0-63µm	Sand 63-2000µm	
IN	K		1-6	12%	23%	65%	Lts sandig-toniger Lehm
IN	M		1-6	14%	22%	64%	Ls4 stark sandiger Lehm
IN	T		1-6	9%	18%	73%	SI3 mittel lehmiger Sand
SE	K		1-6	14%	25%	61%	SI4 stark lehmiger Sand
SE	M		1-6	6%	31%	63%	Su3 mittel schluffiger Sand
SE	T		1-6	0%	37%	62%	Su3 mittel schluffiger Sand
UN	K		1-6	12%	38%	49%	SI4 stark lehmiger Sand
UN	M		1-6	16%	37%	47%	LI2 schwach toniger Lehm
UN	T		1-6	6%	29%	65%	SI3 mittel lehmiger Sand
FU	K		1-6	5%	41%	55%	SI3 mittel lehmiger Sand
FU	M		1-6	9%	38%	53%	SI4 stark lehmiger Sand
FU	T		1-6	9%	38%	53%	SI4 stark lehmiger Sand
OB	K		1-5	12%	32%	56%	SI4 stark lehmiger Sand
OB	M		1-5	10%	42%	49%	SI4 stark lehmiger Sand
OB	T		1-5	23%	33%	44%	Ls3 mittel sandiger Lehm
IN	K		6-11	10%	18%	72%	SI3 mittel lehmiger Sand
IN	M		6-11	4%	28%	68%	Su3 mittel schluffiger Sand
IN	T		6-11	4%	21%	75%	SI2 schwach lehmiger Sand
SE	K		6-11	14%	27%	59%	SI4 stark lehmiger Sand
SE	M		6-11	4%	39%	57%	SI4 stark lehmiger Sand
SE	T		6-11	6%	25%	69%	SI2 schwach lehmiger Sand
UN	K		6-11	15%	21%	63%	Ls4 stark sandiger Lehm
UN	M		6-11	10%	32%	58%	SI3 mittel lehmiger Sand
UN	T		6-11	10%	6%	83%	SI3 mittel lehmiger Sand
FU	K		6-11	1%	39%	60%	Su3 mittel schluffiger Sand
FU	M		6-11	6%	31%	63%	Su3 mittel schluffiger Sand
FU	T		6-11	6%	31%	63%	Su3 mittel schluffiger Sand
OB	K		5-9	15%	24%	60%	SI3 mittel lehmiger Sand
OB	M		5-9	8%	39%	53%	SI4 stark lehmiger Sand
OB	T		5-9	21%	46%	33%	Ls2 schwach sandiger Lehm

Tabelle 8: Bodenorganische Substanz (OBS, englisch SOM für soil organic matter) an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innerschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) für alle Transekte und die verschiedenen Bodentiefen, bei denen eine Entnahme der Proben möglich war (links und Mitte). OSB Mittelwerte (\bar{x}) der fünf Standorte (rechts). Schraffur – Keine Probenentnahme möglich, weil Bodenmächtigkeit zu gering.

Bodentiefe 1-6 cm				Bodentiefe 6-11 cm				
Ort	Fläche	Subfläche	OBS	Ort	Fläche	Subfläche	OBS	
IN 1	CKa		18,3%	11,8%	UN 4	C4a	28,5%	
IN 1	C3c		29,4%	9,8%	UN 4	BTc	16,0%	
IN 1	A2b		4,8%		UN 5	CKc	40,7%	
IN 1	BTd		12,9%	9,8%	UN 5	A6d	32,5%	11,2%
IN 2	CKb		20,5%	6,7%	UN 5	C1a	29,9%	16,8%
IN 2	C4d		7,1%	4,3%	UN 6	C5a	28,1%	10,1%
IN 2	CTd		13,3%	1,8%	UN 6	A3c	25,4%	15,7%
IN 3	A6a/c		26,0%	8,9%	UN 6	BTa	11,0%	5,9%
IN 4	A8c		33,6%		FU 1	A6b	21,7%	9,1%
IN 4	A4c		45,2%	30,2%	FU 1	A2c	15,8%	10,8%
IN 4	ATc		6,4%		FU 1	ATa	22,6%	8,8%
IN 5	CKd		20,1%		FU 2	CKd	13,3%	3,9%
IN 5	A3c		16,6%		FU 2	C3a	8,1%	23,0%
IN 5	ATa/c		15,0%		FU 2	CTd	5,5%	
SE 1	A7d		17,0%		FU 3	C7a	9,4%	8,7%
SE 1	A6d		28,6%		FU 3	C4c	11,2%	5,1%
SE 1	A5c		21,3%	15,9%	FU 3	CTa	5,8%	4,0%
SE 1	ATa		25,6%		FU 4	C7b	7,1%	10,1%
SE 2	C5a		52,6%	33,4%	FU 4	C4a	8,0%	26,3%
SE 2	C2c		86,0%	50,5%	FU 4	C1b	7,7%	4,8%
SE 2	CTc		69,9%	43,3%	FU 5	C5b	13,9%	14,6%
SE 3	BKb		31,6%	19,1%	FU 5	C3c	19,0%	9,5%
SE 3	A4b		38,4%	23,4%	FU 5	CTa	14,0%	8,5%
SE 3	A1b		48,3%		OB1	C6d	24,5%	
UN 1	BKd		26,7%	8,5%	OB1	C4d	29,4%	
UN 1	C4a		27,6%	11,3%	OB1	C1d	26,8%	19,9%
UN 2	A6a		42,5%	16,0%	OB2	C6d	20,9%	21,2%
UN 2	C3a		23,4%	12,7%	OB2	C4d	38,0%	
UN 2	C1c		23,3%		OB2	C1d	29,3%	21,2%
UN 3	C5a/c		29,9%	11,9%	OB3	C7d	23,4%	12,6%
UN 3	A3d		31,1%	15,1%	OB3	C4d	19,6%	19,4%
					OB3	C1d	14,0%	

OBS x		
Mittelwert	1-6 cm	6-11 cm
IN	19,2%	10,4%
SE	41,9%	30,9%
UN	27,8%	12,3%
FU	12,2%	10,5%
OB	25,1%	18,9%



Ein detaillierter Überblick über die Korngrößenverteilung in den verschiedenen Bodenstufen in allen Transekten der Standorte findet sich im Anhang (Tabelle 15 und Tabelle 16). Zudem sind in Abbildung 54 bis Abbildung 146 für alle entnommenen Bodenproben sowohl die Korngrößenverteilung als auch die Texturdreiecke (eine genormte Darstellung für die konventionelle Einteilungen der Korngemische des Feinbodens in einem Dreiecksdiagramm) dargestellt. Wir haben uns für das deutsche Klassifikationssystem nach DIN-Norm 4220 entschieden, da dies in Mitteleuropa häufig verwendet wird. Die Daten lassen aber auch eine Darstellung in dem von der FAO und der World Reference Base (WRB) entwickelten Klassifikationssystem zu.

Die an einem Standort vorhandene organische Bodensubstanz (OBS, englisch SOM für soil organic matter) hängt vor allem vom Klima, der Vegetation und damit der Zufuhr an organischer Substanz, der Durchwurzelungstiefe und der Textur ab. So speichern etwa Böden mit feinerer Textur mehr organische Substanz als grobkörnige Böden (Amelung et al. 2018).

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Bodenorganische Substanz an den Standorten. OBS variierte im Oberboden (1-6 cm) im Mittel zwischen 12% auf der Furka und 41% im Seebachtal. Nicht überraschend nimmt mit zunehmender Bodentiefe der Anteil an organischer Substanz auf allen Standorten ab. Im Seebachtal war die organische Substanz in den Böden am höchsten. Extremwerte von über 60% machen eine weitere Analyse der Bodenparameter aufgrund der beschränkten Probenmenge z.T. unmöglich.

ii Kennwerte zum Bodenwasserhaushalt

Tabelle 9 schlüsselt wichtige bodenphysikalische Werte zum Bodenwasserhaushalt auf, und zwar die Lagerungsdichte, die Porosität und die Kennwerte für die pF-Kurve, die den Zusammenhang zwischen Bodenwasserspannung und Bodenfeuchte darstellt. Die Lagerungsdichte gibt Hinweise auf eventuelle Bodenverdichtungen. Die Porosität gibt das Verhältnis von Hohlräumen und Feststoffen in der Bodenmatrix an. Beide Werte hängen unmittelbar zusammen und sind sowohl für den Wasserhaushalt und die Versickerung von Wasser, aber auch für die Interpretation der Daten zur Bodenfauna von Bedeutung, weil sie auch den Lufthaushalt des Bodens charakterisieren.

Die **Lagerungsdichte** (LD) ist ein Maß für die Verfestigung, aber auch für das Gesamtporenvolumen des Bodens. Allerdings erlaubt sie weder eine Aussage über die Verteilung der Porengrößen und deren Funktionalität noch über die Aggregatstabilität. An allen Standorten weist der Oberboden eine sehr geringe ($< 1,28 \text{ g/cm}^3$) Lagerungsdichte auf, bis auf das Innergschlöss (bei dem allerdings nur eine Probennahme in der tieferen Bodenschicht möglich war) trifft dies auf die tiefere Bodenschicht zu (Abbildung 18). Konkret bedeutet dies, dass in unseren ausgewählten Modell-Ökosystemen sehr lockere Böden vorhanden sind. Auf den meisten Standorten steigt LD leicht von 'K' nach 'T' an. Allerdings sind diese Trends aufgrund der geringen Stichprobengröße und der Streuung nicht überzubewerten.

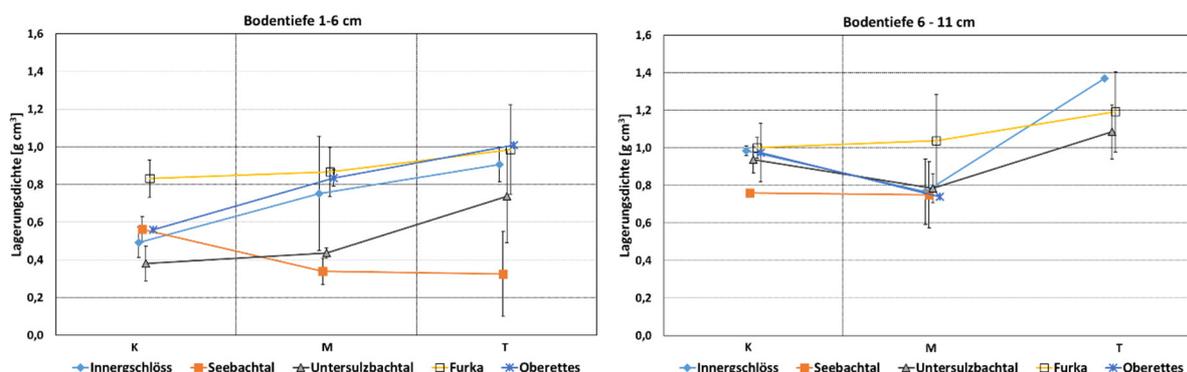


Abbildung 18: Lagerungsdichte (Trockenrohdichte) an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt



Der mit Wasser und Luft gefüllte Teil des Bodenvolumens, in dem alle Wasserbewegungs- und Belüftungsvorgänge ablaufen, wird als **Porenvolumen (PV)** bezeichnet. Die Größe des Porenvolumens ist von der Körnung, der Kornform, dem Gehalt der Böden an organischer Substanz sowie von der Bodenentwicklung abhängig (Amelung et al. 2018).

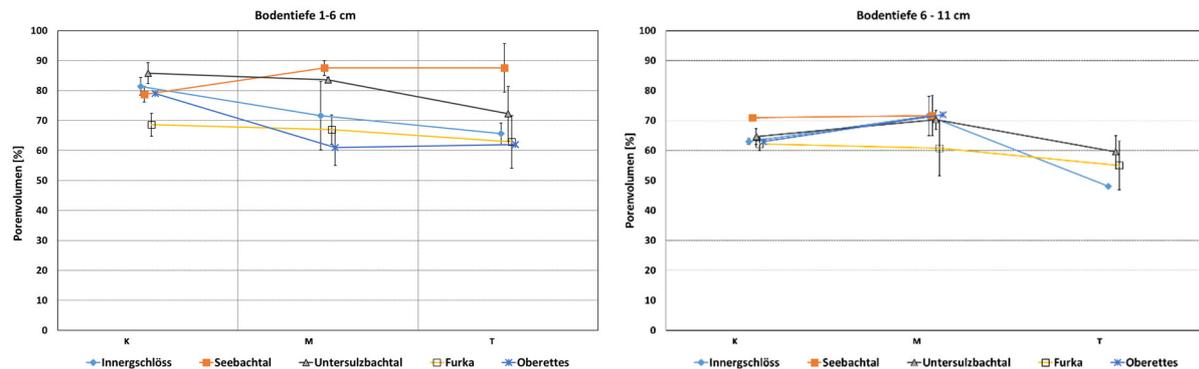


Abbildung 19: Porenvolumen an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt

Die untersuchten Böden sind extrem porös und liegen mit ihren Maximalwerten (im Oberboden) im Bereich von stark porösen Böden aus vulkanischen Aschen und Tuffen (Porenvolumina 70-80%) und reichen fast an den Extremwert von Hochmoorböden mit einem Porenvolumen bis zu 95% heran (vgl. Amelung et al. 2018). In einer Studie auf mineralischen Dauergrünlandflächen im Salzburger Flachgau waren die gemessenen PV in der Bodentiefe von 0-5 cm für extensiv und intensiv genutzte Mähwiesen bei 68-70%, und bei beweideten Flächen bei 60% (Bohner et al. 2017).

Erwartungsgemäß ist das Porenvolumen in größeren Bodentiefen geringer (Abbildung 19). Im Oberboden wurde zudem, mit Ausnahme des Seebachtals, eine leichte Zunahme des Porenvolumens von 'T' nach 'K' gemessen.

Das Porenvolumen bzw. die Porengrößenverteilung beeinflussen die charakteristischen Kennwerte des Wasserhaushaltes, insbesondere die typischen Entwässerungsgrenzen bei verschiedenen Matrixpotenzialen (ψ_m). Der Verlauf der Beziehung zwischen Wassergehalt und Matrixpotenzial wird als pF-Kurve bezeichnet und ist eine Grundgröße für die Berechnungen von Wasserbewegungen und andere Größen des Wasserhaushalts. Für das pflanzenverfügbare Wasser spielen vor allem zwei Kenngrößen eine Rolle, die nutzbare Feldkapazität nFK (zwischen einem pF von 1,8 und einem pF von 2,5) und der permanente Welkepunkt PWP (pF 4,2).

Allerdings spielt für den Verlauf der pF-Kurve auch die bodenorganische Substanz eine große Rolle. Humus besitzt eine hohe Wasserspeicherkapazität und kann damit sehr viel Wasser speichern. In sandigen Böden, wie sie an unseren Standorten entlang der ausgewählten Schneeschmelzgradienten vorhanden sind, bestimmt deswegen der Humusgehalt die Feldkapazität, und weniger die Porengrößenverteilung, weil ein hoher Gehalt an OSB besonders bei Sandböden zu einer Erhöhung des Anteils der Mittel- und Feinporen führt. Je gleichmäßiger die OSB in einem Boden verteilt vorliegt, umso größer ist der Wassergehalt bei Feldkapazität (Amelung et al. 2018). Tabelle 10 schlüsselt die pF-Werte für die untersuchten Standorte auf, jeweils gepoolt nach den 'K', 'M' und 'T'- Bereichen. An allen Standorten ist im Bereich der nutzbare Feldkapazität eine hohe Wasserverfügbarkeit (Wassergehalte von 36 - 67 Vol%) gegeben. Eine Ausnahme bildet T in Oberettes. Der hohe Tongehalt führt hier zu geringeren Wassergehalten (22-35 Vol%). Beim PWP liegt der Wassergehalt an fast allen Standorten zwischen 7-23 Vol% (mit Ausnahme von 5 Vol% in T / Oberettes).

Tabelle 9: Lagerungsdichte (Trockenrohdichte), Porenvolumen (Verhältnis von Hohlraumvolumen zu Gesamtvolumen), pF-Werte (1,8-2,5 Feldkapazität, 4,2 permanenter Welkepunkt) für alle untersuchten Plots. Die Reihung der Daten pro Transekt erfolgt von oben ('K') nach unten ('T'). *: Daten lagen zum Berichtszeitpunkt aufgrund der langen Analysezeit noch nicht vor, schraffierte Zellen: eine Probenahme war aufgrund des geringmächtigen Bodens nicht möglich

	Bodentiefe 1-6cm					Bodentiefe 6-11cm				
	Porosity	Lagerungsdichte [g/cm ³]	pF (%)			Porosity	Lagerungsdichte [g/cm ³]	pF (%)		
			1,8	2,5	4,2			1,8	2,5	4,2
IN1_CKa	77%	0,61	67,37	42,91	16,95	64%	0,96	46,88	34,18	17,62
IN1_C3c	80%	0,54	67,52	46,20	16,49	65%	0,94	63,50	46,63	16,31
IN1_BTd	66%	0,89	56,11	35,22	11,70					
IN2_CKb	85%	0,39	68,91	42,70	16,33					
IN2_C4d	55%	1,20	45,33	22,24	11,84					
IN2_CTd	71%	0,77	65,05	40,50	15,70	48%	1,37	33,25	19,19	6,97
IN3_A6a/c	79%	0,56	51,96	34,87	16,12	62%	1,01	41,67	26,51	10,53
IN3_A3a	67%	0,87	54,72	37,42	13,52					
IN3_A1a	67%	0,87	65,23	42,03	5,30					
IN4_A4c	88%	0,31	74,24	55,29	20,33					
IN4_A8c	83%	0,44	62,64	43,81	20,91	78%	0,59	72,80	55,62	22,70
IN4_ATc	60%	1,05	54,57	32,36	16,33					
IN5_CKd	83%	0,46	68,72	43,28	23,44					
IN5_A3c	68%	0,84	60,75	41,48	15,02					
IN5_ATa/c	64%	0,95	60,43	31,76	10,45					
SE1_A7d	78%	0,59	51,40	33,31	10,09					
SE1_A6d	83%	0,45	60,96	37,40	17,43					
SE1_A5c	76%	0,63	62,75	42,93	18,16	65%	0,93	61,55	41,27	16,37
SE1_ATa	74%	0,70	64,61	40,60	15,49					
SE2_C5a	90%	0,27	66,22	48,79	25,06	81%	0,51	71,61	49,34	22,08
SE2_C2c	92%	0,20	64,90	37,90	26,74	88%	0,33	71,91	48,17	22,43
SE2_CTc	89%	0,28	75,36	43,72	21,71	87%	0,34	66,82	43,18	21,80
SE3_BKb	78%	0,58	66,30	38,58	17,71	71%	0,76	54,01	35,35	20,20
SE3_A4b	85%	0,41	63,43	42,10	16,92	69%	0,81	59,45	43,20	20,60
SE3_A1b	95%	0,12	58,11	39,75	15,42					
UN1_BKd	81%	0,51	55,75	37,07	20,11	60%	1,06	44,21	28,33	14,26
UN1_C4a	84%	0,42	52,14	39,29	19,34	66%	0,89	60,94	48,19	20,90
UN1_BTa	67%	0,88	56,34	31,60	12,71					
UN2_A6a	88%	0,31	62,24	43,62	20,10	66%	0,90	42,90	29,07	12,67
UN2_C3a	82%	0,49	64,17	42,39	14,18	66%	0,89	55,23	40,14	18,89
UN2_C1c	81%	0,50	61,98	46,76	19,04					
UN3_C5a	82%	0,49	55,56	36,68	13,59	68%	0,85	42,58	29,77	17,66
UN3_A3d	84%	0,42	63,78	46,15	23,59	75%	0,67	49,81	37,48	23,28
UN4_C4a	84%	0,42	68,56	49,35	19,72	70%	0,79	58,37	43,71	17,61
UN4_BTc	67%	0,88	65,92	44,07	15,55					
UN5_CKc	87%	0,34	64,12	43,29	19,84					
UN5_A6d	91%	0,25	63,06	42,04	18,61	64%	0,95	51,60	34,54	16,21
UN5_C1a	81%	0,50	70,88	52,19	31,71	65%	0,94	50,73	34,91	14,30
UN6_C5a	86%	0,38	71,40	45,24	15,17	65%	0,92	58,55	36,45	9,71
UN6_A3c	84%	0,43	61,23	41,70	17,21	70%	0,79	55,76	38,46	11,07
UN6_BTa	60%	1,07	45,80	28,36	8,78	54%	1,23	34,15	20,33	7,98
FU1_A6b	76%	0,64	65,80	40,32	18,26	62%	1,00	53,29	32,64	13,87
FU1_A2a	69%	0,82	60,74	41,09	21,48	60%	1,05	44,68	33,11	16,70
FU1_ATa	75%	0,66	54,32	38,25	19,90	61%	1,03	38,37	23,84	9,48
FU2_CKd	67%	0,88	47,54	27,54	10,32	63%	0,97	44,61	25,65	12,07
FU2_C3a	71%	0,76	48,30	28,31	12,08	76%	0,63	63,32	47,23	26,22
FU2_CTd	52%	1,28	42,72	31,37	10,83	41%	1,56	46,37	33,34	12,22
FU3_C7a	67%	0,87	47,75	32,81	9,50	63%	0,99	41,35	27,08	8,53
FU3_C4c	65%	0,93	52,73	37,14	8,83	53%	1,25	42,29	30,56	10,49
FU3_CTa	54%	1,23	43,07	31,45	10,96	48%	1,38	39,53	26,39	6,16
FU4_C7b	65%	0,92	58,63	34,49	13,50	58%	1,10	54,59	39,37	15,88
FU4_C4a	60%	1,05	52,52	37,60	15,43	54%	1,21	46,47	34,96	15,84
FU4_C1b	57%	1,13	50,52	37,34	11,91	56%	1,17	54,13	42,55	14,66
FU5_C5b	68%	0,85	58,71	43,08	17,96	65%	0,94	48,91	35,34	15,58
FU5_C3c	72%	0,73	67,04	52,81	18,50	60%	1,06	50,54	40,86	15,61
FU5_CTa	70%	0,79	53,39	39,98	18,47	64%	0,96	44,33	36,22	18,48
OB1_C1d	*)	*)	*)	*)	*)					
OB1_C4d	*)	*)	*)	*)	*)	72%	0,74	65,62	51,33	22,61
OB1_C6d	*)	*)	*)	*)	*)					
OB2_C1d	42%	0,84	66,32	51,91	19,73	*)	*)	*)	*)	*)
OB2_C4d	55%	0,79	66,25	53,16	25,51					
OB2_C6d	*)	*)	*)	*)	*)	69%	0,82	63,44	51,77	16,60
OB3_C1d	62%	1,01	35,44	22,46	5,00					
OB3_C4d	67%	0,88	60,96	46,78	19,12	*)	*)	*)	*)	*)
OB3_C7d	79%	0,56	66,81	48,73	23,88	57%	1,13	46,95	33,95	15,66

Tabelle 10: Wassergehalte [Vol%] bei charakteristischen pF-Bereichen an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innergschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) gepoolt für die drei Bereiche 'K', 'M' und 'T'. Der pF-Bereich zwischen 1,8 ($\psi_m = -60$ hPa) und 2,5 ($\psi_m = -300$ hPa) wird als nutzbare Feldkapazität bezeichnet, ein pF von 4,2 ($\psi_m = -15.000$ hPa) entspricht dem permanenten Welkepunkt (PWP).

Standort	Bereich	Wassergehalt [Vol%]					
		Bodentiefe: 1-6 cm		Bodentiefe: 6-11 cm			
		Pflanzenverfügbares H ₂ O pF = 1,8 bis 2,5	PWP pF = 4,2	Pflanzenverfügbares H ₂ O pF = 1,8 bis 2,5	PWP pF = 4,2		
IN	K	64	42	19	44	30	14
	M	61	41	15	68	51	20
	T	60	36	12	68	19	7
SE	K	60	38	16	54	35	20
	M	65	45	21	66	45	20
	T	66	40	20	67	43	22
UN	K	62	41	18	48	32	14
	M	62	44	19	56	42	18
	T	61	43	19	42	28	11
FU	K	56	36	14	49	32	13
	M	55	39	14	51	38	17
	T	51	37	16	45	33	13
OB	K	67	49	24	55	43	16
	M	64	50	22	66	51	23
	T	35	22	5	*)	*)	*)

*) Daten noch nicht vorhanden aufgrund der langen Analysezeit

c. Bodenchemische Charakterisierung

Für die bodenchemische Charakterisierung der Böden wird hier nur auf wenige Aspekte eingegangen. Tabelle 11 gibt einen Überblick über alle erhobenen bodenchemischen Parameter an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innergschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) für alle Transekte und Bodentiefen, in denen eine Probenahme möglich war.

Der **pH-Wert** des Bodens gibt an, ob der Boden sauer ($\text{pH} < 7$), neutral ($\text{pH} = 7$) oder alkalisch ($\text{pH} > 7$) reagiert. Die pH-Werte liegen an allen Standorten unter 5 und sind daher als sehr stark sauer bis stark sauer einzustufen. Ausnahme bildet auf der Furka Transekt 2, wo im untersten Bereich (T) ein größerer Kalkstein, vermutlich zum Zeitpunkt der Vergletscherung durch den Gletscher hertransportiert liegt. In der Vergangenheit wurde der pH-Wert häufig auch in einer Bodenlösung mit KCl gemessen. Um eine Vergleichbarkeit der Werte mit älteren Studien zu ermöglichen, wurden diese ebenfalls gemessen (vgl. Tabelle 11).

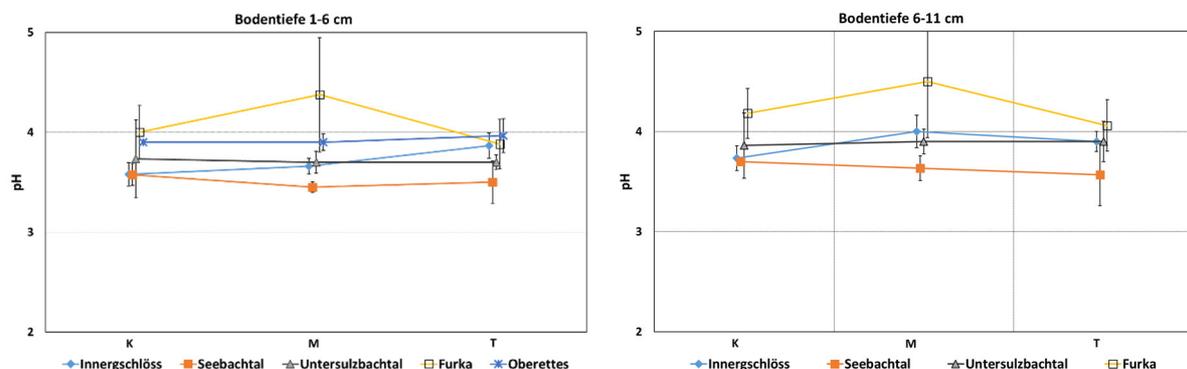


Abbildung 20: Vergleich des pH (in CaCl₂) für alle Standorte für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt

Tabelle 11: Bodenchemische Parameter (Tiefe 1-6cm) für alle untersuchten Bodenproben der Standorte Innergschlöss (IN), Seebachtal (SE), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU), Oberettes (OB). Die Bezeichnung der Plots folgt der Notation, wie in Newesely et al. (2019) angegeben *) Werte „FU2 CTD“ durch einen Kalkblock (Eiszeitrelikt) verfälscht

Transect	pH-Wert	pH-Wert	Organischer Kohlenstoff	Phosphor im CAL-Auszug	Gesamt-Stickstoff	C/N-Verhältnis	Calcium (Ca)	Calcium (Ca)	Magnesium (Mg)	Kalium (K)	Natrium (Na)	Aluminium (Al)	Eisen (Fe)	Mangan (Mn)	H+	Kationenaustauschkapazität	Basensättigung
Plot_Tiefe	(IN(CaCl2))	(IN(KCl))	ausgedrückt als Humus (%)	ausgedrückt als P ₂ O ₅ (mg/100 g)	(%)		im KW-Auszug (g/kg TM)	(Ca)	(Mg)	(K)	(Na)	Al ₂ O ₃ -Auszug (mmol/kg)	(Fe)	(Mn)	(H)	(KAK) (mmolc/kg)	(%)
IN1_A2a_1-6	3.9	3.6	2.6	4.0	0.13	12	2.77	1.7	1.4	1.7	0.12	13.50	2.00	0.06	1.35	23	26
IN1_C3a_1-6	3.5	3.5	20.6	18.0	0.78	15	1.86	14.5	8.8	5.4	0.39	41.49	3.37	0.09	5.80	80	37
IN1_C3c_1-6	3.7	3.6	25.8	16.0	0.78	19	2.55	9.2	5.5	5.1	0.66	47.90	5.83	0.14	3.38	78	26
IN1_BTd_1-6	3.7	3.6	11.5	11.0	0.44	15	2.18	9.7	6.2	5.2	0.24	38.69	4.22	0.10	2.73	67	32
IN2_CKd_1-6	3.8	3.7	17.6	16.0	0.68	15	1.62	8.0	6.3	5.5	0.43	27.28	4.99	0.20	2.09	55	37
IN2_C4d_1-6	3.8	3.5	3.4	5.0	0.17	12	1.46	3.8	2.2	1.6	0.09	17.24	2.22	0.04	1.53	29	27
IN2_C7d_1-6	3.8	3.7	9.1	14.0	0.38	14	3.42	6.2	4.0	2.5	0.18	26.39	2.64	0.13	1.81	44	29
IN3_A3a/c_1-6	3.6	3.5	19.2	22.0	0.70	16	2.10	15.0	11.9	7.7	0.51	58.89	7.72	0.36	4.18	106	33
IN3_A3a_1-6	3.6	3.5	9.6	16.0	0.47	12	2.50	10.4	6.4	4.1	0.29	48.74	4.84	0.10	3.30	78	27
IN3_A1a_1-6	3.8	3.6	11.1	16.0	0.52	12	2.55	10.7	5.8	3.3	0.36	31.57	3.71	0.12	2.93	59	35
IN4_A8c_1-6	3.5	3.4	34.2	21.0	1.00	20	4.65	19.8	8.9	5.9	1.23	69.92	9.00	0.27	5.16	120	30
IN4_A4c_1-6	3.6	3.5	36.9	19.0	1.24	17	3.16	12.9	8.0	7.1	0.67	68.28	5.98	0.22	3.89	107	27
IN4_A7c_1-6	4.1	4.0	4.7	6.0	0.21	13	3.68	2.3	1.1	0.7	0.21	21.42	0.95	0.03	0.84	28	16
IN5_CKd_1-6	3.5	3.3	20.9	12.0	0.56	22	2.71	9.6	5.0	3.1	0.53	53.93	4.80	0.07	5.54	83	22
IN5_A3c_1-6	3.6	3.5	12.0	15.0	0.44	14	2.79	5.4	3.2	1.9	0.37	5.24	3.21	0.11	3.07	60	19
IN5_A7A/c_1-6	3.9	3.8	5.2	6.0	0.30	10	2.63	3.8	1.8	1.2	0.17	20.80	1.19	0.06	1.08	30	23
SE1_A7d_1-6	3.6	3.4	18.9	12.0	0.60	18	0.29	10.2	6.0	3.5	0.87	50.52	3.63	0.16	3.14	78	26
SE1_A6d_1-6	3.6	3.4	24.0	0.75	0.19	0.37	13.7	8.1	4.7	1.05	45.85	7.84	0.27	3.89	85	32	
SE1_A5c_1-6	3.7	3.6	17.7	9.0	0.56	18	0.35	9.0	5.8	3.3	0.38	49.97	4.18	0.12	2.36	75	25
SE1_A7a_1-6	3.6	3.5	19.4	15.0	0.65	17	0.58	10.5	6.8	4.0	0.55	57.63	6.07	0.14	3.22	89	24
SE2_C5a_1-6	3.5	3.3	47.9	22.0	1.75	26	0.93	36.6	15.2	7.7	0.77	41.65	13.24	0.81	6.23	122	49
SE2_C2c_1-6	3.3	3.2	66.3	20.0	1.24	20	1.24	54.5	20.3	6.8	0.77	63.00	15.43	0.65	10.40	172	48
SE2_C7c_1-6	3.3	3.1	60.3	31.0	1.88	19	1.15	50.5	19.8	10.2	1.14	47.12	15.52	0.62	12.23	157	52
SE3_B9d_1-6	3.4	3.2	24.6	19.0	0.78	18	0.24	19.7	8.0	3.9	1.09	46.97	7.48	0.34	7.50	88	30
SE3_A4d_1-6	3.4	3.2	34.6	25.0	1.00	20	0.40	22.9	9.6	6.8	1.64	41.80	22.9	0.37	3.24	101	41
SE3_A1b_1-6	3.8	3.7	48.3	15.0	1.87	15	0.46	13.5	7.9	10.8	1.75	72.75	4.07	0.22	2.86	114	30
UN1_BKd_1-6	3.6	3.4	23.9	19.0	0.81	17	5.68	25.3	10.4	7.1	1.12	51.52	6.96	0.60	6.23	110	40
UN1_C4a_1-6	3.7	3.6	20.8	17.0	0.73	17	5.65	21.3	13.7	10.8	1.01	43.20	3.67	1.31	4.08	99	47
UN2_A6d_1-6	3.5	3.4	34.2	22.0	1.23	16	3.04	19.0	11.4	7.4	1.03	56.69	12.80	0.47	6.23	115	34
UN2_C3a_1-6	3.6	3.5	24.5	19.0	0.89	16	3.41	21.5	10.9	9.0	0.49	47.03	6.86	1.99	4.70	102	41
UN2_C1c_1-6	3.7	3.6	17.5	17.0	0.69	15	5.08	12.2	8.0	7.0	0.46	42.34	3.24	0.80	3.71	78	36
UN3_C5a_1-6	3.6	3.4	25.5	20.0	0.96	16	5.14	23.3	11.7	8.4	0.54	37.80	5.95	1.53	5.94	95	46
UN3_A2d_1-6	3.6	3.5	28.6	22.0	1.13	15	3.56	12.3	8.3	8.6	0.47	56.27	9.35	0.47	4.59	101	20
UN3_C4a_1-6	3.9	3.7	17.5	27.0	0.82	12	4.34	31.0	13.8	11.5	0.41	51.13	2.72	0.38	3.38	84	37
UN4_B7c_1-6	3.7	3.7	11.3	8.0	0.40	16	6.99	5.4	3.8	3.1	0.43	30.37	3.27	0.18	2.04	49	26
UN5_CKc_1-6	3.6	3.4	32.3	28.0	1.32	14	4.05	29.3	15.2	14.3	0.76	36.71	7.61	1.55	6.52	112	53
UN5_A6d_1-6	3.5	3.4	29.3	18.0	0.97	18	6.30	14.2	8.0	6.1	0.80	48.99	11.78	0.78	6.23	97	30
UN5_C1a_1-6	3.6	3.5	20.5	21.0	0.94	13	10.68	10.6	8.5	10.6	0.66	39.90	4.66	0.39	4.48	68	42
UN6_C5a_1-6	4.6	4.3	20.8	15.0	0.85	14	7.70	106.2	10.5	9.1	0.69	3.80	0.28	1.41	0.86	133	95
UN6_A3c_1-6	3.7	3.7	21.0	14.0	0.96	13	6.08	48.2	9.7	6.8	0.48	32.93	3.05	0.26	2.86	104	63
UN6_B7a_1-6	3.8	3.6	4.7	6.0	0.23	12	1.65	4.1	2.1	2.1	0.36	23.49	1.16	0.18	1.95	35	24
FU1_A2a_1-6	3.7	3.5	11.3	15.0	0.43	15	3.09	14.7	8.4	5.6	0.7	44.2	3.12	0.87	3.14	81	36
FU1_A6d_1-6	3.7	3.4	17.0	16.0	0.55	18	4.24	19.7	10.2	4.1	0.56	53.89	2.68	0.75	4.28	96	36
FU1_A7a_1-6	3.6	3.4	18.1	22.0	0.61	17	4.82	15.0	8.9	8.3	1.34	59.17	6.21	0.48	4.38	104	32
FU2_C3a_1-6	5.3	4.9	3.0	0.20	0.15	15	5.06	7.2	2.6	3.8	0.54	1.17	0.32	0.36	0.07	79	98
FU2_CKd_1-6	3.9	3.6	8.2	8.0	0.30	16	2.03	26.5	7.5	5.3	0.55	23.85	2.41	3.95	2.66	73	55
FU2_C7d_1-6	6.7	5.7	0.1	0.15	0.3	12	4.35	100.7	2.1	1.2	0.45	0.25	0.06	0.45	<0.01	105	99
FU3_CKc_1-6	4.4	3.9	7.9	4.0	0.32	14	3.85	13.9	4.1	4.2	0.71	13.98	0.57	0.42	0.42	60	40
FU3_C7a_1-6	4.5	3.9	7.2	5.0	0.28	15	5.67	31.9	4.3	5.0	0.53	11.22	0.76	1.44	1.11	56	74
FU3_C7a_1-6	4.3	3.9	3.0	4.0	0.11	16	5.24	7.3	1.9	1.8	0.48	12.13	0.94	0.53	0.84	26	44
FU4_C1b_1-6	4.0	3.8	5.1	10.0	0.22	13	1.24	4.2	2.4	3.2	0.29	24.23	0.73	0.89	1.77	38	27
FU4_C4c_1-6	3.9	3.6	5.3	6.0	0.23	13	0.51	3.9	2.3	2.3	0.54	32.13	0.67	1.32	2.54	46	20
FU4_C7b_1-6	3.9	3.6	10.2	10.0	0.39	15	0.69	10.3	5.4	3.1	0.53	29.22	2.42	1.65	2.60	55	35
FU5_C3c_1-6	3.9	3.5	8.8	8.0	0.35	14	3.48	10.0	4.2	3.0	0.84	39.66	3.84	0.68	2.79	65	28
FU5_C5a_1-6	4.0	3.5	6.3	7.0	0.22	17	1.99	9.7	3.8	2.9	1.17	22.32	2.23	0.31	1.77	44	40
FU5_C7a_1-6	3.8	3.5	9.4	10.0	0.28	14	1.17	7.7	3.8	3.7	0.58	40.18	4.04	2.27	2.79	63	25
OB1_C1d_1-5	3.9	3.6	12.6	11.0	0.45	14	1.24	36.2	3.1	5.1	0.74	14.02	0.98	1.66	1.11	67	31
OB1_C4d_1-5	3.9	3.6	24.8	13.0	0.88	13	1.64	38.1	15.1	9.7	2.24	35.95	4.42	3.29	2.93	115	57
OB1_C6d_1-5	3.9	3.7	16.6	9.0	0.28	12	1.56	27.3	8.8	5.2	0.59	38.49	4.23	2.26	2.31	89	47
OB2_C1d_1-5	3.8	3.6	33.5	16.0	1.82	15	1.22	29.2	13.3	7.9	1.34	65.94	18.47	0.75	3.38	140	37
OB2_C4d_1-5	3.8	3.6	34.1	18.0	1.29	15	2.03	48.4	15.4	7.5	0.86	42.65	15.45	1.99	3.38	135	35
OB2_C6d_1-5	3.9	3.7	16.5	8.0	0.67	14	1.05	17.5	10.7	9.4	1.05	43.00	5.14	0.16	2.04	89	44
OB3_C1d_1-5	4.2	3.9	9.6	0.37	0.15	15	2.12	10.7	4.2	3.1	0.25	19.07	1.92	0.28	1.11	41	45
OB3_C4d_1-5	4	3.9	14.3	8.0	0.58	14	1.47	7.9	3.7	3.4	0.65	41.71	3.03	0.15	1.42	62	25
OB3_C7d_1-5	3.9	3.7	23.1	10.0	0.82	16	1.46	23.2	8.1	4.4	0.49	49.92	4.29	0.38	2.79	94	39

Tabelle 12: Bodenchemische Parameter (Tiefe 6-11cm) für alle untersuchten Bodenproben der Standorte Innergschlöss (IN), Seebachtal (SE), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU), Oberettes (OB). Die Bezeichnung der Plots folgt der Notation, wie in Newesely et al. (2019) angegeben. *) Werte „FU2 CTD“ durch einen Kalkblock (Eiszeitrelikt) verfälscht

Transect	pH-Wert	pH-Wert	Organischer Kohlenstoff	Phosphor im CAL-Auszug	Gesamt-Stickstoff	C/N-Verhältnis	Calcium (Ca)	Calcium (Ca)	Magnesium (Mg)	Kalium (K)	Natrium (Na)	Aluminium (Al)	Eisen (Fe)	Mangan (Mn)	H+	Kationenaustauschkapazität	Basensättigung
Plot_Tiefe	(IN(CaCl2))	(IN(KCl))	ausgedrückt als Humus (%)	ausgedrückt als P ₂ O ₅ (mg/100 g)	(%)		im KW-Auszug (g/kg TM)	(Ca)	(Mg)	(K)	(Na)	Al ₂ O ₃ -Auszug (mmol/kg)	(Fe)	(Mn)	(H)	(KAK) (mmolc/kg)	(%)
IN1_CKd_6-11	3.7	3.8	9.8	4.0	0.26	21	2.77	4.3	1.2	0.9	0.14	52.84	2.38	0.02	1.95	64	10
IN1_C3c_6-11	4.0	3.9	8.2	5.0	0.27	28	2.46	3.1	1.0	0.7	0.33	32.79	1.92	0.01	1.28	41	12
IN1_BTd_6-11	3.8	3.7	5.0	5.0	0.20	14	1.85	2.8	1.4	1.5	0.07	23.34	2.09	0.03	1.22	32	18
IN2_CKb_6-11	3.9	3.6	3.9	4.0	0.23	10	1.13	3.5	1.6	1.3	0.28	17.26					



Die **Kationenaustauschkapazität (KAK)** gibt Aufschluss über die Fähigkeit des Bodens Nährstoffkationen zu binden und deren Auswaschung zu verhindern. Je höher die KAK ist, desto besser können pflanzenverfügbare Nährstoffe wie Kalium, Magnesium oder Calcium gebunden und von den Pflanzen aufgenommen werden. Die KAK hängt sowohl vom Gehalt an OSB, als auch von den Tonmineralien in den Böden ab.

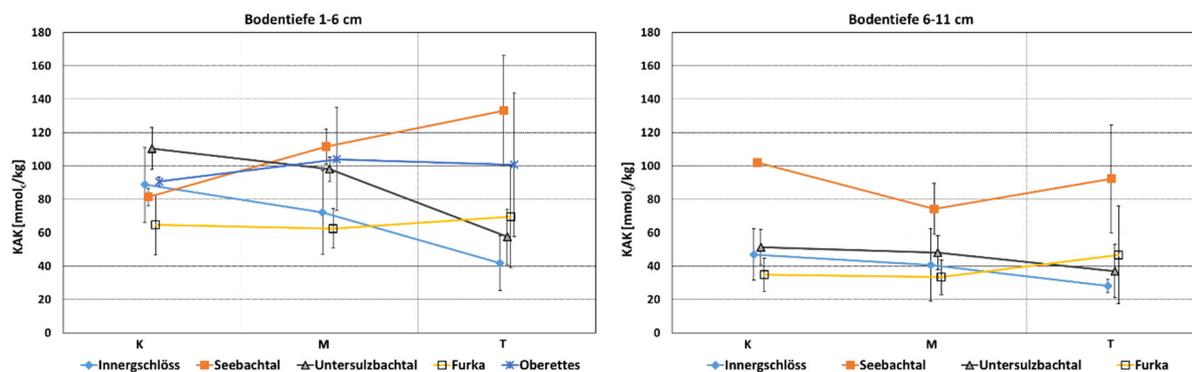


Abbildung 21: Kationenaustauschkapazität an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt

An den untersuchten Standorten wurde die höchste KAK im Seebachtal gemessen, gefolgt von Oberettes, Untersulzbachtal, Innerschlöss und Furka (Abbildung 21). Im Oberboden ergaben sich für drei Standorte Unterschiede zwischen den drei Bereichen 'K', 'M' und 'T' entlang des Gradienten der 'Habitatgunst': eine Abnahme von 'K' nach 'T' für Innerschlöss und das Untersulzbachtal, sowie eine Zunahme von 'K' nach 'T' für das Seebachtal. Nicht überraschend ist die KAK generell im Oberboden höher als in der tieferen Bodenschicht.

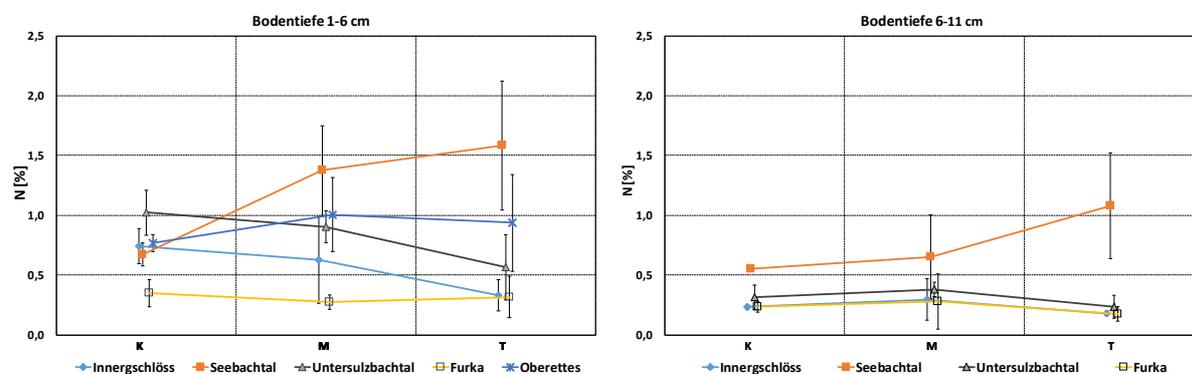


Abbildung 22: Gesamtstickstoff N an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt

Stickstoff und **Phosphor** sind wesentliche Makronährelemente für Pflanzen. Abbildung 22 stellt die Ergebnisse für den Gesamtstickstoff, Abbildung 23 für Phosphor (P_2O_5) dar. Die höchsten Werte wurden jeweils im Seebachtal gemessen, die niedrigsten auf der Furka. Im Oberboden wurden auch bei den beiden für das Pflanzenwachstum essentiellen Makronährstoffen Unterschiede zwischen den drei Bereichen 'K', 'M' und 'T' an den drei Standorten im NPHT gemessen: wie bei der KAK eine Abnahme von 'K' nach 'T' für Innerschlöss und das Untersulzbachtal, sowie eine Zunahme von 'K' nach 'T' für das Seebachtal. In der Bodenschicht 6-11 cm sind die Konzentrationen sowohl für den Gesamtstickstoff als auch für Phosphor mit Ausnahme des Standorts Seebachtal deutlich geringer.



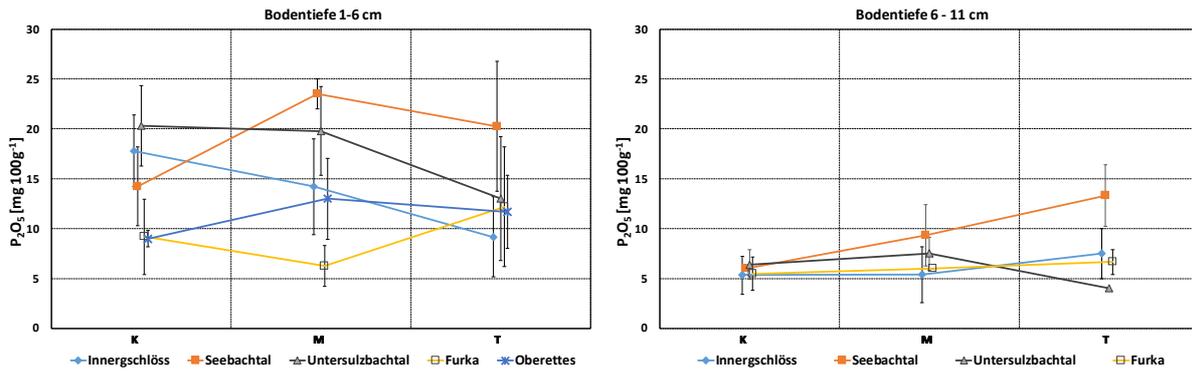


Abbildung 23: Phosphor (P₂O₅) an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt

d. δ¹⁵N

Der δ¹⁵N-Wert gibt das Verhältnis des stabilen Stickstoffisotops ¹⁵N im Verhältnis zum „normalen“ Stickstoff mit einer Molekularmasse von 14 an (¹⁴N) relativ zu einem Standard (N₂) an. Luftstickstoff hat den δ-Wert Null. Nahezu alle natürlichen Prozesse bevorzugen das leichtere Isotop, d.h. sie diskriminieren das schwerere. Dies hat zur Folge, dass in der Regel der zurückgebliebene Bodenstickstoff mit ¹⁵N angereichert ist, der δ¹⁵N-Wert nimmt zu und ist damit im Boden häufig positiv. Denitrifikations- und Nitrifikationsprozesse beeinflussen den δ-Wert. Dadurch erlaubt der δ¹⁵N-Wert der Böden Rückschlüsse auf das Ausmaß des mikrobiellen Umsatzes. Mikroorganismen diskriminieren gegen ¹⁵N, das sich daher im Boden anreichert.

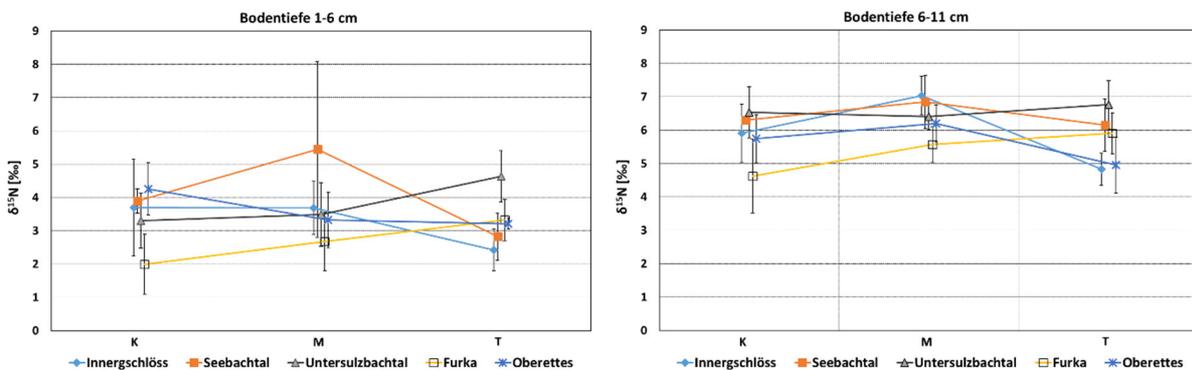


Abbildung 24: Stickstoffisotope an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt

Auf allen Standorten wurde eine Zunahme des δ¹⁵N-Wertes mit der Bodentiefe festgestellt (Abbildung 24, Tabelle 13). Insbesondere im Oberboden (1-6 cm), dem Bereich mit der stärksten Aktivität des Edaphons, ergaben sich Unterschiede sowohl entlang des Transektes der Habitatgunst als auch zwischen den Standorten. Auf der Furka (1-6 cm) zeigt sich ein eindeutiger Anstieg des δ¹⁵N -Wertes von 2 bis 3,5 ‰ vom optimalen ('K') bis zum pessimalen Bereich ('T'). Im Untersulzbachtal liegen die Werte (1-6 cm) generell etwas höher (3,4 bis 4,5 ‰), aber auch hier steigt der δ¹⁵N-Wert von 'K' nach 'T' an. Im Innergschlöss und Oberettes nimmt der δ¹⁵N-Wert von 'K' nach 'T' ab, wogegen im Seebachtal mit über 5 ‰ der insgesamt höchste Wert im mittleren Transektbereich gemessen wurde, aber kaum Unterschiede zwischen 'K' und 'T' erkennbar sind.

In der tieferen Bodenschicht (6-11 cm) ergab sich auf der Furka, dem Innergschlöss und auf Oberettes eine Änderung des δ¹⁵N-Wertes entlang des Gradienten von 'K' über 'M' nach 'T': Ein Anstieg von optimal nach pessimal auf der Furka, wogegen im Innergschlöss und Oberettes der δ¹⁵N-Wert von 'K' nach 'M' zunahm, und von 'M' nach 'T' wieder abnahm. Im Untersulzbachtal und im Seebachtal ist der Unterschied des δ¹⁵N-Wertes entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘ in der Bodentiefe 6-11 cm nur gering ausgeprägt.



Tabelle 13: $\delta^{15}\text{N}$ -Werte für alle untersuchten Bodenproben der Standorte Innerschlöss (IN), Seebachtal (SE), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU), Oberettes (OB). Schraffierte Zellen: eine Probenahme war aufgrund des geringmächtigen Bodens nicht möglich.

Plot	1-6cm	6-11cm	Plot	1-6cm	6-11cm
IN1_A2b	2,53		UN4_BTc	3,53	
IN1_BTd	1,70	5,31	UN4_C4a	3,31	7,04
IN1_C3c	2,65	7,27	UN5_A6d	3,69	7,72
IN1_CKa	4,73	5,93	UN5_C1a	4,92	6,05
IN2_C4d	4,86	7,60	UN5_CKc	2,41	
IN2_CKb	2,00	4,84	UN6_A3c	4,94	6,19
IN2_CTd	2,52	4,34	UN6_BTa	5,63	7,48
IN3_A6a/c	1,87	6,96	UN6_C5a	3,97	5,78
IN4_A4c	3,83	6,23	FU1_A2a	3,01	6,28
IN4_A8c	5,35		FU1_A6b	3,47	4,95
IN4_ATc	3,48		FU1_ATa	3,66	6,05
IN5_A3c	3,38		FU2_C3a	1,81	5,30
IN5_ATa/c	1,88		FU2_CKd	0,85	4,67
IN5_CKd	4,53		FU2_CTd	4,30	5,11
SE1_A5c	3,32	6,30	FU3_C4c	3,03	5,08
SE1_A6d	3,87		FU3_C7a	2,30	3,45
SE1_A7d	4,07		FU3_CTa	2,79	5,61
SE1_ATa	2,96		FU4_C1b	3,73	6,97
SE2_C2c	2,71	6,67	FU4_C4a	3,95	6,46
SE2_C5a	8,08	7,97	FU4_C7b	2,05	6,47
SE2_CTc	3,80	6,75	FU5_C3c	1,92	5,44
SE3_A1b	1,81	5,03	FU5_C5b	1,31	3,56
SE3_A4b	2,81	6,26	FU5_CTa	2,47	5,40
SE3_BKb	4,32	6,31	OB1_C1d	3,00	5,80
UN1_BKd	4,27	7,06	OB1_C4d	3,81	6,76
UN1_C4a	2,37	6,38	OB1_C6d	4,12	
UN2_A6a	3,51	6,36	OB2_C1d	3,24	4,12
UN2_C1c	4,46		OB2_C4d	2,14	
UN2_C3a	2,61		OB2_C6d	5,27	6,47
UN3_A3d	4,19	6,01	OB3_C1d	3,40	
UN3_C5a	1,99	5,74	OB3_C4d	4,01	5,64
			OB3_C7d	3,37	5,02

e. C/N-Verhältnis (aus der Isotopenuntersuchung)

Das C/N-Verhältnis ist eine wesentliche Kenngröße für die Nährstoffverfügbarkeit der Pflanzen. Je weiter es ist, desto nährstoffärmer ist der Boden. Der Stickstoff wird in organischer Bindung stabilisiert und ist so nicht mehr pflanzenverfügbar. Böden oder Fraktionen mit hohem Umwandlungsgrad bzw. hohen Abbauraten haben relativ enge C/N-Verhältnisse von 10 - 12. Abbildung 25 gibt einen Überblick über die für die Bereiche 'K', 'M', und 'T' gepoolten C/N-Werte aller Transekte pro Standort. Mit Ausnahme des Standortes Oberettes beträgt das C/N-Verhältnis im Oberboden im optimalen Bereich 'K' auf allen Transekten etwa knapp über 16. Nur Oberettes zeigt über den gesamten Transekt einen weitgehend konstanten Wert von 14. In allen anderen Untersuchungsgebieten ist eine Abnahme des C/N-Verhältnisses von 'K' nach 'T' auf 14 zu erkennen. Nur im Seebachtal bleiben die Werte auch in der Mitte der Transekte gleich hoch und fallen dann nach 'T' auf dieselben Werte ab, wie sie auch in den anderen Untersuchungsgebieten in diesem Bereich ermittelt wurden.



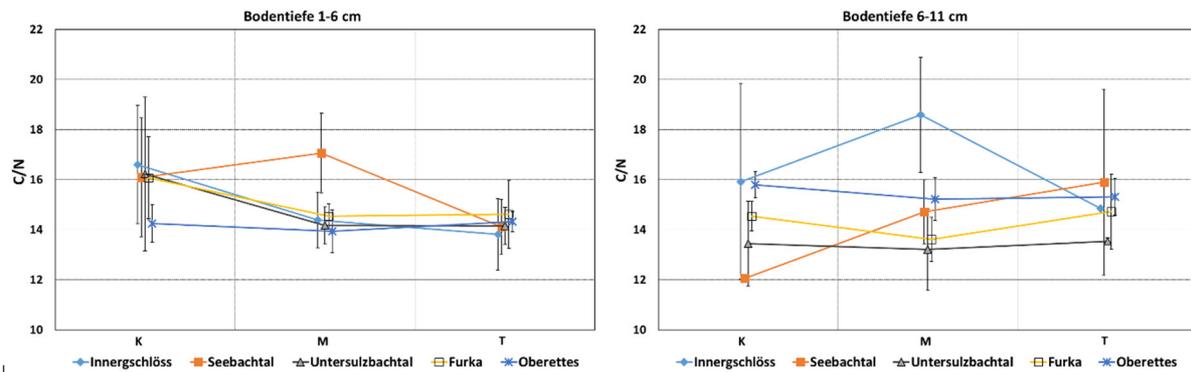


Abbildung 25: C/N Verhältnisse an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt

In der tieferen Bodenschicht waren an den Standorten Untersulzbachtal, Furka und Oberettes entlang des botanischen Gradienten von optimal nach pessimal weitgehend gleiche C/N-Verhältnisse, im Untersulzbach lagen sie bei ca. 13, auf der Furka knapp über 14 und in Oberettes wenig über 15. Auffällig ist der Verlauf in 6-11 cm für das Innerschlöss mit einem deutlichen Peak von über 18 in 'M'. Die Werte für 'K' und 'T' sind jedoch auf demselben Niveau wie die von Oberettes. Im Seebachtal ist ein deutlicher Anstieg von 'K' (C/N = 12) nach 'T' (C/N = 16) zu erkennen.

f. Pflanzliche Biomasse

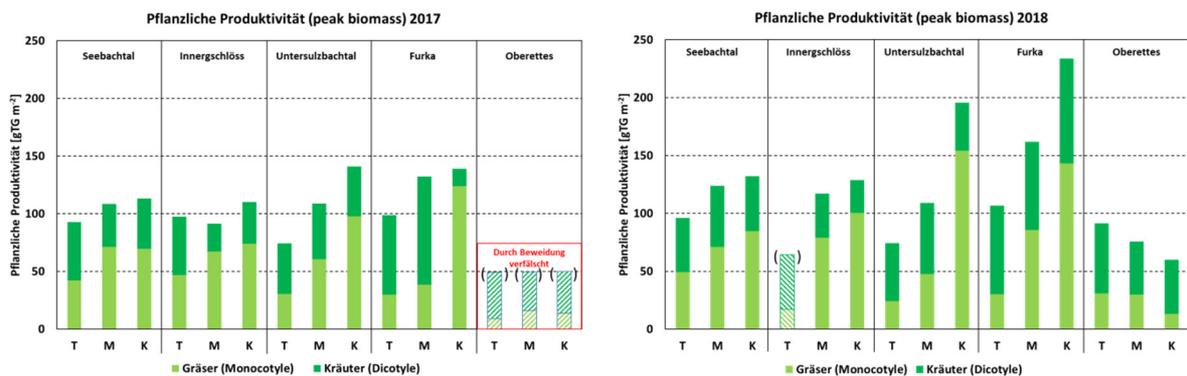


Abbildung 26: Pflanzliche Produktivität (peak biomass) 2017 (links) und 2018 (rechts). Mittelwert gepoolt über alle K, M und T Felder aller Transekte pro Standort. Die schraffierten Balken geben Biomassewerte an, die auf besondere Bedingungen zurückzuführen sind und dürfen daher nicht als Trend generalisiert werden. Dies wurde in der Grafik noch zusätzlich dadurch gekennzeichnet, dass die Balken in () gesetzt wurden. Durch das Eindringen von Schafen in die Umzäunung und die damit verbundene Beweidung sind die Werte aus Oberettes für 2017 nicht verwertbar (links). In Innerschlöss (T) erfolgte die Ernte 2018 in Bezug auf die Vegetationsentwicklung zu früh. Der Vegetationshöhepunkt war in T noch nicht erreicht.

Die Entwicklung der Biomasse gibt Auskunft über die Wachstumsbedingungen an den jeweiligen Standorten. Abbildung 26 zeigt die Menge der im aktuellen Jahr gebildeten oberirdischen Biomasse, ausgedrückt in g TG pro m² (TG = Trockengewicht), für die einzelnen Standorte gepoolt innerhalb der drei charakteristischen Bereiche entlang des Schneeschmelzgradienten ('T' - 'M' - 'K') für 2017 (links) und 2018 (rechts).

Die Ergebnisse unterstützen (mit Ausnahme von Oberettes) unsere Hypothese, dass entlang des Gradienten der 'Habitatgunst' die oberirdische Biomasse von 'T' nach 'K' zunimmt. 2018 wurde an allen Standorten mehr Biomasse gebildet als 2017 (mit Ausnahme des 'T'-Bereichs am Standort Innerschlöss, an dem die Ernte 2018 etwas zu früh erfolgte, was sich aber erst unmittelbar vor Ort zeigte) (Abbildung 27). Beide Aussagen gelten auch nicht für Oberettes. Der Jahresvergleich 2017/2018 war für den Südtiroler Standort nicht möglich, weil 2017 ein Teil der neu gebildeten Biomasse vor der Ernte durch eine Schafherde, die den Schutzzaun niedergetreten hatte, abgefressen wurde. 2018 wurden daher Weideausschlusskörbe verwendet, sodass es zu keinem Biomasseverlust durch Weide- oder Wildtiere

kommen konnte. Die Ergebnisse von 2018 zeigen ein im ersten Moment überraschendes Bild: im Gegensatz zu allen übrigen untersuchten Standorten nahm die Biomasse entlang des Gradienten der Habitatgunst von 'T' nach 'K' ab und nicht zu.

Auf allen Standorten verschob sich das Verhältnis Kräuter zu Gräsern entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘. In 'T' dominierten die Kräuter, in 'K' die Gräser. 2018 war dieser Trend noch ausgeprägter. Ausnahme war wieder der Standort Oberettes, bei dem ein gegensätzlicher Trend zu allen anderen Standorten zu erkennen ist: Sowohl die Biomasse als auch der Gräseranteil nimmt von 'T' nach 'K' entgegengesetzt dem Gradienten der ‚Habitatgunst‘ ab.

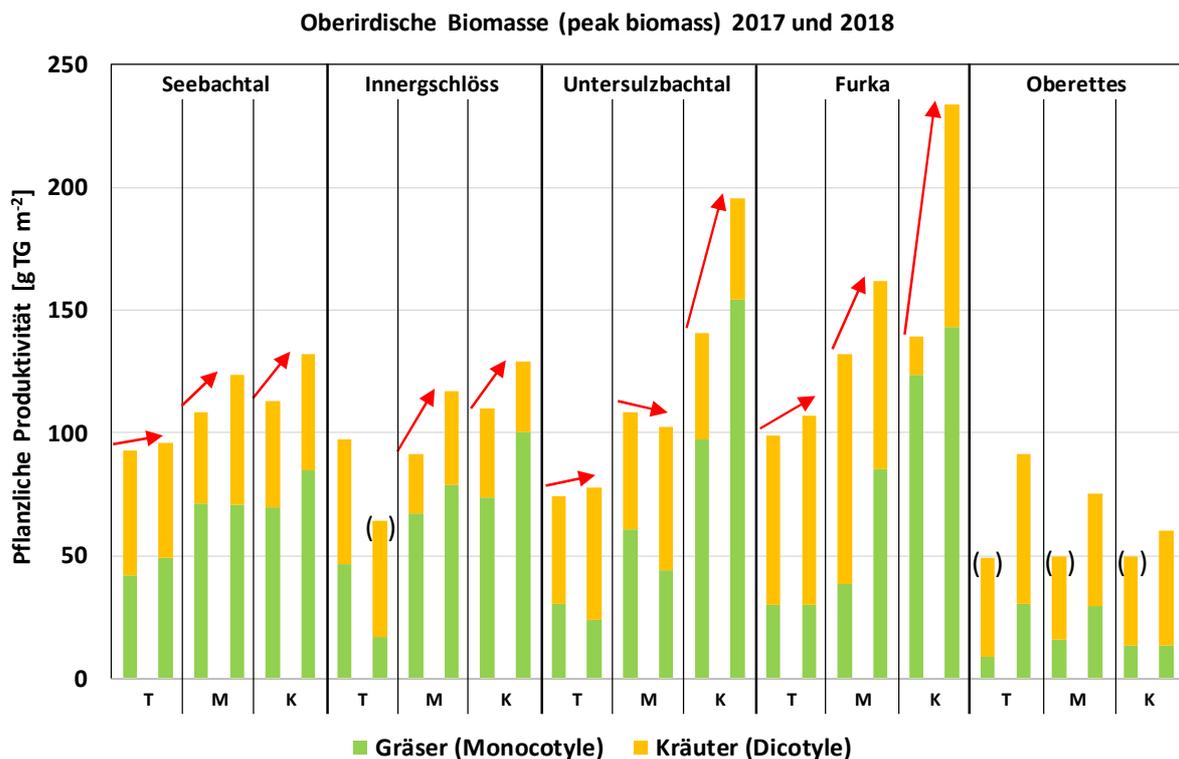


Abbildung 27: Biomassevergleich zwischen den Jahren 2017 und 2018. Die Werte für Innergschlöss (T) entstammen einer zu frühen Ernte und sind daher nicht als repräsentativ anzusehen. Für Oberettes ist die Angabe eines Trends nicht möglich, da die Werte aus der Ernte 2017 durch Beweidung nicht repräsentativ waren. Daher sind die entsprechenden Daten jeweils mit einer () gekennzeichnet.

Im Jahr 2017 wurde zusätzliche zur oberirdischen Pflanzenbiomasse auch die Wurzelbiomasse beprobt (Abbildung 28). Für alle Standorte gilt, dass das Wurzel-Spross-Verhältnis, wie bei alpinen Pflanzen bereits mehrfach nachgewiesen (Körner und Renhardt 1987, Körner 2003) sehr hoch ist, da alpine Pflanzen eine deutlich höhere Kohlenstoffallokation in die Wurzeln aufweisen. Die Messdaten unterstützen – mit Ausnahme des Seebachtals, in dem es keinen eindeutigen Trend gibt – die Hypothese, dass auch die Wurzelmasse entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘ von 'T' nach 'K' zunimmt. Dies gilt auch für den Standort Oberettes, der ja bei der oberirdischen Biomasse einen entgegengesetzten Trend aufweist. Dies ist ein eindeutiges Indiz, dass der gegenteilige Trend der oberirdischen pflanzlichen Produktivität in Oberettes (Zunahme von optimal nach pessimal) im Vergleich zu den übrigen vier Standorten eine Folge des starken, vermutlich schon seit Jahrhunderten herrschenden Beweidungsdrucks ist. Die Pflanzen haben sich an diesen Beweidungsdruck sowohl in der Abundanz der funktionellen Gruppen Gräser und Kräuter, als auch in der Morphologie angepasst. Gräser sind höherwüchsiger und werden daher leichter abgeweidet, am besten sind flach ausgebreitete Kräuterblätter unmittelbar in Bodennähe vor Fraß von Weide- und Wildtieren geschützt (vgl. dazu z.B. Tappeiner 1985). Entsprechend ist in Oberettes auch der Kräuteranteil in allen Bereichen der Transekte ('K', 'M' und 'T') höher als der Gräseranteil.

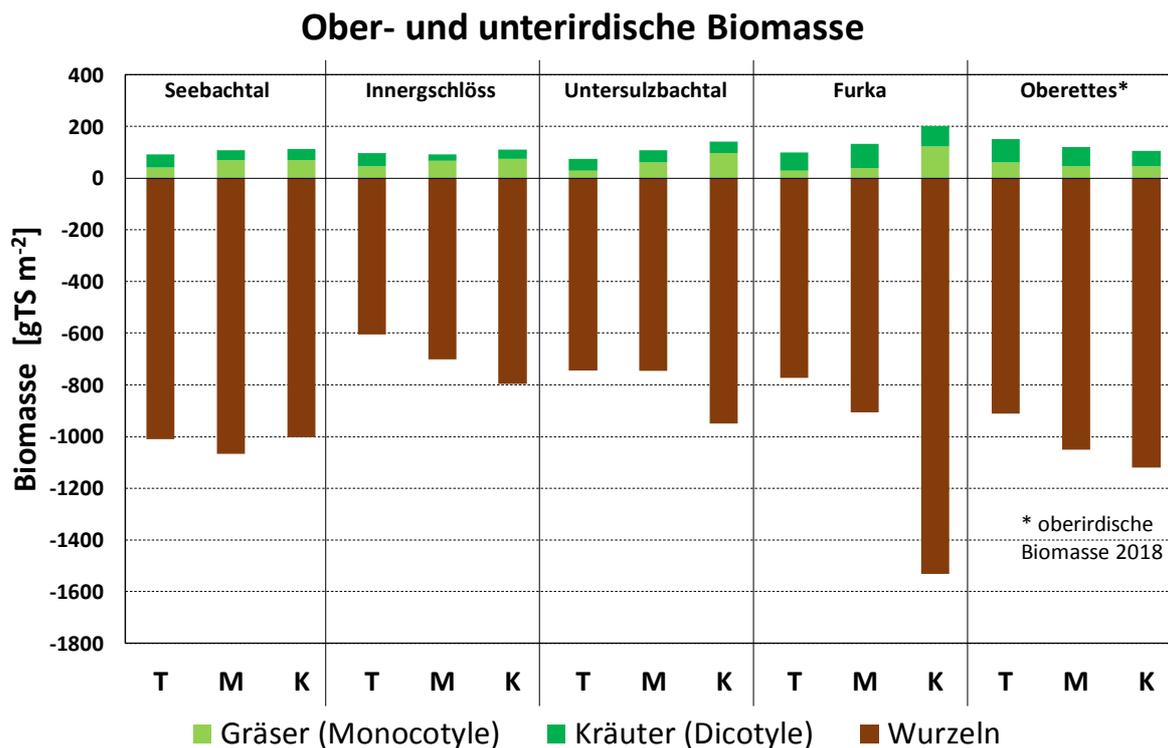


Abbildung 28: Biomasse (oberirdisch und unterirdisch) für das Messjahr 2017 (mit Ausnahme Oberettes, dort wurde die oberirdische Biomasse von 2018 verwendet, weil die Daten von 2017 aufgrund einer Schafbeweidung vor der Ernte fehlerbehaftet waren). Mittelwert über die K, M und T Bereiche aller Transekte pro Standort.

Interpretation und Diskussion

a. Präambel

Wie bereits in der Einleitung dargestellt, erfolgt aus mehreren Gründen in diesem Abschnitt keine umfassende Diskussion der erhobenen Daten. Einer der Gründe dafür ist die naturgemäß sehr deskriptive Darstellung der Ergebnisse der Standortcharakterisierung, die einerseits als Interpretationsgrundlage für die biotischen Erhebungen dient und andererseits eine wichtige Basis ist, um in den kommenden Jahrzehnten des Monitorings Systemänderungen beobachten und interpretieren zu können. Die erhobenen Daten sind vielfach erst der Ausgangspunkt für ein langfristiges Monitoring und gewinnen ihren Wert mit der geplanten langjährigen Reihe, in der Variabilitäten und Trends herausgefiltert werden können. Weiters wurde, dem Wunsch des Förderers entsprechend, sehr viel Zeit in das Methodenhandbuch investiert, sodass eine weiterführende statistische Auswertung und Einordnung in die Literatur bei weitem den Projektumfang sprengen würde. Last but not least liegt es aber in unserem intrinsischen Interesse als Forscher*innen die Ergebnisse wissenschaftlich in Fachzeitschriften zu veröffentlichen. Dafür werden wir – ohne dass Kosten für den NPHT entstehen – gezielt weiterführende Analysen und eine Testung der Hypothesen durchführen.

b. Standortcharakterisierung

Um die natürlichen Veränderungen in Biozönosen bei konstanter Umwelt von Veränderungen, die durch eine sich ändernde Umwelt induziert werden, zu unterscheiden, ist es unumgänglich in einem Monitoring die abiotischen Umweltparameter, wie auch die Organismen und deren Interaktionen zu erfassen. Für unsere Fragestellung besteht die abiotische Umwelt im Wesentlichen aus den Rahmenbedingungen die Klima und Boden liefern, wobei der Boden selbst ein Produkt der Biozönose ist, und in starker Wechselwirkung mit den Organismen steht und mit ihm 'reift' (Sukzession) (vgl. Körner 2019).



Gegenüber einer klassischen meteorologischen Standortcharakterisierung unterscheidet sich unser Ansatz darin, dass wir einen stärkeren Fokus auf das unmittelbar für die Organismen relevante Bestandes- (oder Bio-) Klima legen als auf eine klassische mesoklimatische Beschreibung der Standorte. Allerdings legen wir durch die standardisierte Erfassung der Lufttemperatur (und Luftfeuchte) bei jedem Standort die Basis für einen Vergleich der ausgewählten Transekte mit nach dem WMO Standard (World Meteorological Organization 2012) ausgerüsteten Makroklimastationen in der Umgebung der ausgewählten Transekte. Damit bietet sich die Möglichkeit, unsere Daten mittelfristig an das meteorologische Messnetz etwa der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) in Österreich bzw. von MeteoSchweiz (für die Furka) oder des Südtiroler Hydrographischen Amtes (Oberettes) anzukoppeln, und damit auch an das weltumspannende meteorologische Netz. Dazu müssen allerdings erst die Korrelationen zwischen den an den Standorten erfassten Daten und den makroklimatischen Standarddaten berechnet werden. Es bietet sich an, dazu mehrjährige Messreihen zu verwenden, um die witterungsbedingten Variationen in den Jahren besser abbilden zu können. Trotzdem bieten die Daten der Lufttemperatur gute Möglichkeiten die Standorte klimatisch zu vergleichen und interannuelle Variabilitäten z.B. in der Schneedeckenandauer oder in den Wachstumsbedingungen zu interpretieren. So war der Winter 2016/17 einerseits durch einen späten Winteranfang und damit einhergehend durch ein sehr spätes Einschneien gekennzeichnet. Andererseits war die Gesamtmenge an Schnee in diesem Winter unterdurchschnittlich. Das Frühjahr 2017 war jedoch sehr kalt und unbeständig, so dass sich die Ausaperungsperiode an den Standorten deutlich verlängerte. Die Witterungsbedingungen waren im Winter 2017/18 genau gegenläufig. Im Herbst 2017 schneite es in den Hochlagen sehr früh und die Gesamtschneemenge war im Winter 2017/18 sehr groß. Speziell im Spätwinter fielen in den Hochlagen große Mengen an Neuschnee. Andererseits war das Frühjahr 2018 durch eine sehr rasche Erwärmung und damit auch durch ein sehr rasches Abschmelzen des Schnees gekennzeichnet, mit einer Abweichung auf der Furka, die 2018 extreme Schneehöhen aufwies. Das rasche Ausapern im Frühjahr 2018 war aber vor allem auf die optimalen 'K' Bereiche der Transekte beschränkt. In den pessimaleren Bereichen 'M' und 'T' führte die große Schneemenge 2018 zu einer verzögerten Ausaperung zwischen 'K' und 'T' von teilweise mehr als einem Monat. Der Ausaperungsgradient war daher im Jahr 2018 wesentlich steiler als 2017.

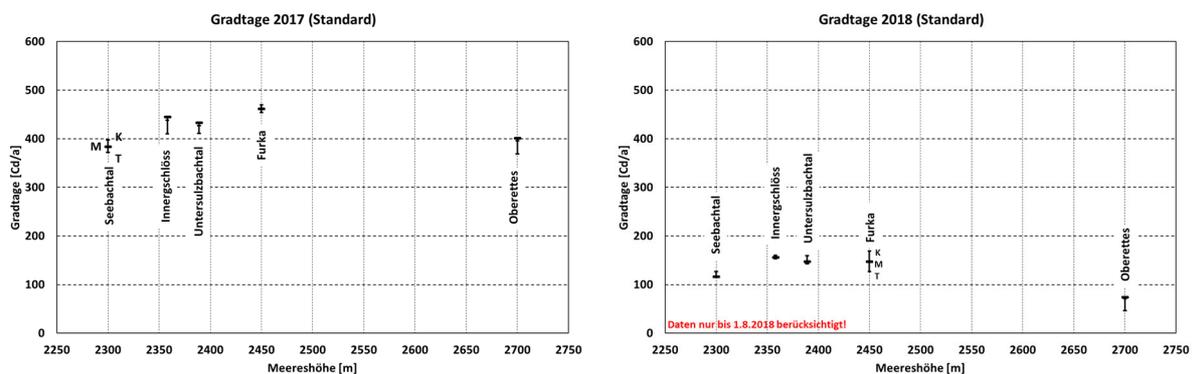


Abbildung 29: Standardisierte Gradtage in [Cd/a] aller Standorte für eine standardisierte Zeitperiode (links 5.7.2017 bis 7.8.2017, rechts 20.7.2018 bis 1.8.2018). Der Beginn der Zeitperiode ergibt sich dadurch, dass alle Transekte an allen Standorten schneefrei sind. K, M und T stehen für Gradienten der ‚Habitatgunst‘ in den Transekten von optimal (K) über einen mittleren Bereich (M) bis pessimal (T)

Aufgrund der unterschiedlichen Schneeschmelze an den Standorten und den 'K-', 'M' -und 'T'-Bereichen der Transekte wurde ein standardisierter Vergleich der Bodentemperaturen zwischen den Standorten anhand von Gradtagen durchgeführt. Dafür wurde nur die schneefreie Zeit verwendet, und zwar der Zeitraum zwischen dem vollständigen Ausapern des allerletzten Transekts an allen Standorten und damit ein für alle Gebiete identisches Datum. Für das Jahr 2017 war dies die Zeitperiode vom 5. Juli bis zum 8. August 2017. Das Ergebnis zeigt, dass die so berechneten Wärmesummen für alle 6 Standorte auf etwa dem gleichen Niveau liegen (Abbildung 29, links). Unterschiede, die durch die Unterschiede in der Meereshöhe erklärbar wären, liegen nicht vor. Daraus lässt sich klar ableiten, dass die klimatischen Bedingungen, wie sie unmittelbar auf die untersuchten Organismen wirken, trotz eines Höhenunterschieds von 400 m zwischen den 5 Standorten bis auf das Seebachtal, welches tendenziell kühler ist, durchaus vergleichbar sind. Die geringe Streuweite der Werte zeigt auch, dass der Unterschied innerhalb der Transekte zwischen „Optimal“ (K) und „Pessimal“ (T) sehr klein ist. Dass dies keine Besonderheit des Jahres 2017 ist zeigt der Vergleich mit 2018 (Abbildung 29, rechts). Aufgrund des späteren Ausaperns auf allen Standorten um 15 Tage im Jahr 2018 gegenüber 2017 und der Tatsache, dass zum Berichtszeitpunkt nur Daten bis zum 1.8. für alle Standorte vorlagen, ist die hier berücksichtigte

Zeitspanne zwar kürzer und damit die Wärmesumme angegeben in Gradtagen_{≥5°C} auch deutlich niedriger, die generelle Aussage, auch was die kühleren Bedingungen für das Seebachtal betrifft, bestätigt sich aber auch für 2018 (Tabelle 14 im Anhang).

Die für das Pflanzenleben oberhalb der oberen Waldgrenze relevanten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen unterschieden sich wesentlich vom Mesoklima, da sie stark von der Topographie und von der Wuchsform der Pflanzen beeinflusst sind. Daher sind für das Pflanzenwachstum niederwüchsiger Bestände die Bestandestemperaturen und nicht die Lufttemperaturen ausschlaggebend (Cernusca 1976a, 1976b; Tappeiner & Cernusca 1996). Aufgrund der Topographie aber auch der Wuchsformen der Pflanzen variiert das Bestandesklima im Gebirge häufig sehr kleinflächig und ist zudem insbesondere an Klartagen deutlich vom Makroklima atmosphärisch entkoppelt (Körner & Cochrane 1983, Scherrer & Körner 2011, Heini et al. 2012). Dies ist speziell während der Vegetationsperiode von größter Bedeutung. Da eine direkte Messung des eigentlichen Bestandesklimas in dieser Studie nicht möglich ist, können näherungsweise auch die Bodentemperaturen in der Tiefe von 3-4 cm herangezogen werden. Die Untersuchungen belegen klar, dass diese methodische Vorgangsweise für ein Langzeitmonitoring sehr gut geeignet ist (Abbildung 30). Am Beispiel des Transekts 1 im Innergschlöss (2017) wurde eine lineare Regression für die Wachstumsperiode 2017 zwischen den unmittelbar am Standort gemessenen Tagesmittelwerten der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in 'K' (links) und 'T' (rechts) berechnet.

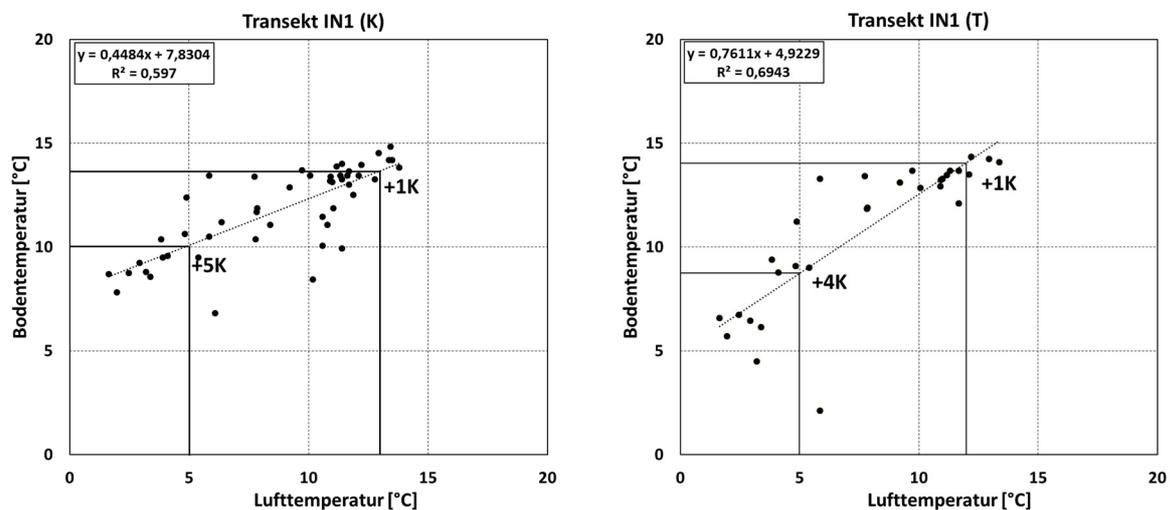


Abbildung 30 (links): Lineare Regression zwischen Boden und Lufttemperatur des Transektes Innergschlöss 1 in den Bereichen K (links) und T (rechts) während der Wachstumsperiode 2017. Speziell eingezeichnet sind die großen Unterschiede zwischen Boden- und Lufttemperatur bei einer tieferen Lufttemperatur (5°C) und bei einer höheren Lufttemperatur (12-14°C, je nach Bereich)

Die mittlere Bodentemperatur lag erwartungsgemäß in beiden Fällen über der Lufttemperatur. Allerdings zeigen sich zwei interessante Phänomene: (1) bei einer niedrigen Lufttemperatur ist die Bodentemperatur im Mittel deutlich höher (im 'K'- Bereich um 5°C und im 'T'-Bereich um 4°C in unserem Beispiel), wogegen (2) bei höheren Lufttemperaturen der Unterschied zur Bodentemperatur geringer wird. Dies hat eine große ökologische Bedeutung für das Pflanzenwachstum, da zwar die Photosynthese bei Pflanzen alpiner Lagen ein sehr breites Optimum hat und auch bei Temperaturen unter 0°C funktioniert - solange das Wasser in den Zellen nicht gefriert - das Wachstum aber erst bei ca. +5°C erfolgt (Körner 2012). Die Bodentemperatur ist nicht nur als Wachstumsfaktor für das Wurzelsystem der Pflanzen sondern auch für das Wachstum und die Aktivität des Edaphons von Bedeutung. Die Bodenarten waren in allen untersuchten Böden an den Standorten schluffiger bis lehmigen Sand mit einem (mit Ausnahme von Oberettes) sehr geringen Tongehalt. Sie sind damit als „warme Standorte“ nach Amelung et al. 2018 einzustufen, da sie sich im Gegensatz zu staunassen tonigen Böden im Frühjahr schnell erwärmen, was einen sehr frühen Beginn des Pflanzenwachstums ermöglicht, ein entscheidender Vorteil bei einer kurzen schneefreien Periode. Sie kühlen allerdings bei sinkenden Temperaturen auch entsprechend schneller ab. Die Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen bestätigen diese Aussage.

Die getrennte Erfassung der Bodentemperatur in den 'K-', 'M' -und 'T'-Bereichen der Transekte hatte aber den primären Grund - damit sehr kleinräumig aufgelöst - die schneefreie Zeit und daher indirekt die Wachstumsperiode zu erfassen. Unsere Hypothese war, dass eine Schneebedeckung aufgrund der Isolationswirkung einer natürlichen Schneedecke (die

ein hohes Luftvolumen aufweist) zu einer weitgehend konstanten Bodentemperatur um 0°C führen wird und schneefreie Perioden rasch durch starke Änderungen der Bodentemperaturen erkennbar werden (vgl. Cernusca 1976b). Die Ergebnisse zeigen, dass dies methodisch sehr gut funktioniert. Einen Beleg dazu liefert wieder Transekt 1 im Innergschlöss. Abbildung 31 zeigt einen typischen Jahresverlauf der Bodentemperatur vergleichend für den 'K'- und 'T'-Bereich. Die Bodentemperaturen lagen während des Winters kaum unter dem Gefrierpunkt. Dies ist ein Hinweis dafür, dass der Boden durch die Schneedecke vom Auskühlen geschützt war. In der Zeitperiode von Mitte Jänner bis Anfang Februar war allerdings der oberste Bereich ('K'), vermutlich durch Windverfrachtung, schneefrei. Dies ist deutlich am Sinken der Bodentemperatur auf Werte um -3,5°C zu erkennen. Nach erneutem Einschneien stieg die Bodentemperatur aufgrund von Wärmenachfuhr aus tieferen Bodenschichten wieder bis auf nahezu 0°C an. Ebenso wie das Auftreten von Schneefreiheit während des Winters ist aber auch der Zeitpunkt des Ausaperns im Frühjahr aus den Bodentemperaturen gut erkennbar. Das Ausapern zeigt sich eindeutig durch einen plötzlichen starken Anstieg der Bodentemperatur. Im hier gezeigten Beispiel war dies für 'K' der 2. Juni, für 'T' der 28. Juni. Während der schneefreien Zeit ergaben sich kaum mehr Unterschiede zwischen den Bodentemperaturen entlang des Transektes, optimale und pessimale Bereiche unterschieden sich, wie erwartet, in der Ausaperungszeit und damit in der Länge der Vegetationszeit, aber nicht generell in den Bodentemperaturen während der schneefreien Zeit. Die Daten liefern genau das, wofür sie erhoben werden: ein genaues ‚Festzurren‘ des Zeitpunktes, ab dem die verschiedenen Bereiche entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘ schneefrei werden und sind damit eine wesentliche Grundlage für die Interpretation der Biomasseentwicklung.

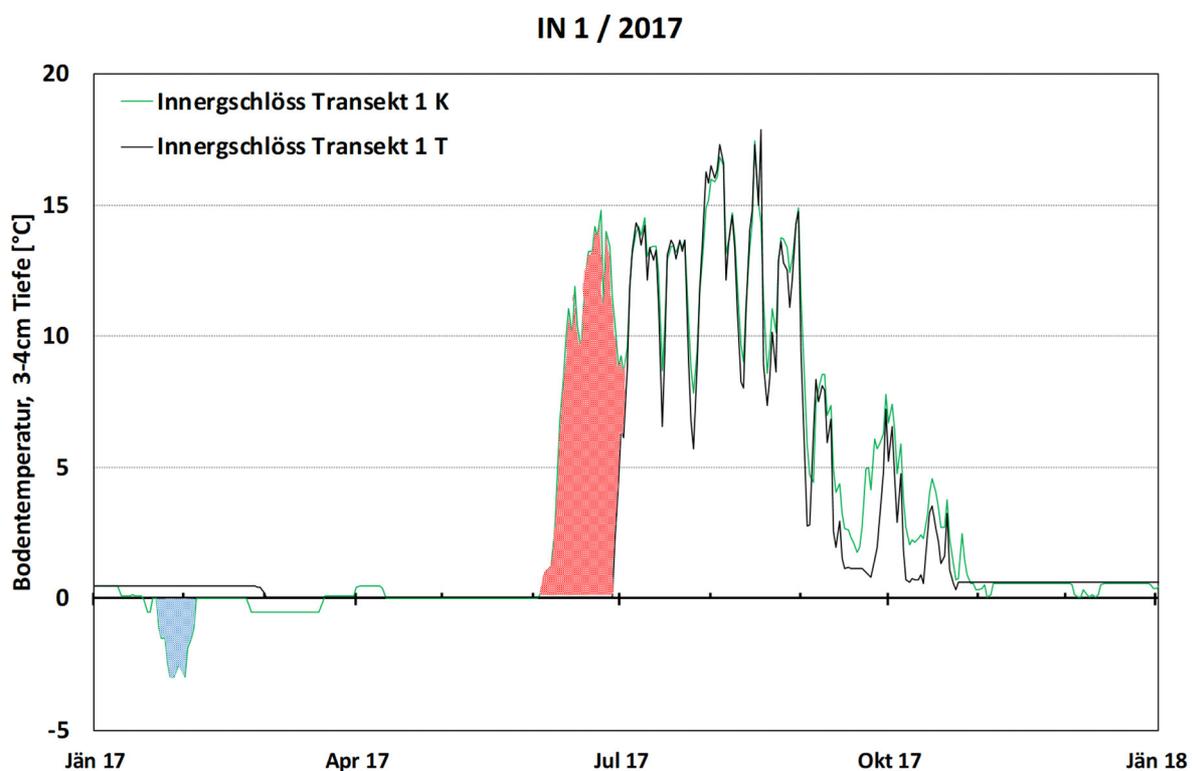


Abbildung 31: Jahresverlauf der Bodentemperatur im K und T Bereich auf Transekt 1 im Innergschlöss. Dieses Beispiel zeigt eindrücklich, dass unsere Hypothese, die schneefreie Zeit durch Messung der oberflächennahen Bodentemperatur zu bestimmen, unterstützt wird. Der blau schraffierte Bereich zeigt, dass der K - Bereich im Februar kurz schneefrei war, dann aber wieder eingeschneit wurde. Der rot schraffierte Bereich zeigt, dass der K- Bereich deutlich früher (Anfang Juni) ausaperte, als der T - Bereich (Ende Juni)

c. Bodenphysikalische und bodenchemische Charakterisierung der Untersuchungsstandorte

Die physikalischen und chemischen Parameter des Bodens charakterisieren die jeweiligen Standortbedingungen für Pflanzen aber auch für Bodentiere und Bodenmikroorganismen. Wenige typische physikalische Eigenschaften charakterisieren Böden. Diese wesentlichen Kenngrößen sind die Körnung und das Gefüge. Viele anderen physikalischen Eigenschaften, die den Wasser- und Lufthaushalt eines Bodens kennzeichnen, sind mit den beiden oben



angesprochenen Eigenschaften korreliert (vgl. dazu Amelung et al. 2018). Die Körnung wurde für alle untersuchten Standorte direkt erfasst, das Gefüge indirekt vor allem über die Lagerungsdichte. Die Körnigkeit und die durch die Lagerung dieser Körner gegebene Porosität bestimmen wieviel Platz für Wasser, Luft, Wurzeln und Bodentiere vorhanden ist, aber auch die für mikrobielle Aktivitäten und den Nährstoffhaushalt so wichtige Oberfläche. Die im Rahmen der vorliegenden Studie erfassten Bodenparameter Körnung, Lagerungsdichte, Porenvolumen und organische Substanz bilden daher die ideale Voraussetzung um Aktivitäten des Edaphons, aber auch Transportvorgänge und Verlagerungen im Nährstoffhaushalt zu interpretieren. Allerdings darf dabei nicht vergessen werden, dass durch Klima und Witterung bedingt, nichtstationäre und periodisch ablaufende Bodenprozesse eine große Dynamik aufweisen.

Die schluffigen bis lehmigen Sandböden an den Standorten erwärmen sich rasch im Frühjahr (siehe oben), was sich über den Bodenwärmehaushalt nach der langen Winterperiode positiv auf die Organismen auswirkt. Zudem bewirkt die dunkle Farbe der bodenorganischen Substanz im Oberboden eine stärkere Absorption der Strahlung und begünstigt damit ebenfalls die Erwärmung der Böden im Frühjahr. Allerdings sind stark sandige Böden auch dadurch charakterisiert, dass sie stark dränen und damit wenig Bodenwasser speichern können. Auf unseren Standorten gibt es aber dazu einen „Gegenspieler“, und zwar die hohe Konzentration an bodenorganischer Substanz. Die OBS übt einen entscheidenden Einfluss auf alle Bodenfunktionen aus. So ist etwa ihr Adsorptionsvermögen für die Bindung vieler Nährstoffe und damit für die Kationenaustauschkapazität wichtig (Amelung et al. 2018). Dies gilt insbesondere für tonarme, sandige Böden, wie sie an unseren Standorten vorkommen. Weiters spielt die OBS eine wichtige Rolle für das Aggregatgefüge im Boden und beeinflusst sehr stark funktional die bodenphysikalischen Eigenschaften (Rühlmann & Körschens 2009). So zeichnen sich etwa Böden mit höheren Gehalten an organischer Substanz durch eine höhere Porosität und niedrigere Lagerungsdichte, sowie ein deutlich höheres Wasserspeichervermögen bei nutzbarer Feldkapazität aus. Zudem verringert die erhöhte Aggregatstabilität die Verschlämungsneigung, ein wichtiger Aspekt für den Lufthaushalt eines Bodens. Außerdem beeinflusst eine große OBS über ihren Einfluss auf die Feldkapazität auch die Geschwindigkeit der Auswaschung von Nährstoffen. Unter gegebenen Niederschlägen erfolgt eine Verlagerung der Nährstoffe in tiefere Bodenschichten umso später, je höher die Feldkapazität und damit das Wasserspeichervermögen des Bodens ist (Amelung et al. 2018). Die Nährstoffauswaschung kann durchaus in den klassischen oligotrophen Böden in der alpinen Stufe kombiniert mit den größeren Niederschlagsmengen im Sommer, insbesondere an der Nordabdachung der Alpen, den Nährstoffhaushalt des Bodens negativ beeinträchtigen. Allerdings ist dabei auch zu beachten, dass viele alpinen Pflanzen durch ihren hohen Anteil an Wurzeln (insbesondere Feinwurzeln) - wie er auch in der vorliegenden Studie gemessen wurde, in Kombination mit einer starken Mykorrhizierung - Nährstoffe sehr rasch aufnehmen können. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der hohe Anteil der OBS an den Standorten daher sehr wesentlich für viele „positive“ Eigenschaften der Böden für den Wärme-, Wasser- und Nährstoffhaushalt und die Aktivität des Edaphons ist.

Im vorliegenden Projekt wurden auch die Nährstoffpools aller Makronährelemente sowie einiger Mikronährelemente (Mangan, Eisen), sowie Aluminium erfasst. Zwar stehen den Pflanzen potentiell umso mehr Nährstoffe zur Verfügung, je größer der Nährstoffvorrat im Boden ist, allerdings ist dabei zu beachten, dass die Pools nicht unmittelbar die Flüsse bedingen. Für die Pflanzenverfügbarkeit von Nährelementen ist es entscheidend, (1) in welcher chemischen Form (anorganisch, organisch) die Nährelemente vorliegen, (2) ob sie bereits in der Bodenlösung oder gebunden an Feststoffe im Boden in leicht, mäßig oder schwer mobilisierbarer Form vorliegen, oder überhaupt langfristig in Aggregaten gebunden sind und (3) in welcher Relation die verschiedenen Nährelemente zueinander oder zu Schadelementen vorliegen. So erniedrigen etwa Aluminiumionen (Al^{3+}) in stark versauerten Böden die Aufnahme von K^{+} , Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen (Amelung et al. 2018). Alle im Rahmen dieser Studie untersuchten Böden haben pH-Werte zwischen 3,5 und 4,5 und werden daher als sehr stark sauer bis stark sauer klassifiziert. Dies wirkt sich sicherlich negativ auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen aus. Bei diesen niedrigen pH-Werten ist etwa die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor, Calcium, Magnesium und Kalium beeinträchtigt.

d. Biomasse

Die Messdaten der pflanzlichen Produktion von nur zwei Untersuchungsjahren zeigen bereits eine starke interannuelle Variabilität, wobei der Trend entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘ erhalten bleibt, mit der höchsten pflanzlichen Produktion im optimalen Bereich (‘K’) und der geringsten im pessimalen Bereich (‘T’). Ausnahmen bilden nur ‘T’ im Innergschlöss, wo 2018 zu früh geerntet wurde sowie Oberettes, das einen genau gegenteiligen Trend (Zunahme der Biomasse von optimal zu pessimal) aufweist. Dieser Standort ist durch einen vermutlich seit Jahrhunderten extremen Beweidungsdruck gekennzeichnet. Der Rasen wird ohne Schutzkörbe auf 2 cm abgegrast und erinnert an entsprechende

Rasen in Osttibet oder im Kaukasus (Körner 2019). Oberettes bietet daher im Konzert der übrigen Standorte die Möglichkeit, langfristig die Wechselwirkungen von Klimawandel und einer extremen Landnutzung zu untersuchen.

Um Fehler, wie im Innergschlöß durch eine zu frühe Ernte, zu vermeiden, d.h. um die genauen Erntezeitpunkte anhand der Phänologie in Zukunft besser abschätzen zu können, könnte man an den Standorten entsprechende Webcams montieren, und sich damit auch in das „European Phenology Camera Network EuroPhen“ einklinken, in dem allerdings bisher primär Waldstandorte vorhanden sind (Wingate et al. 2015).

Anhand der bisher vorhandenen kurzen Datenreihe kann auch nicht schlüssig erklärt werden, warum die pflanzliche Produktivität 2018 auf allen Standorten (ohne Berücksichtigung von Oberettes und den T'-Bereich im Innergschlöß, wo fehlerbehaftete Daten vorlagen) deutlich höher war als 2017. Die meisten Transekte aperten 2018 trotz der viel höheren Schneemenge des Winters 2017/18 aufgrund des warmen Frühsommers früher als 2017 aus, allerdings wirkte sich dies auch auf die phänologische Entwicklung aus, sodass die Erntezeitpunkte früher gewählt wurden. Die für das Ergebnis der pflanzlichen Produktivität relevante Anzahl der Wachstumstage bis zur Ernte oder die damit hochkorrelierte Wärmesumme bis zur Ernte war aber 2018 geringer als im Vorjahr, sodass eigentlich eine geringere pflanzliche Produktivität zu erwarten wäre. Erst eine detailliertere Analyse sowohl der Temperaturverläufe im Detail, aber vor allem auch ein Vergleich von Daten weiterer Messjahre wird hier eine Erklärung liefern können.

Die vorliegenden nur zweijährigen Ergebnisse zeigen sowohl die Bedeutung eines Langzeitmonitorings als auch die Notwendigkeit langfristig zu messen auf. Wie Körner (2018) betont, liegt die 'Crux' jedes Langzeitmonitorings in Natursystemen in der 'normalen' zeitlichen Variabilität. Kann die saisonale Variabilität nicht durch phänologische Fixpunkte (z.B. Blühphänologie) berücksichtigt werden, so bleibt die Variabilität von Jahr zu Jahr eine große Herausforderung. In großem zeitlichen Abstand (mehrere Jahre oder Jahrzehnte) durchgeführte Datenerfassungen können im schlimmsten Fall zufällig ein Minimum und ein Maximum der natürlichen Amplitude erfassen und somit zu einer massiven Überschätzung oder Unterschätzung des tatsächlichen Trends führen. Es muss also diese Variabilität gut (jährlich) abgebildet werden, um einen derartigen 'bias' zu vermeiden (Abbildung 32). Daher sind gerade die für das terrestrische Langzeitmonitoring im NPHT gewählten Modellökosysteme entlang eines Gradienten der Schneeschmelze und damit der Habitatgunst besonders gut geeignet, weil es sich um reife Ökosysteme handelt, in denen sich stabile Biozönosen etablieren konnten, die ein vergleichbares Beharrungsvermögen besitzen (z.B. klonaler Wuchs), also nicht jeder Wetterkapriole 'nachspringen' (vgl. Körner 2018).

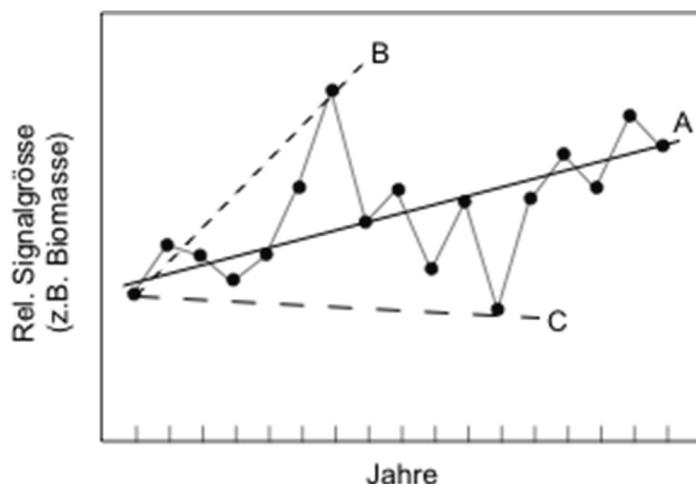


Abbildung 32: Problem der Jahres-Schwankungen von Signalen bei Langzeitbeobachtungen mit großen Beobachtungsintervallen. Schlussfolgerungen B und C weichen stark vom korrekten Trend A ab (aus Körner 2018)

e. Eignung der Dauerbeobachtungsflächen/Probstellen

Da Körner (2019) im Detail die Kriterien für die Auswahl geeigneter Standorte und Transekte beschreibt und die ausgewählten Standorte nach diesen Kriterien auch in Bezug auf Modul 01 evaluiert, wird hier aus Gründen der Redundanz auf Körner verwiesen.

Ausblick

Entsprechend dem Wunsch des Förderers sei an dieser Stelle auf die beiden unten angegebenen Unterpunkte a. und b. eingegangen. Unabhängig davon möchten wir an dieser Stelle aber auch betonen, dass weiterführende wissenschaftliche Analysen der erhobenen Daten und Publikationen relevanter Ergebnisse in Fachzeitschriften, sowie eine Einbindung der wichtigsten konzeptionellen und inhaltlichen Ergebnisse in die (auch internationale) Hochschullehre zumindest an den Universitäten Innsbruck und Basel erfolgen wird, da dies zu den Kernaufgaben von Forschung und Lehre der beteiligten Wissenschaftler*innen gehört.

a. Aussagewert für das Testgebiet und Aussagewert für das gesamte Schutzgebiet

Das vom Nationalpark Hohe Tauern initiierte Langzeitmonitoringprogramm ist in dieser Form sicherlich einzigartig. Insbesondere die hohe Anzahl an Replikaten durch die Transekte an unterschiedlichen Standorten ermöglicht in idealer Weise, das „Leben an Existenzgrenzen“ im Gebirge zu erfassen und zu verstehen, und die Folgen globaler klimatischer Veränderungen, die besonders im Hochgebirge erst über lange Zeiträume nachweisbar sind, zu untersuchen. Es ist zu erwarten, dass sich daraus auch für den Naturschutz relevante Ergebnisse ableiten lassen werden. Allerdings sei an dieser Stelle nochmals betont, dass erst die langjährigen Messreihen eine entsprechende Auswertung zulassen werden.

b. Einbettung in internationale Forschungsnetzwerke

Die Standorte Furka (CH) und Oberettes (I) sind in das weltweite LTER Netzwerk eingebunden. Wir schlagen vor, dass der Nationalpark Hohe Tauern sich mit seinen Langzeitmonitoringprogrammen als LTER Standort innerhalb des österreichweiten LTER Netzwerkes LTER-Austria akkreditieren lässt (Mirtl et al. 2015). Untersuchungen an Schneeschmelzgradienten werden auch an anderen LTER Standorten durchgeführt, allerdings primär zur pflanzlichen Phänologie oder der Bodenbildung an solchen Standorten (z.B. an der LTER-site IT-19 Aosta Valley Italy). Das Langzeitmonitoring im NPHT wird daher sicherlich einen wichtigen Beitrag für das weltweite LTER Netzwerk liefern, und kann sich auch innerhalb dessen noch stärker international vernetzen.

Auf weitere äußerst aktuelle Fragestellungen, die international verfolgt werden, und für die das Langzeitmonitoring einen wichtigen Input liefern kann, wurde bereits weiter oben kurz eingegangen.

Kosten-Analyse

An dieser Stelle sei auf das Methodenhandbuch (Newesely et al. 2019) verwiesen. Dort sind im Detail zu allen hier vorgestellten Methoden und Untersuchungen genaue Hinweise zu Zeitaufwand und Wiederholungszyklen gegeben. Eine entsprechende Hochrechnung ist aus diesen Informationen leicht möglich, ebenso die dadurch entstehenden Kosten, sofern diese mit den Stundensätzen der benötigten Fachpersonen multipliziert werden. Zusätzlich zu den im Methodenhandbuch angegebenen Zeiten sind allerdings auch noch Reisekosten, Reisezeiten zu den Projektmeetings und ins Gelände inklusive Zeiten für Auf- und Abstieg zu/von den Standorten einzukalkulieren, ebenso Analysekosten von auswärtigen Labors (deren Angebote aktuell einzuholen sind), Abschreibungen von Geräten/Sensorik, Verbrauchsmaterial, Overheadkosten und v.a. auch Arbeitszeiten für Meetings, Datenhandling, Auswertung und Berichtslegung.

Als Richtwert können wir den Zeitaufwand angeben, der seitens der Universität Innsbruck in die Bearbeitung von Modul 01 (**nur** für die Standorte im NPHT) in den zwei Projektjahren geleistet wurde. Dabei ist allerdings die Zeit, die in die detaillierte Beschreibung der Methoden für das Methodenhandbuch (Newesely et al. 2019) geflossen ist, mit inkludiert.

Aktivitäten	Arbeitsstunden
Freiland (inkl. Reise, An- und Abstieg)	470
Labor	990
Auswertungen	375
Berichtslegung	330
Meetings (inkl. Vor- und Nachbereitung, sowie Reisezeit)	150
Summe	2315



Danksagung

Für die organisatorische Unterstützung und die wertvolle Mitwirkung im Gelände geht ein herzlicher Dank an die Mitarbeiter*innen des Nationalparks Hohe Tauern. Namentlich nennen möchten wir Mag. Katharina Aichhorn, Mag. Kristina Bauch, DI Elisabeth Hainzer, Mag. Martin Kurzthaler, Walter Pucher, Emanuel Egger, Hannes Millgrammer, Stefan Lerch und Michael Degg. Bedanken möchten wir uns auch bei der Österreichischen Forschungsgemeinschaft (FFG). Sie ermöglichte durch ihr Programm „Talente Praktika“ die Einbindung von Anna Türtscher und Matteo Wurdinger in das vorliegende Projekt. Michael Steinwandter, PhD und Laura Stefani von Eurac Research Bozen-Bolzano: Vielen Dank für Eure tatkräftig Hilfe bei der Probennahme im NPHT. Und last but not least stimulierten die Diskussionen mit Univ.-Prof. Mag. Dr.rer.nat. Martin Grube und Ao. Univ.-Prof. i.R. Dr. Erwin Meyer nicht nur bei der Probennahme im Gelände einen äußerst wertvollen Gedankenaustausch.



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Isolinien der Schneeschmelze in einem topographiebedingten alpinen Schneeschmelzgradienten (aus Körner 2018).....	5
Abbildung 2: Standort Seebachtal, Transekt 2, (2300 m üNN, Ankogel) in Kärnten (Foto Körner 2017).....	8
Abbildung 3: Standort Untersulzbachtal (2380 m üNN,) in Salzburg (Foto Körner)	8
Abbildung 4: Standort Innerschlöss, Transekt 4, bei Matrei (2350 m üNN) in Tirol (Foto Körner 2017)	9
Abbildung 5: Standort Matschertal (Oberettes, 2700 m üNN, Öztaler Alpen) in Südtirol mit einer Mikroklimamessstation in unmittelbarer Nähe der Transekte. (Foto Körner).....	9
Abbildung 6: Standort Furka, 2460 m üNN in den Schweizer Zentralalpen. D (Foto Körner)	10
Abbildung 7: Position und Feinstruktur von Dauerbeobachtungsflächen (DF) in Form von Transekten entlang von Schneeschmelzgradienten eines Standortes in einem Untersuchungsgebiet (aus Körner 2018).....	10
Abbildung 8: Messgitter im Gelände am Transekt, zugehöriges Protokoll und Foto (Beispiel: Transekt 2 Innerschlöss). Fotos: Newesely (links), Eurac Research (rechts), Bearbeitung Newesely (aus Newesely et al. 2019)	11
Abbildung 9: Phänologieabfolge von <i>Gnaphalium supinum</i> von der Blüte (1, ganz links) bis zum leeren Fruchtstand (5, ganz rechts). (Foto Körner), (aus Newesely et al. 2019)	15
Abbildung 10: Transport der Weideausschlusskörbe in zerlegter Form in das Untersuchungsgebiet Oberettes (links), eingebaute Weideausschlusskörbe auf einem der Transekte (Mitte) (Fotos Eurac Research) und „eingewachsener“ Weideausschlusskorb unmittelbar vor der Ernte (rechts, Foto Körner).....	16
Abbildung 11: Optimalvegetation, Graminoid dominiert (links), Schneetälchenboden mit 80 % <i>Alchemilla pentaphyllea</i> . (rechts). (Fotos Körner, aus Newesely et al. 2019).....	16
Abbildung 12: Typische 1-6 cm Probe nach der Reinigung. Kleine organische Totmaterialreste gleichen kleine Wurzelverluste beim Sieben aus (links); Typische 6-11 cm Probe nach der Reinigung (rechts). (Foto Körner, aus Newesely et al. 2019)	17
Abbildung 13: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Innerschlöss (2350 m üNN, links), Seebachtal (2300 m üNN, die Daten entstammen der meteorologischen Station Liesgele 1 / ÖBB, 2290 m üNN) (rechts).....	18
Abbildung 14: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Untersulzbachtal (2380 m üNN, links), Furka (2460 m üNN, rechts).....	18
Abbildung 15: Lufttemperatur Im Untersuchungszeitraum Oberettes (2700 m üNN).....	18
Abbildung 16 (links): Vergleich der mittleren Lufttemperatur zwischen allen Standorten vom 1.8.2016 bis 31.7.2017 (Messjahr 2016/17, links), und vom 1.8.2017 bis 31.7.2018 (Messjahr 2017/18, rechts).....	19
Abbildung 17: Gradstunden (GH ₅) in [°Ch] aller Standorte (Seebachtal SE, Innerschlöss IN, Untersulzbach UN, Furka FU, Oberettes OB).	21
Abbildung 18: Lagerungsdichte (Trockenrohdichte) an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	26
Abbildung 19: Porosität an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	27
Abbildung 20: Vergleich des pH (in CaCl ₂) für alle Standorte für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	29
Abbildung 21: Kationenaustauschkapazität an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	31
Abbildung 22: Gesamtstickstoff N an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	31

Abbildung 23: Phosphor (P ₂ O ₅) an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	32
Abbildung 24: Stickstoffisotope an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwertes an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	32
Abbildung 25: C/N Verhältnisse an allen Standorten für die Bodentiefen 1-6 (links) und 6-11 (rechts). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an. Für die 'K', 'T' und 'M' Bereiche wurden die Daten pro Standort entsprechend gepoolt	34
Abbildung 26: Pflanzliche Produktivität (peak biomass) 2017 (links) und 2018 (rechts). Mittelwert gepoolt über alle K, M und T Felder aller Transekte pro Standort. Die schraffierten Balken geben Biomassewerte an, die auf besondere Bedingungen zurückzuführen sind und dürfen daher nicht als Trend generalisiert werden. Dies wurde in der Grafik noch zusätzlich dadurch gekennzeichnet, dass die Balken in () gesetzt wurden. Durch das Eindringen von Schafen in die Umzäunung und die damit verbundene Beweidung sind die Werte aus Oberettes für 2017 nicht verwertbar (links). In Innergschlöss (T) erfolgte die Ernte 2018 in Bezug auf die Vegetationsentwicklung zu früh. Der Vegetationshöhepunkt war in T noch nicht erreicht.	34
Abbildung 27: Biomassevergleich zwischen den Jahren 2017 und 2018. Die Werte für Innergschlöss (T) entstammen einer zu frühen Ernte und sind daher nicht als repräsentativ anzusehen. Für Oberettes ist die Angabe eines Trends nicht möglich, da die Werte aus der Ernte 2017 durch Beweidung nicht repräsentativ waren. Daher sind die entsprechenden Daten jeweils mit einer () gekennzeichnet.....	35
Abbildung 28: Biomasse (oberirdisch und unterirdisch) für das Messjahr 2017 (mit Ausnahme Oberettes, dort wurde die oberirdische Biomasse von 2018 verwendet, weil die Daten von 2017 aufgrund einer Schafbeweidung vor der Ernte fehlerbehaftet waren). Mittelwert über die K, M und T Bereiche aller Transekte pro Standort.	36
Abbildung 29: Standardisierte Gradtage in [Cd/a] aller Standorte für eine standardisierte Zeitperiode (links 5.7.2017 bis 7.8.2017, rechts 20.7.2018 bis 1.8.2018). Der Beginn der Zeitperiode ergibt sich dadurch, dass alle Transekte an allen Standorten schneefrei sind. K, M und T stehen für Gradienten der ‚Habitatgunst‘ in den Transekten von optimal (K) über einen mittleren Bereich (M) bis pessimal (T)	37
Abbildung 30 (links): Lineare Regression zwischen Boden und Lufttemperatur des Transektes Innergschlöss 1 in den Bereichen K (links) und T (rechts) während der Wachstumsperiode 2017. Speziell eingezeichnet sind die großen Unterschiede zwischen Boden- und Lufttemperatur bei einer tieferen Lufttemperatur (5°C) und bei einer höheren Lufttemperatur (12-14°C, je nach Bereich)	38
Abbildung 31: Jahresverlauf der Bodentemperatur im K und T Bereich auf Transekt 1 im Innergschlöss. Dieses Beispiel zeigt eindrücklich, dass unsere Hypothese, die schneefreie Zeit durch Messung der oberflächennahen Bodentemperatur zu bestimmen, unterstützt wird. Der blau schraffierte Bereich zeigt, dass der K - Bereich im Februar kurz schneefrei war, dann aber wieder eingeschneit wurde. Der rot schraffierte Bereich zeigt, dass der K- Bereich deutlich früher (Anfang Juni) ausaperte, als der T - Bereich (Ende Juni).....	39
Abbildung 32: Problem der Jahres-Schwankungen von Signalen bei Langzeitbeobachtungen mit großen Beobachtungsintervallen. Schlussfolgerungen B und C weichen stark vom korrekten Trend A ab (aus Körner 2018)	41
Abbildung 33: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Innergschlöss für die Jahre 2016 bis 2018	52
Abbildung 34: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Innergschlöss für die Jahre 2016 bis 2018	52
Abbildung 35: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Innergschlöss für die Jahre 2016 bis 2018	53
Abbildung 36: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Innergschlöss für die Jahre 2016 bis 2018	53
Abbildung 37: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Innergschlöss für die Jahre 2016 bis 2018	54
Abbildung 38: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Seebachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	54

Abbildung 39: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Seebachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	55
Abbildung 40: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	55
Abbildung 41: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	56
Abbildung 42: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	56
Abbildung 42: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	57
Abbildung 43: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	57
Abbildung 44: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	58
Abbildung 45: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 6 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018.....	58
Abbildung 46: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018.....	59
Abbildung 47: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018.....	59
Abbildung 48: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018.....	60
Abbildung 49: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018.....	60
Abbildung 50: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Oberettes für die Jahre 2016 bis 2018.....	61
Abbildung 51: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Oberettes für die Jahre 2016 bis 2018.....	61
Abbildung 53: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Oberettes für die Jahre 2016 bis 2018.....	62
Abbildung 73: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_CKa_1-6	65
Abbildung 74: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_CKa_6-11	65
Abbildung 75: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_C3c_1-6cm	65
Abbildung 76: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_C3c_6-11cm	66
Abbildung 77: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_A2b_1-6cm	66
Abbildung 78: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_BTd_1-6cm.....	66
Abbildung 79: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_BTd_6-11cm	67
Abbildung 80: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CKb_1-6cm	67
Abbildung 81: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CKb_6-11cm	67
Abbildung 82: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_C4d_1-6cm	68
Abbildung 83: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_C4d_6-11cm	68
Abbildung 84: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CTd_1-6cm.....	68
Abbildung 85: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CTd_6-11cm	69
Abbildung 86: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A6a/c_1-6cm	69
Abbildung 87: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A6a/c_6-11cm	69
Abbildung 88: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A1a_1-6 cm.....	70
Abbildung 89: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A3a_1-6 cm.....	70
Abbildung 90: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN4_A8c_1-6cm	70
Abbildung 91: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN4_A4c_1-6cm	71
Abbildung 92: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN4_A4c_6-11cm.....	71
Abbildung 93: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN5_A3c_1-6cm	71
Abbildung 94: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN5_ATac_1-6cm	72
Abbildung 95: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN4_ATc_1-6cm	72
Abbildung 96: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE1_A7d_1-6cm	72
Abbildung 97: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE1_A6d_1-6cm	73

Abbildung 98: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE1_A5c_1-6cm	73
Abbildung 99: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE1_ATa_1-6cm	73
Abbildung 85: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE2_CTC_1-6cm.....	74
Abbildung 86: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE2_CTC_6-11cm	74
Abbildung 105: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_BKb_1-6cm	74
Abbildung 106: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_BKb_6-11 cm	75
Abbildung 107: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_A4b_1-6cm.....	75
Abbildung 108: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_A4b_6-11 cm	75
Abbildung 109: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_A1b_1-6 cm	76
Abbildung 110: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_BKd_1-6cm	76
Abbildung 111: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_BKd_6-11cm.....	76
Abbildung 112: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_C4a_1-6cm	77
Abbildung 113: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_C4a_6-11cm	77
Abbildung 114: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_A6a_1-6 cm	77
Abbildung 115: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_A6a_6-11 cm	78
Abbildung 116: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_C3a_1-6 cm	78
Abbildung 117: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_C3a_6-11 cm.....	78
Abbildung 118: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_C1c_1-6 cm	79
Abbildung 119: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_C5a_1-6 cm	79
Abbildung 120: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_C5a_6-11 cm	79
Abbildung 121: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_A3d_1-6 cm	80
Abbildung 122: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_A3d_6-11 cm.....	80
Abbildung 123: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN4_C4a_1-6 cm	80
Abbildung 124: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN4_BTc_1-6 cm.....	81
Abbildung 125: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_CKc_1-6 cm	81
Abbildung 126: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_A6d_1-6 cm	81
Abbildung 127: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_A6d_6-11 cm.....	82
Abbildung 128: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_C1a_1-6 cm	82
Abbildung 129: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_C1a_6-11 cm.....	82
Abbildung 130: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_C5a_1-6 cm	83
Abbildung 131: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_C5a_6-11 cm.....	83
Abbildung 132: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_A3c_1-6 cm.....	83
Abbildung 133: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_A3c_6-11 cm	84
Abbildung 134: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_BTa_1-6 cm	84
Abbildung 135: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_BTa_6-11 cm	84
Abbildung 136: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU1_ATa_1-6 cm	85
Abbildung 137: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU1_ATa_6-11 cm.....	85
Abbildung 138: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU2_CKd_1-6 cm	85
Abbildung 139: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU2_CKd_6-11 cm	86
Abbildung 140: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU2_C3a_1-6 cm	86
Abbildung 141: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU3_C7a_1-6 cm	86
Abbildung 142: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU3_CTa_6-11 cm.....	87
Abbildung 143: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C7b_1-6 cm.....	87
Abbildung 144: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C7b_6-11 cm.....	87
Abbildung 145: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C4a_1-6 cm	88
Abbildung 146: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C4a_6-11 cm.....	88
Abbildung 147: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C1b_1-6 cm	88
Abbildung 148: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C1b_6-11 cm.....	89
Abbildung 149: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_C5b_1-6 cm	89
Abbildung 150: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_C5b_6-11 cm.....	89
Abbildung 151: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C3c_1-6 cm	90
Abbildung 152: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C3c_6-11 cm	90
Abbildung 153: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_CTa_1-6 cm	90
Abbildung 154: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_CTa_6-11 cm.....	91
Abbildung 155: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C6d_1-5 cm	91

Abbildung 156: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C4d_1-5 cm	91
Abbildung 157: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C4d_5-9 cm	92
Abbildung 158: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C1d_1-5 cm	92
Abbildung 159: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C1d_5-9 cm	92
Abbildung 160: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB2_C6d_1-5 cm	93
Abbildung 161: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB2_C6d_5-9 cm	93
Abbildung 162: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C4d_1-5 cm	93
Abbildung 163: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB2_C1d_1-5 cm	94
Abbildung 164: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C7d_1-5 cm	94
Abbildung 165: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C7d_5-9 cm	94
Abbildung 166: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C4d_1-5 cm	95
Abbildung 145: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C4d_5-9 cm	95
Abbildung 146: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C1d_1-5 cm	95

Literaturverzeichnis

- Amelung W, Blume H-P, Fleige H, Horn R, Kandeler E, Kögel-Knabner I, Kretzschmar R, Stahr K, Wilke B-M (2018) Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde, Springer Spektrum (17. Auflage)
- Cernusca A (1976a) Bestandesstruktur, Bioklima und Energiehaushalt alpiner Zwergstrauchbestände. *Oecol Plant* 11: 71-102
- Cernusca A (1976b) Standörtliche Variabilität in Mikroklima und Energiehaushalt alpiner Zwergstrauchbestände. *Verh Ges Ökologie*, Wien 1975, 9-21
- Bohner A, Gehmacher P, Bodner G, Strauss P, (2017) Bodenverdichtung im Dauergrünland und ihre Auswirkung auf die Grünlandvegetation. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 68/ 2: 113–129, DOI: 10.1515/boku-2017-0011
- Eberl T & Kaiser R (2018) Leistungsbericht 2 (2018), Modul 2 Botanisch / Vegetationskundliche Analysen (unpublished), [WWW document] URL http://parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=37359 [accessed 17. 3. 2019]
- Forschungskonzept Nationalpark 2020 (2007) [WWW document] URL <https://hohetauern.at/de/forschung.html> [accessed 10. 3. 2019]
- Friedel H (1961) Schneedeckendauer und Vegetationsverteilung im Gelände. *Mitteilung Forstliche Bundesversuchsanstalt Mariabrunn (Wien)* 56: 317-369
- Heinl M, Leitinger G, Tappeiner U (2012) Diurnal Surface Temperature Regimes in Mountain Environments. *Physical Geography* 33/4: 344-359
- Körner C, Cochrane P (1983) Influence of plant physiognomy on leaf temperature on clear midsummer days in the Snowy Mountains, south - eastern Australia. *Acta Oecol Oec Plant* 4:117-124
- Körner C (2003) *Alpine Plant Life*, Springer, Berlin (2. Auflage)
- Körner C (2012) Angebot oder Nachfrage: Was steuert das Pflanzenwachstum *BiuZ* 42:238-243.
- Körner C (2015) Langfristige Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern, Präambel (unpubliziert)
- Körner C (2018) Comparative, long-term ecosystem monitoring across the Alps: Austrian Hohe Tauern National Park, South-Tyrol and the Swiss central Alps. 6th Symposium for Research in Protected Areas 2 to 3 November 2017, Salzburg, 331 – 337
- Körner C (2019) Langzeitmonitoring terrestrischer alpiner Ökosysteme im Nationalpark Hohe Tauern - Konzept und Rahmenbedingungen. *Wissenswert, Methoden – Handbuch*.
- Körner C, Renhardt U (1987) Dry matter partitioning and root length/leaf area ratios in herbaceous perennial plants with diverse altitudinal distribution. *Oecologia*, 74/3: 411–418
- Matteodo M, Ammann K, Verrecchia EP, Vittoz P (2016) Snowbeds are more affected than other subalpine-alpine plant communities by climate change in the Swiss Alps. *Ecology and Evolution*, 6:6969-6982
- Milner C, Hughes R E, Gimingham CH, Miller GR & Slayter R O (1968) *Methods for Measurement of the Primary Production of Grassland—IBP Handbook No. 6.—Oxford & Edinburgh “Blackwell Scientific Publications”*
- Mirtl M, Bahn M, Battin T, Borsdorf A, Dirnböck T, Englisch M, Erschbamer B, Fuchsberger J, Gaube V, Grabherr G, Gratzner G, Haberl H, Klug H, Kreiner D, Mayer R, Peterseil J, Richter A, Schindler S, Stocker-Kiss A, Tappeiner U, Weisse T, Winiwarter V, Wohlfahrt G, Zink R (2015) *Forschung für die Zukunft– LTER-Austria White Paper 2015 zur Lage und Ausrichtung von prozessorientierter Ökosystemforschung, Biodiversitäts- und Naturschutzforschung sowie sozio-ökologischer Forschung in Österreich.* LTER-Austria Schriftenreihe, Vol. 2 ISBN 978-3-9503986-0-1. URL <https://www.lter-austria.at/veroeffentlichungen/> [accessed 10. 3. 2019]
- Newesely C, Tappeiner U., Körner C. (2019) Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2016-2019. – Modul 01 Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und pflanzliche Produktivität. In: *Langfristige Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern. Methoden – Handbuch.* Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern



- Rülmann J, Körschens M (2009) Calculating the effect of Soil Organic Matter Concentration on Soil Bulk Density. *Soil Physics, SSSAJ*. 73(3):876–885.
- Scherrer D, Körner C (2011) Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming. *J. Biogeogr.* 38:406-416
- Tappeiner (1985): Bestandesstruktur, Mikroklima und Energiehaushalt einer Schipiste und einer Almweide im Gasteinertal. Dissertation, Universität Innsbruck
- Tappeiner U, Cernusca A (1996) Microclimate and fluxes of water vapour, sensible heat and carbon dioxide in structurally differing subalpine plant communities in the Central Caucasus. *Plant, Cell and Environment* 19(4):403-417
- Wingate et al. (2015) Interpreting canopy development and physiology using a European phenology camera network at flux sites. *Biogeosciences* 12, 5995–6015
- World Meteorological Organization (2012) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO-No. 8, 2008 edition Updated in 2010 [WWW document] URL https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf [accessed 17. 3. 2019]



Anhang

a. Standardgradtage

Tabelle 14: Wärmesummen ausgedrückt als Standardgradtage_{≥5°C} [°Cd], aufsummiert anhand der jeweiligen Tagesmittelwerte der Bodentemperatur ≥5°C aufsummiert in den Bereichen K, M, T entlang des Schneeschmelzgradienten der jeweiligen Transekte für alle Standorte (IN = Innerschlöss, SE = Seebachtal, UN = Untersulzbachtal, FU = Furka, OB = Oberettes)

2017	Standard Gradtage (Alle Transekte komplett schneefrei)				2018	Standard Gradtage (Alle Transekte komplett schneefrei)			
	K	M	T	Mittelwert		K	M	T	Mittelwert
IN / 2358m	438,1	296,6	410,3	381,7	IN / 2358m	160,2	156,1	152,7	156,3
IN1	433,7	0,0	425,0		IN1	158,0	157,7	154,5	
IN2	423,5	429,8	397,9		IN2		151,2	141,3	
IN3	443,7		397,0		IN3	160,3	151,9	158,5	
IN4	437,7		416,2		IN4	161,2	155,0	157,1	
IN5	451,8	460,0	415,5		IN5	161,3	164,8	152,4	
SE / 2300m	397,1	383,9	371,9	384,3	SE / 2300m	126,7	116,7	116,7	120,0
SE1	403,4	377,4	386,4		SE1	157,9	132,3	136,9	
SE2	390,8	390,4	357,3		SE2	137,3	142,0	130,7	
SE3					SE3	85,0	75,8	82,6	
UN / 2389m	427,0	433,4	411,1	423,8	UN / 2389m	159,1	147,2	142,7	149,7
UN1	468,3	440,3	419,5		UN1		74,9	62,4	
UN2	429,3	431,4	412,1		UN2	173,9	163,3	163,1	
UN3	411,9		437,6		UN3	155,0	173,1	169,2	
UN4	410,7		398,1		UN4	152,5	155,6	152,3	
UN5	409,8		375,9		UN5	155,1	153,9	146,3	
UN6	432,1	428,5	423,4		UN6		162,5	162,8	
FU / 2450 m	470,1		454,0	462,1	FU / 2450 m	168,5		126,4	147,5
FU1	505,5		472,8		FU1	183,0		148,7	
FU2			491,4		FU2	156,9		161,8	
FU3	443,7		396,8		FU3	164,6		117,8	
FU4	461,0		455,1		FU4	169,7		77,3	
FU5					FU5				
OB / 2700 m	395,9	401,0	368,9	388,6	OB / 2700 m	46,5	74,3	71,3	64,0
OB1	401,3	401,0	371,5		OB1		74,9	62,4	
OB2	390,4		366,3		OB2	11,4	73,7	58,4	
OB3					OB3	81,5		93,2	

 keine Daten vorhanden.

 keine Daten vorhanden.

b. Bodentemperaturverläufe

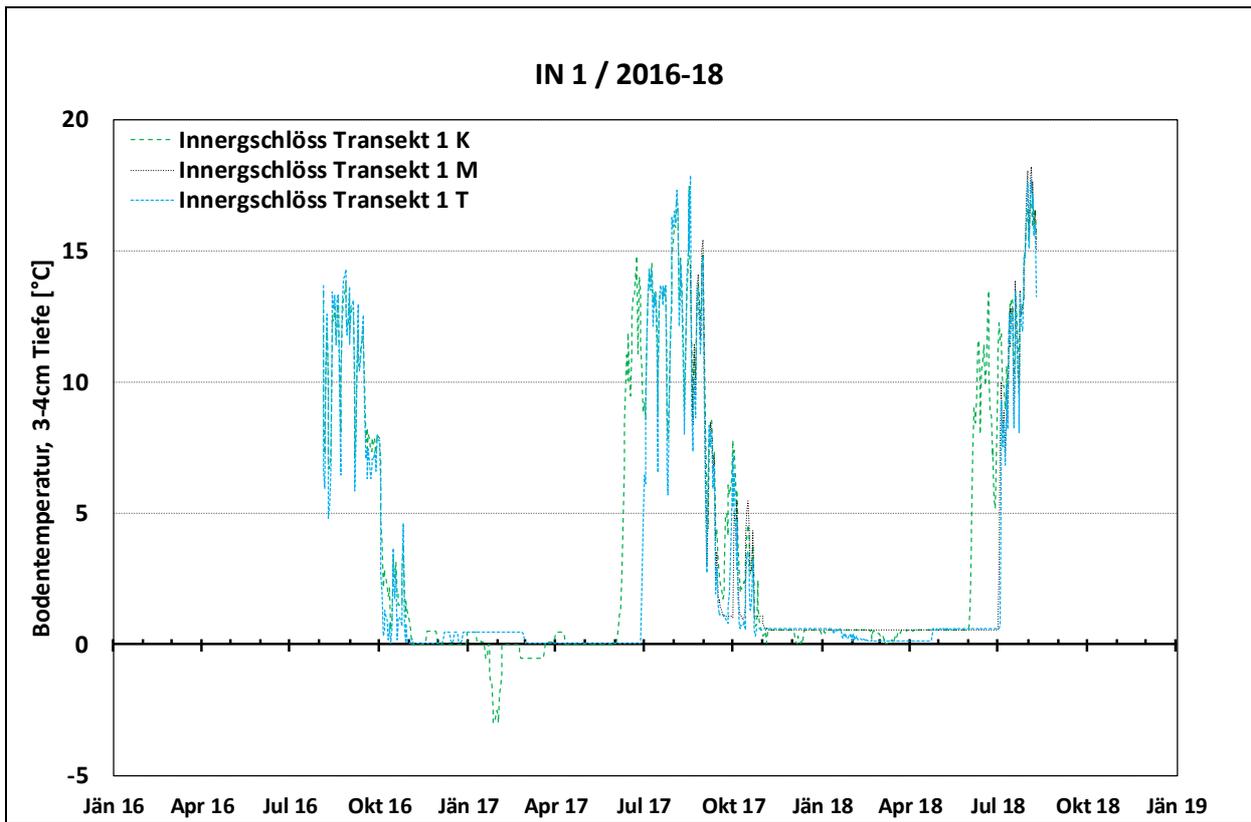


Abbildung 33: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Innerschlöss für die Jahre 2016 bis 2018

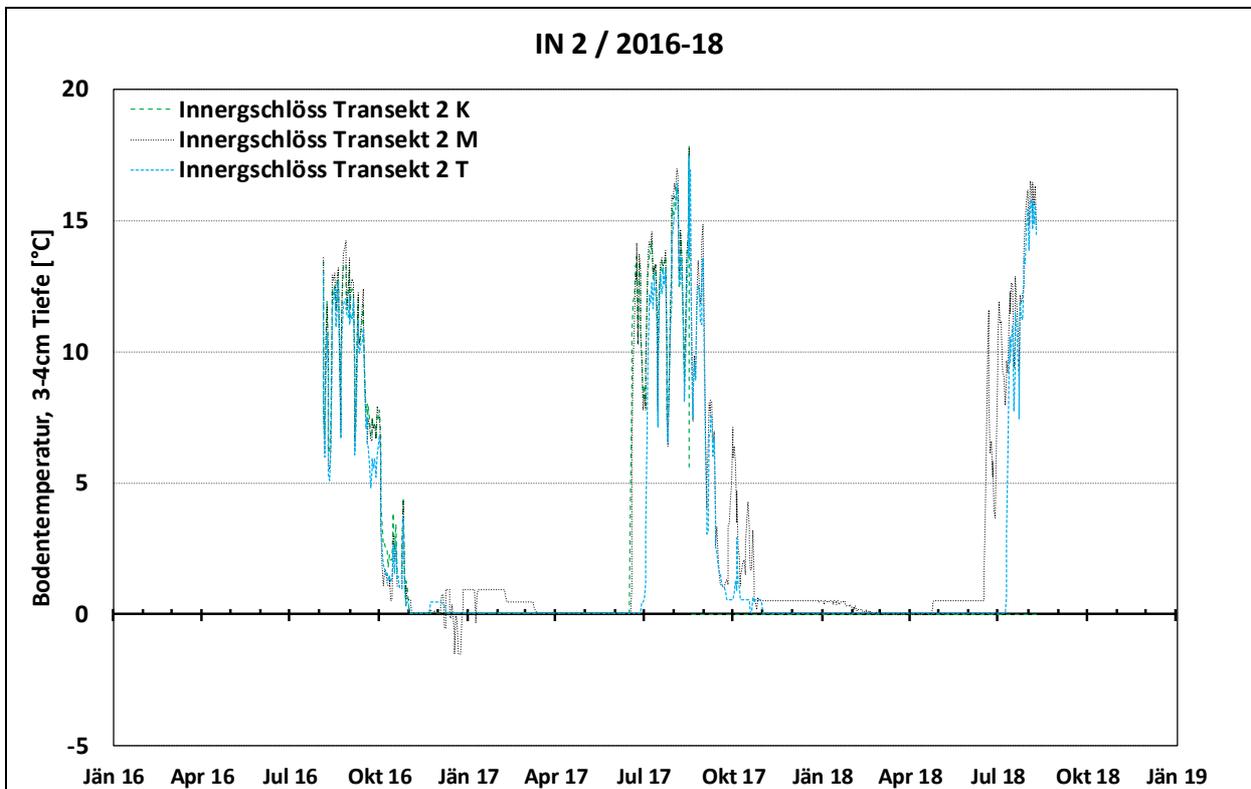


Abbildung 34: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Innerschlöss für die Jahre 2016 bis 2018

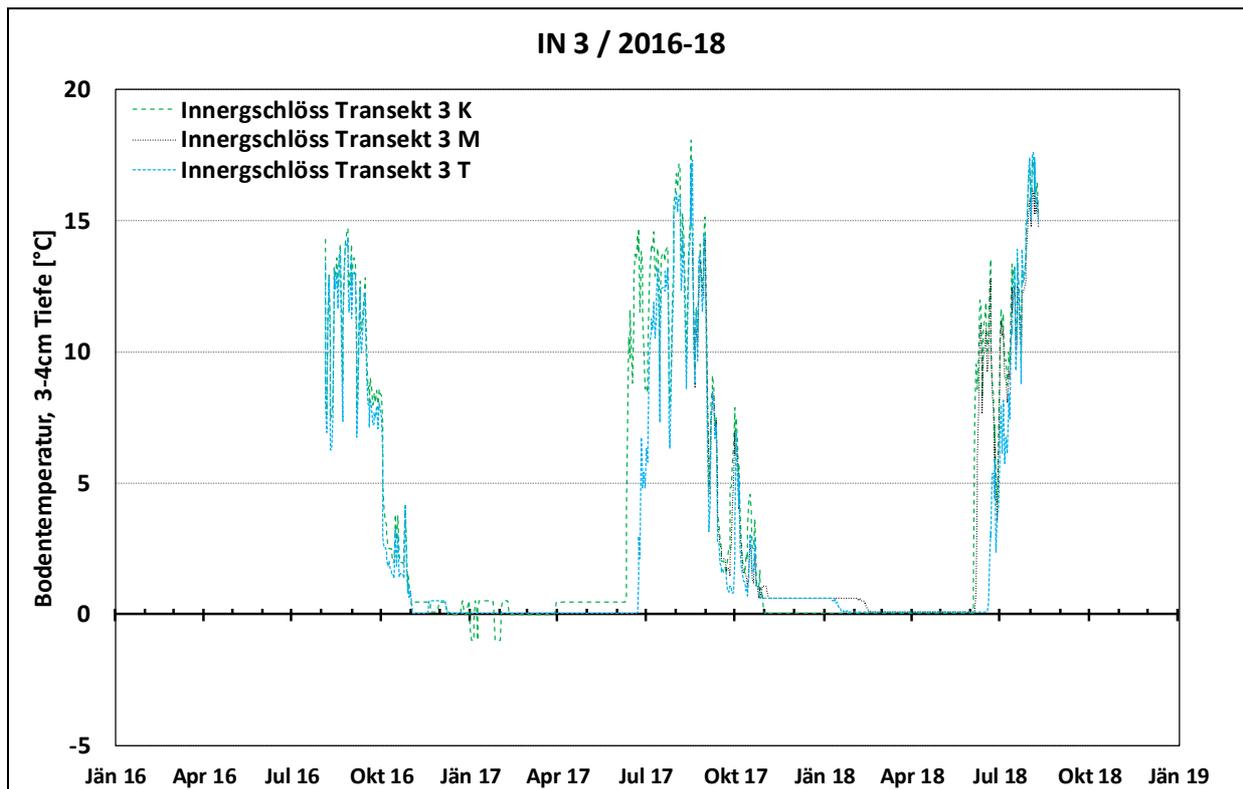


Abbildung 35: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Innergöschl für die Jahre 2016 bis 2018

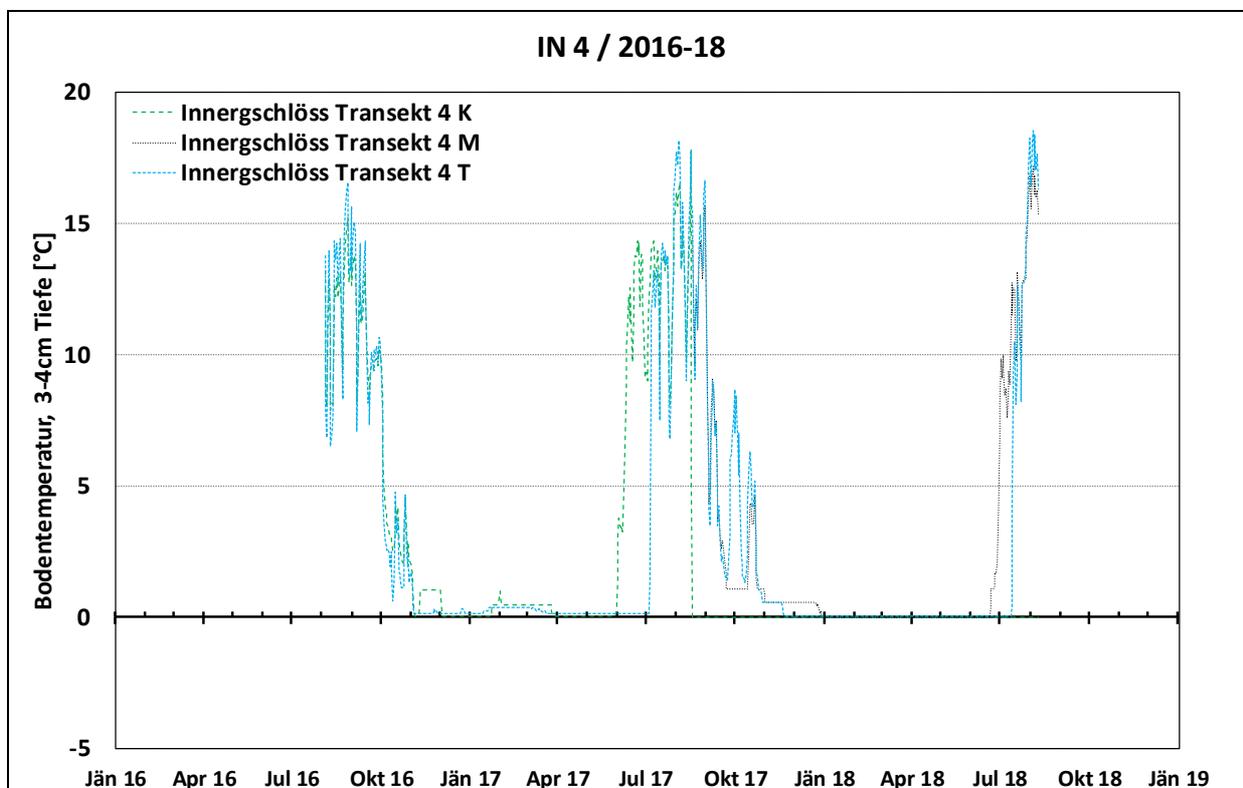


Abbildung 36: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Innergöschl für die Jahre 2016 bis 2018



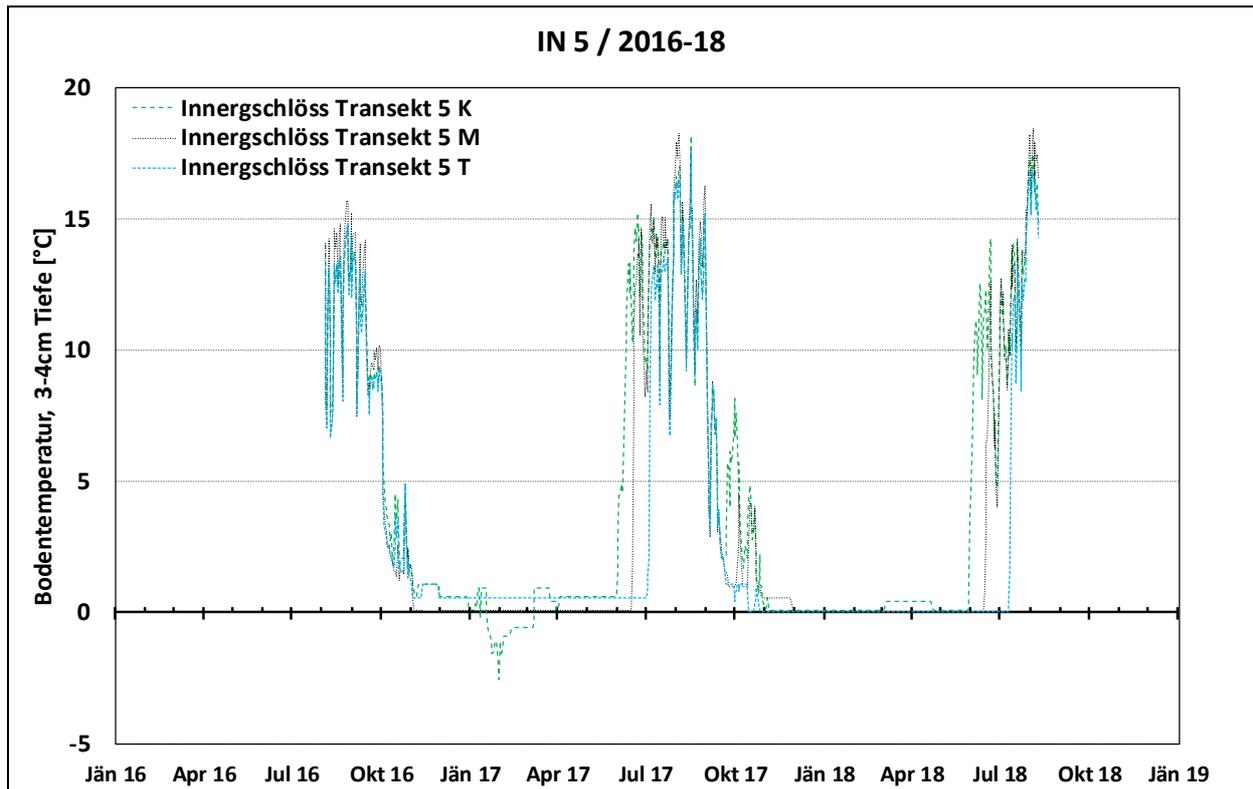


Abbildung 37: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Innerschlöss für die Jahre 2016 bis 2018

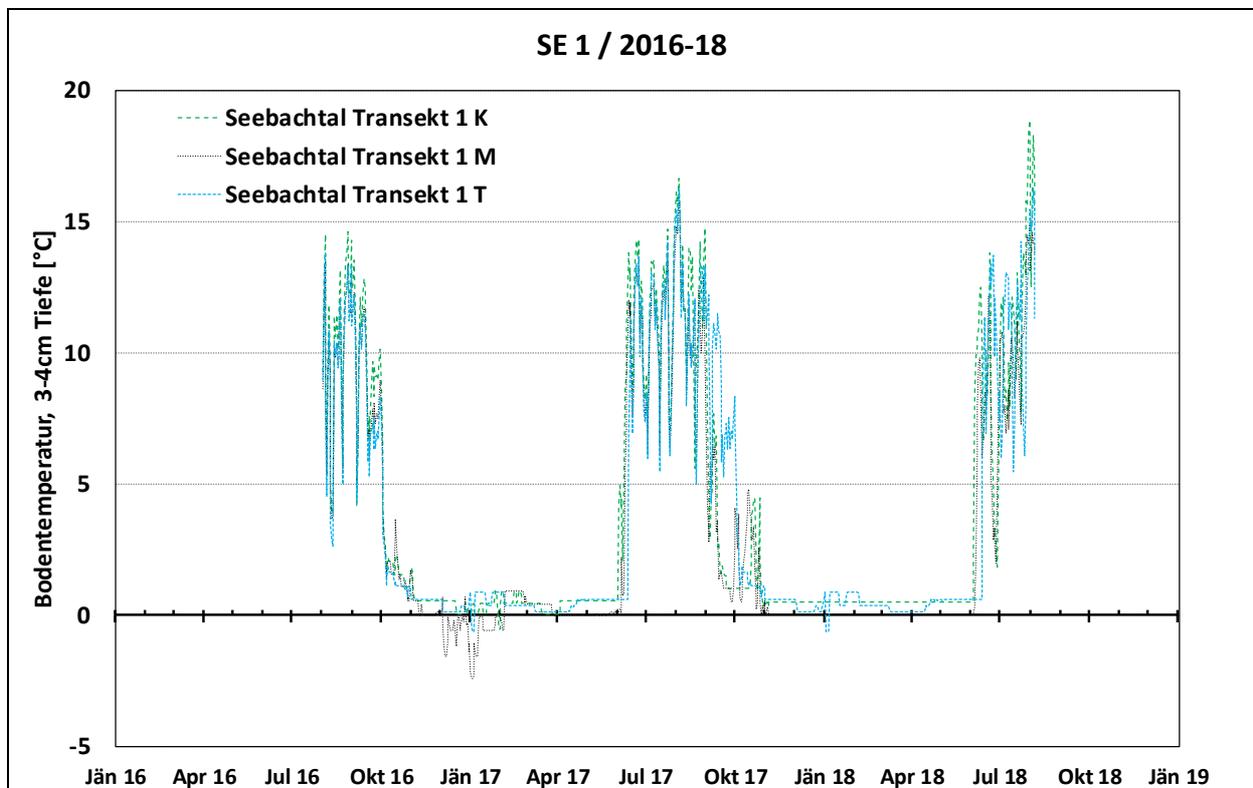


Abbildung 38: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Seebachtal für die Jahre 2016 bis 2018

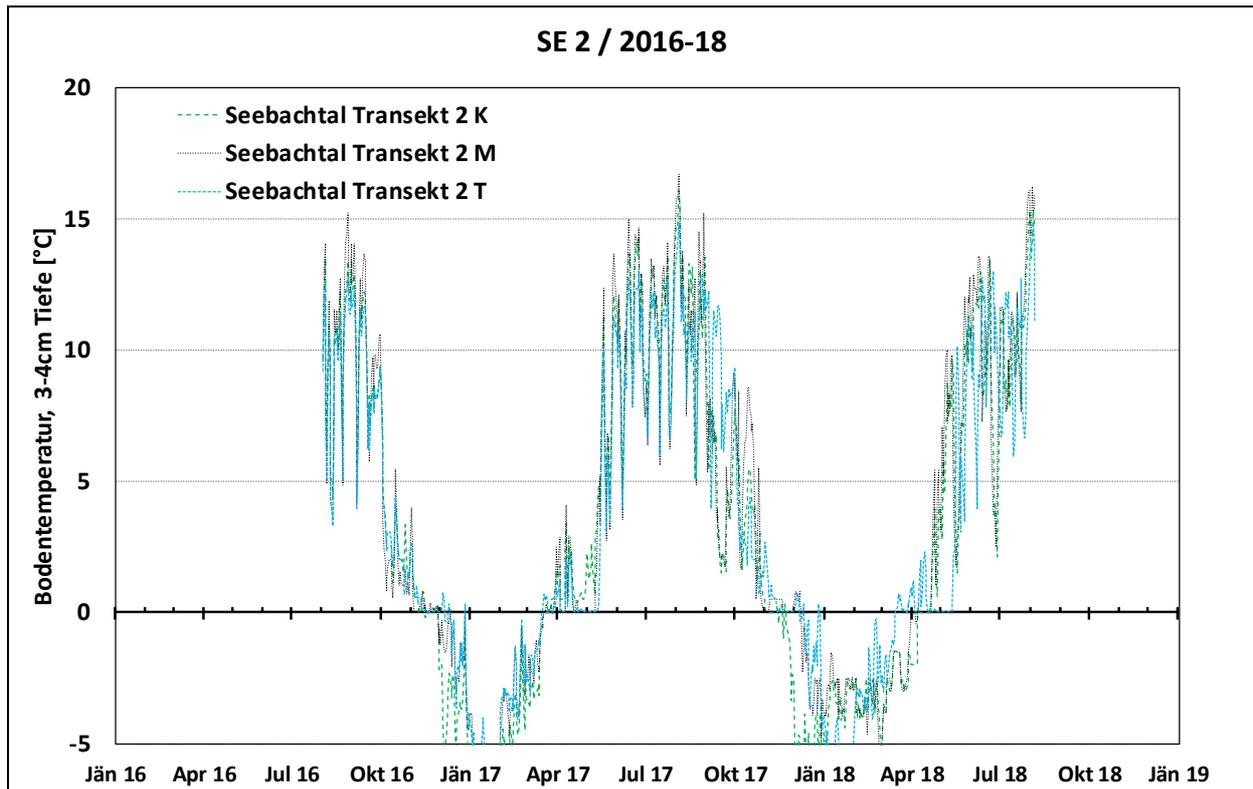


Abbildung 39: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Seebachtal für die Jahre 2016 bis 2018

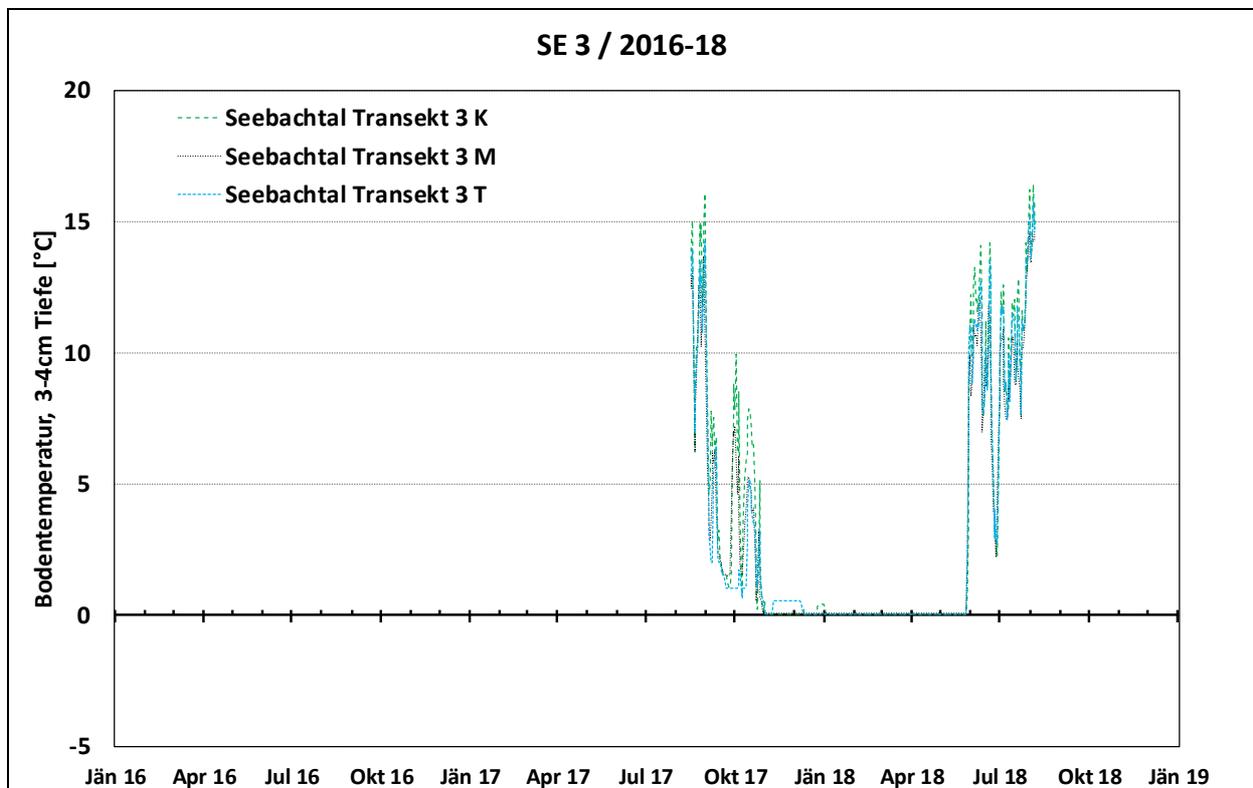


Abbildung 40: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018



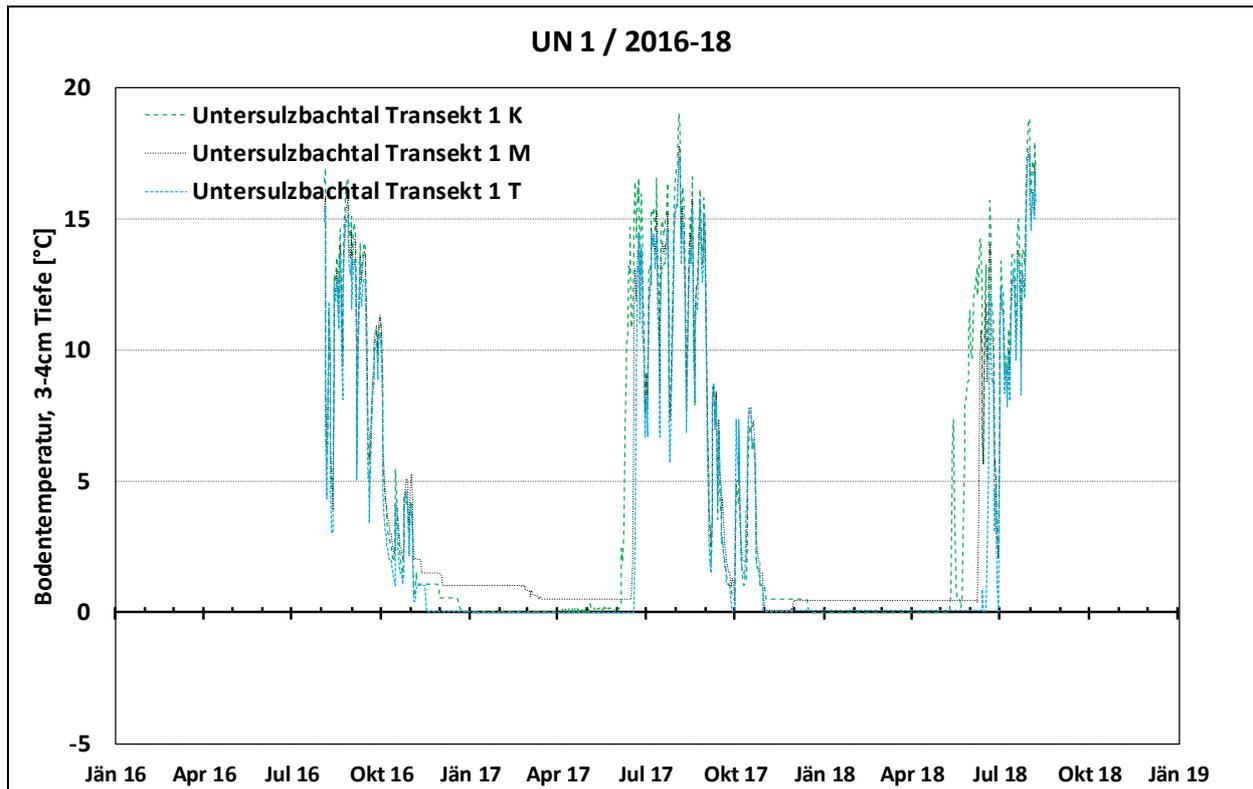


Abbildung 41: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018

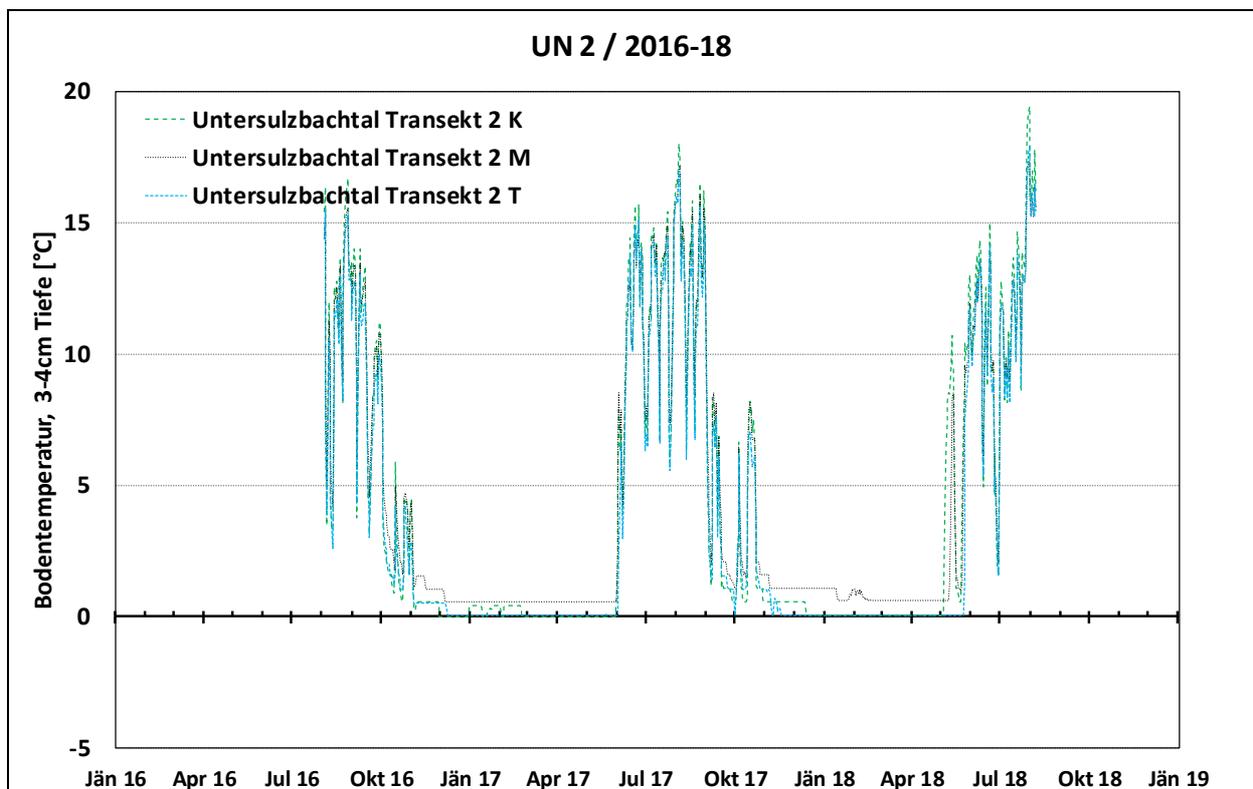


Abbildung 42: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018

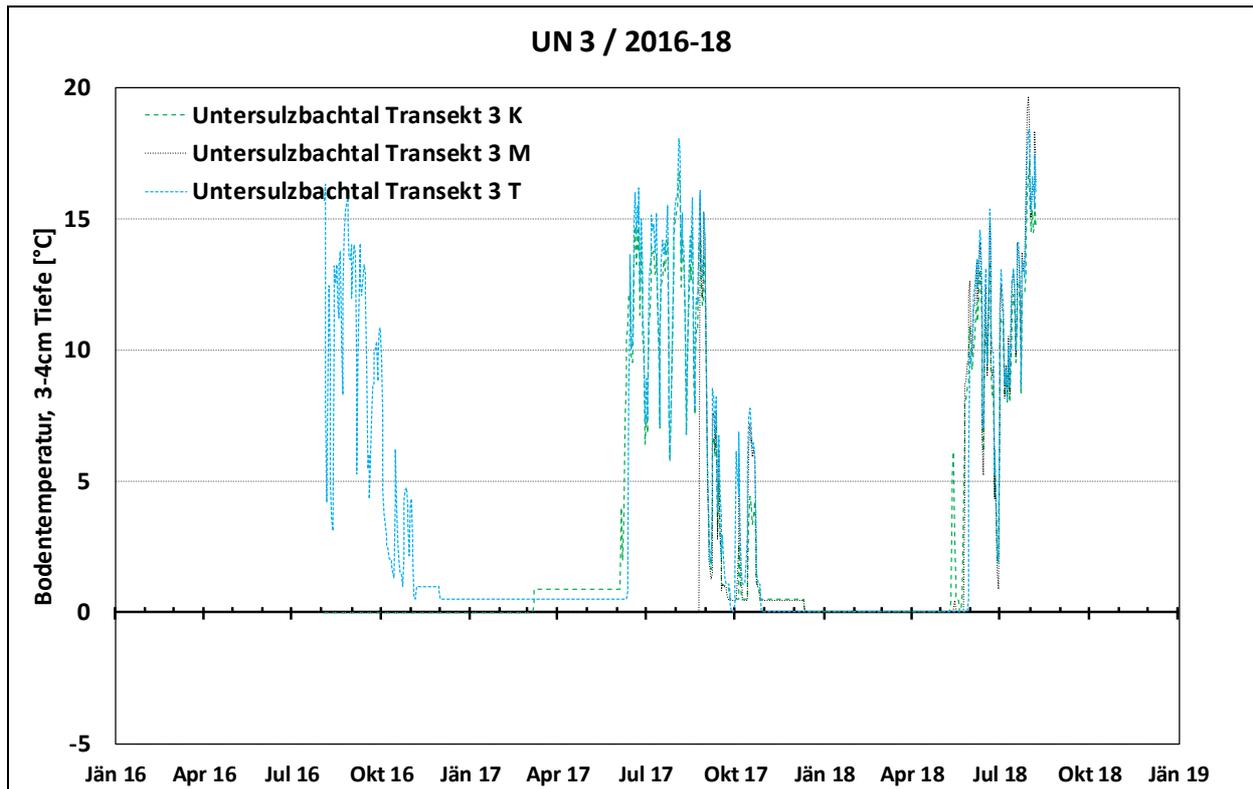


Abbildung 43: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Unterzulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018

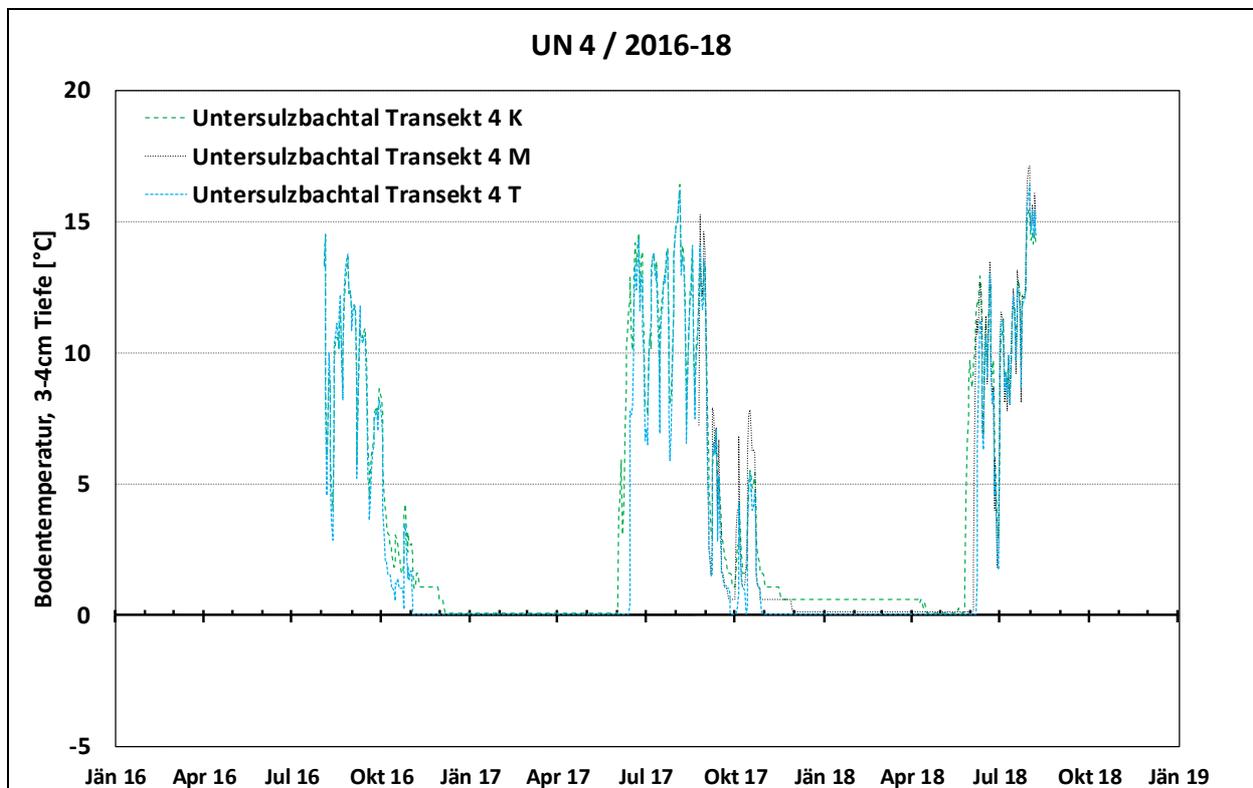


Abbildung 44: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Unterzulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018



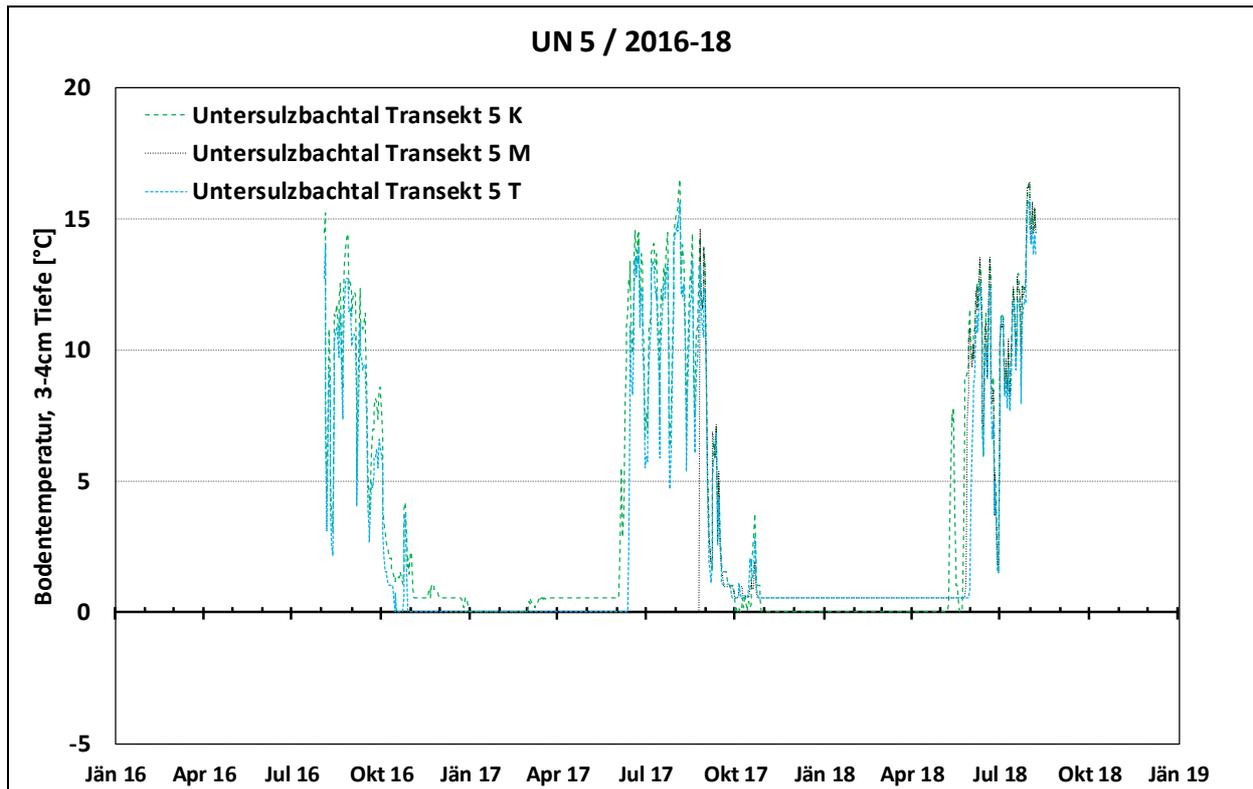


Abbildung 45: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018

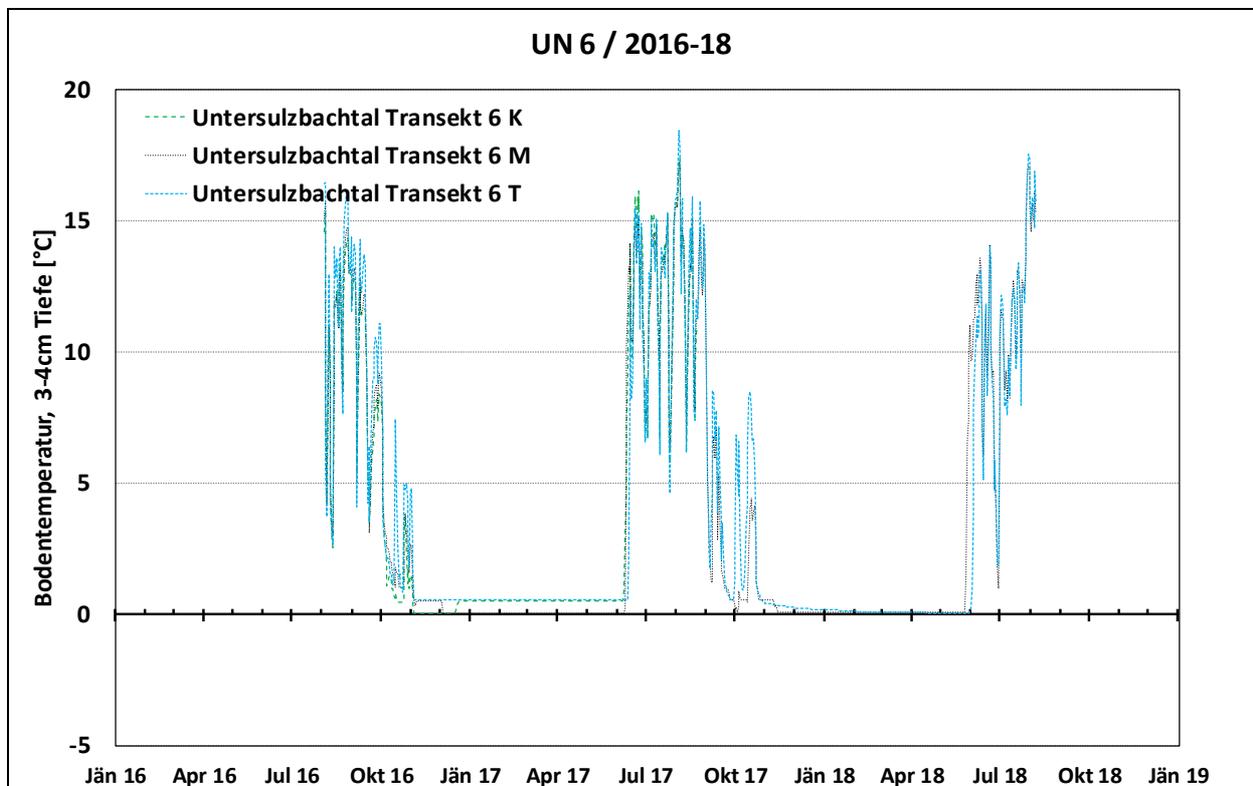


Abbildung 46: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 6 im Untersulzbachtal für die Jahre 2016 bis 2018

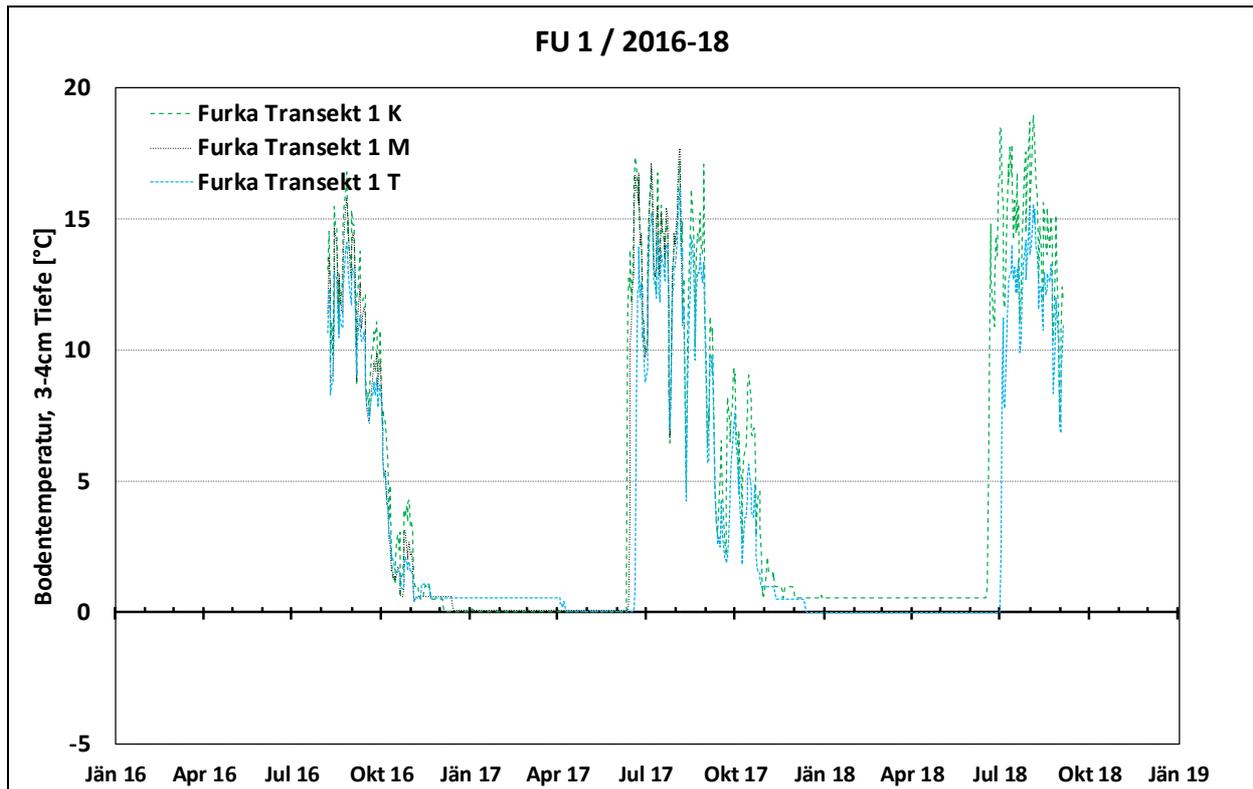


Abbildung 47: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018

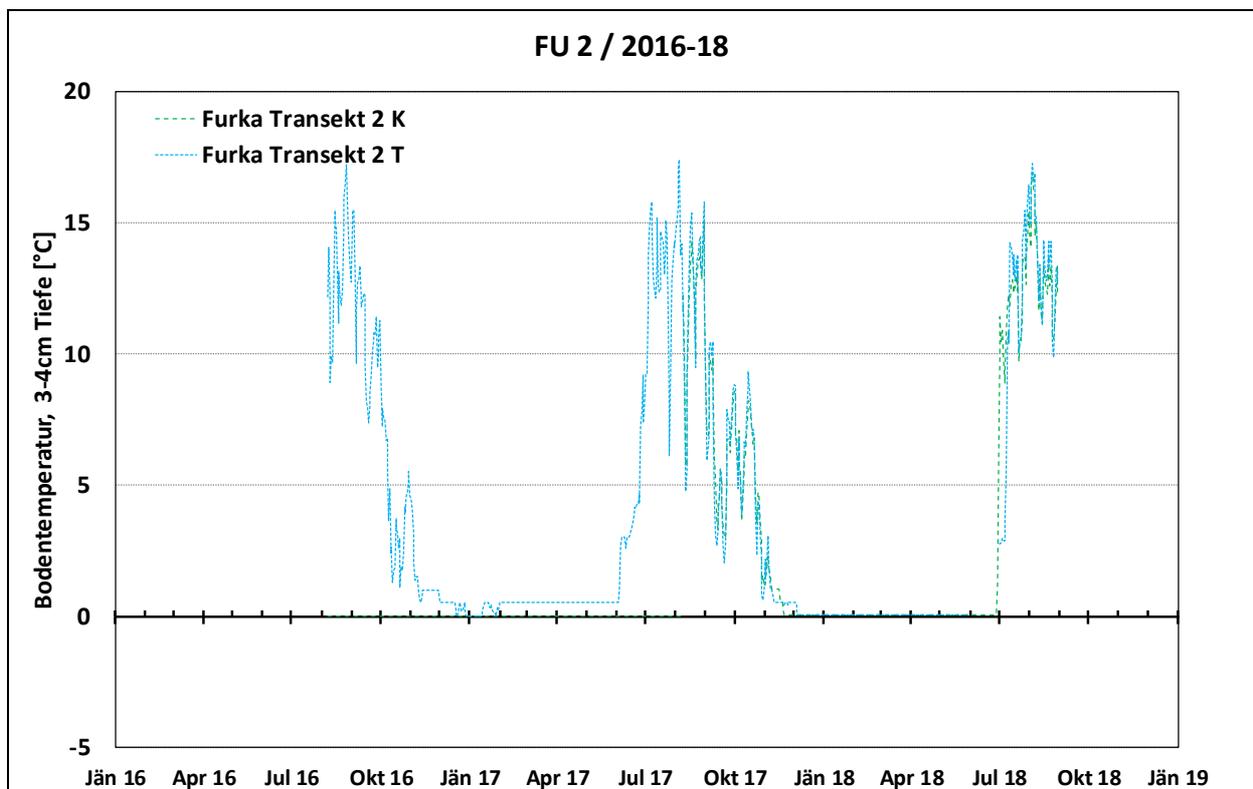


Abbildung 48: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018

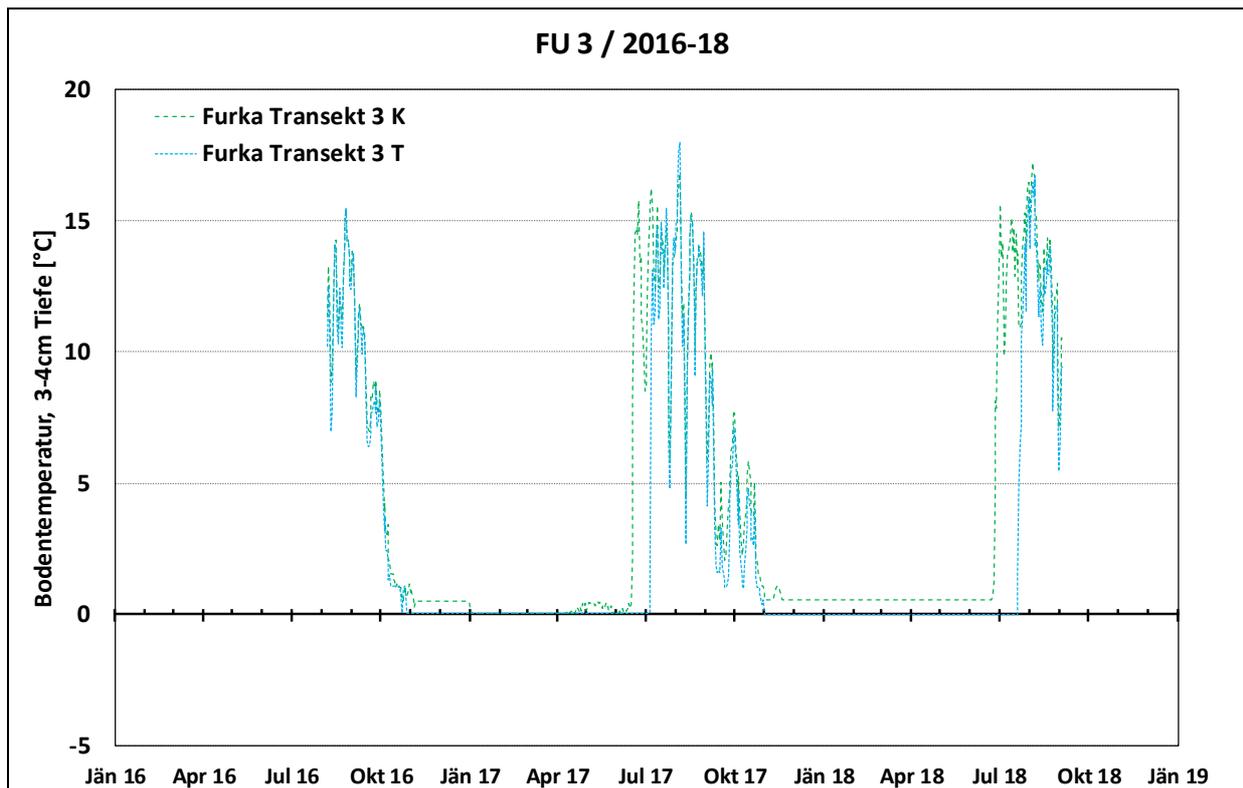


Abbildung 49: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018

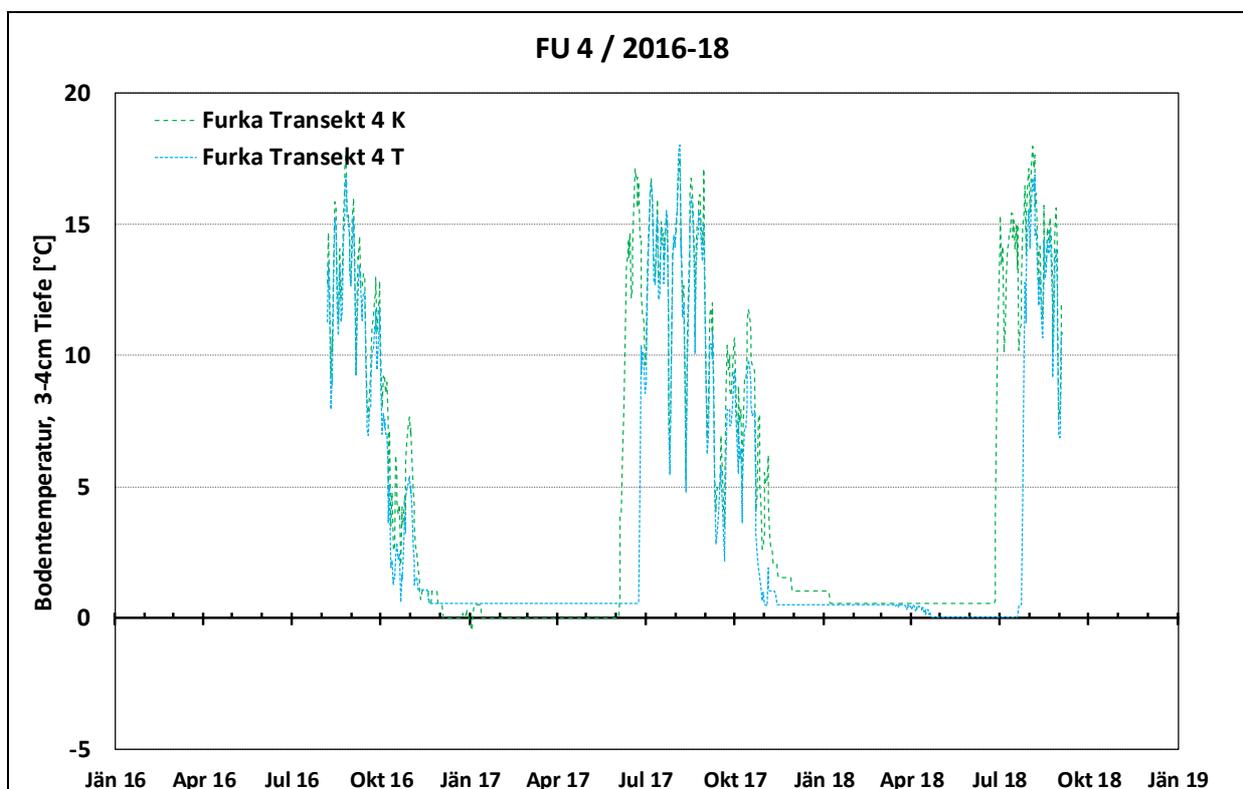


Abbildung 50: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Furka für die Jahre 2016 bis 2018



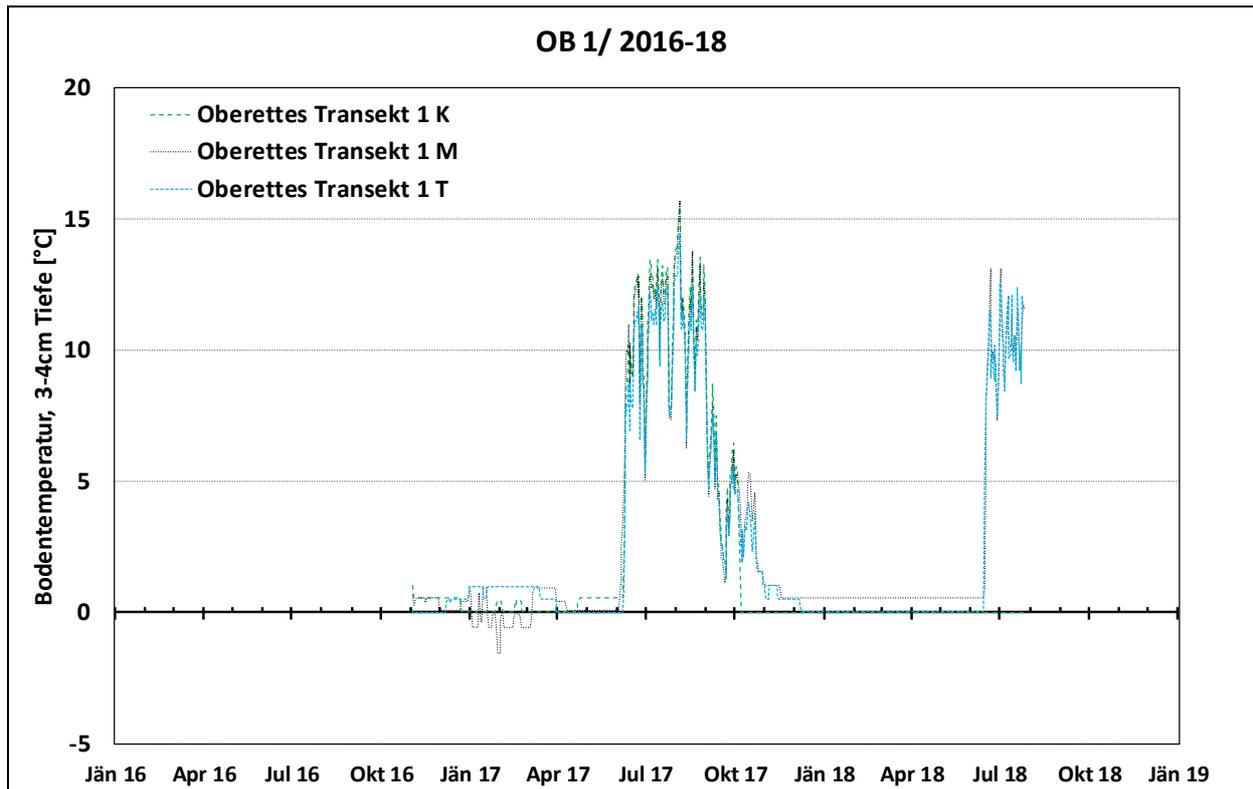


Abbildung 51: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Oberettes für die Jahre 2016 bis 2018

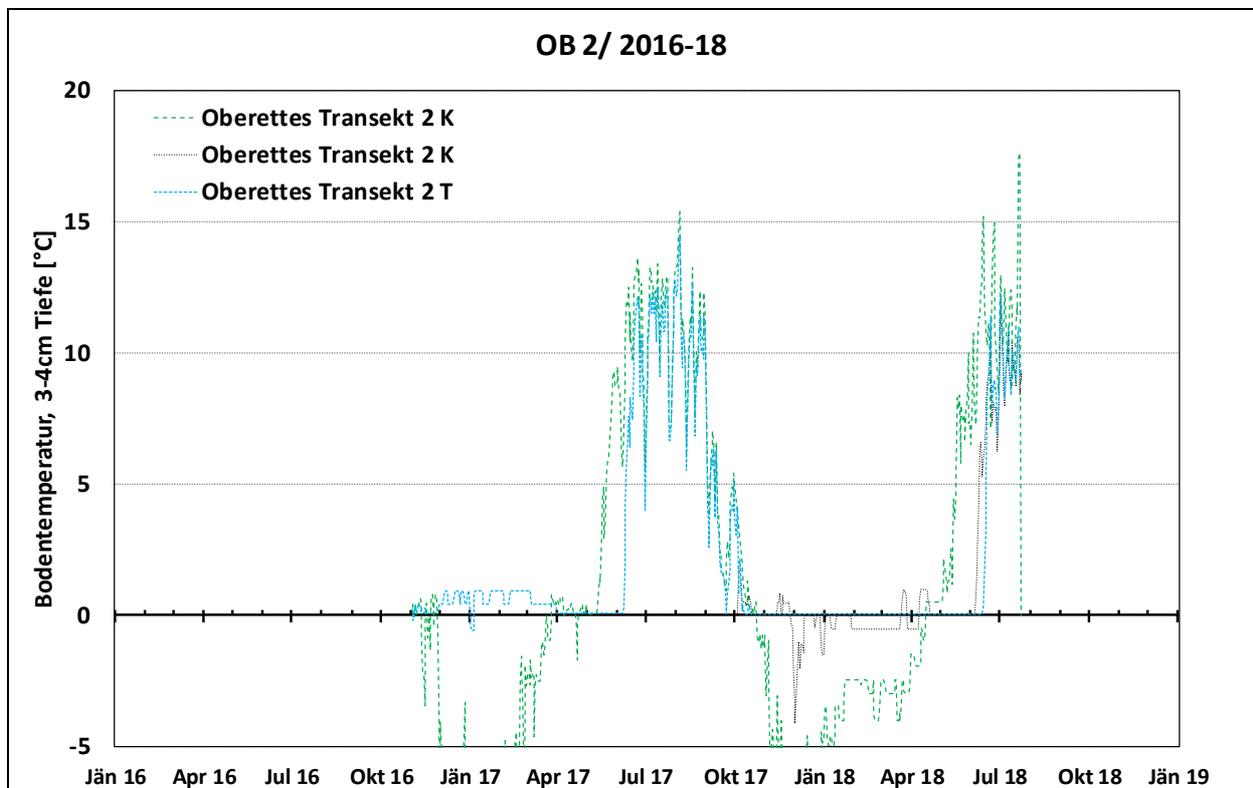


Abbildung 52: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Oberettes für die Jahre 2016 bis 2018

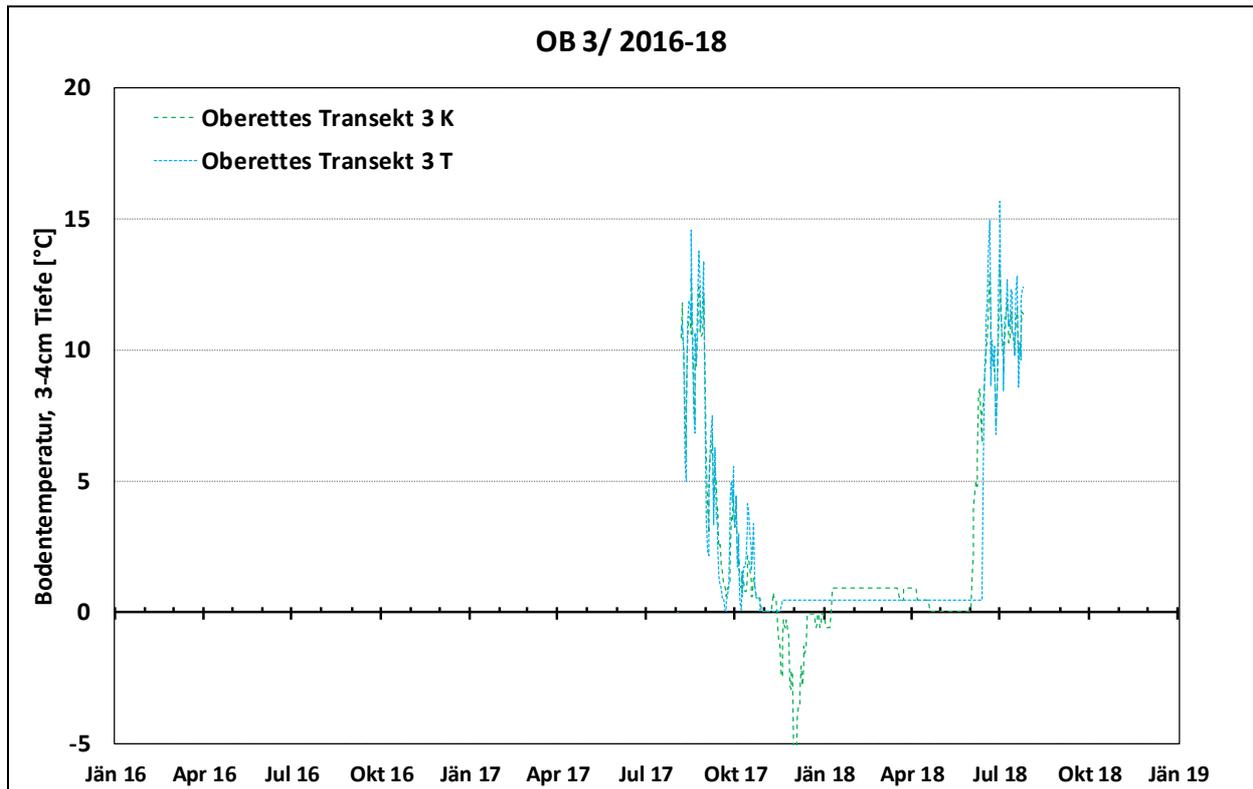


Abbildung 53: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Oberettes für die Jahre 2016 bis 2018

c. Bodentextur:

Tabelle 15: Korngrößen an den 2017 untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innerschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) für alle Transekte im Oberboden. Angegeben sind die Bodenfraktionen für alle analysierten Proben. Die Reihung der Daten pro Transekt erfolgt entlang der Gradienten der 'Habitatgunst' von 'K' (optimal) über 'M' (Mitte) und T (pessimal)

1-6 cm 1-5 cm*)			Ton			Schluff			Sand			Gesamt			Klassifizierung
Ort			<2.0µm	Fein 2.0-6.3µm	Mittel 6.3-20µm	Grob 20-63µm	Fein 63-200µm	Mittel 200-630µm	Grob 630-2000µm	<2.0µm	2.0-63µm	Sand 63-2000µm			
Fläche	Subfläche	Tiefe													
SE 1 A7d	1-6	32%	3%	4%	10%	26%	14%	11%	32%	17%	51%	Lts	sandig-toniger Lehm		
SE 1 A6d	1-6	8%	6%	9%	12%	22%	24%	19%	8%	27%	65%	Su3	mittel schluffiger Sand		
SE 1 A5c	1-6	7%	2%	4%	23%	29%	20%	16%	7%	29%	64%	Su3	mittel schluffiger Sand		
SE 1 ATa	1-6	0%	13%	10%	14%	25%	24%	13%	0%	38%	62%	Su3	mittel schluffiger Sand		
SE 2 C5a	1-6	11%	1%	7%	12%	30%	28%	10%	11%	20%	68%	Sl3	mittel lehmiger Sand		
SE 2 C2c	1-6	0%	2%	24%	18%	41%	13%	3%	0%	44%	56%	Su4	stark schluffiger Sand		
SE 2 CTc	1-6	0%	26%	14%	0%	29%	22%	10%	0%	39%	61%	Su3	mittel schluffiger Sand		
SE 3 BKb	1-6	11%	5%	9%	12%	29%	19%	15%	11%	26%	63%	Sl3	mittel lehmiger Sand		
SE 3 A4b	1-6	6%	6%	6%	18%	24%	25%	16%	6%	29%	65%	Su3	mittel schluffiger Sand		
SE 3 A1b	1-6	0%	12%	7%	17%	22%	22%	21%	0%	35%	65%	Su3	mittel schluffiger Sand		
IN 1 Cka	1-6	1%	2%	7%	22%	47%	17%	4%	1%	32%	67%	Su3	mittel schluffiger Sand		
IN 1 C3c	1-6	12%	3%	11%	22%	35%	15%	3%	12%	35%	52%	Sl4	stark lehmiger Sand		
IN 1 A2b	1-6	20%	0%	2%	1%	41%	23%	12%	20%	3%	76%	Sl2	schwach toniger Sand		
IN 1 BTd	1-6	10%	3%	5%	14%	43%	24%	1%	10%	22%	68%	Sl3	mittel lehmiger Sand		
IN 2 Ckb	1-6	19%	3%	5%	9%	39%	21%	4%	19%	16%	65%	Ls4	stark sandiger Lehm		
IN 2 C4d	1-6	0%	1%	2%	17%	32%	42%	7%	0%	20%	80%	Su2	schwach schluffiger Sand		
IN 2 CTd	1-6	11%	3%	3%	6%	47%	25%	6%	11%	12%	78%	Sl3	mittel lehmiger Sand		
IN 3 A6a/c	1-6	0%	1%	6%	2%	63%	28%	2%	0%	9%	91%	Ss	Sand		
IN 3 A3a	1-6	23%	0%	3%	6%	37%	28%	4%	23%	9%	68%	Sl3	mittel toniger Sand		
IN 3 A1a	1-6	17%	0%	3%	7%	39%	32%	3%	17%	10%	73%	Sl4	stark lehmiger Sand		
IN 4 A8c	1-6	27%	9%	14%	12%	24%	12%	3%	27%	34%	39%	Lt2	schwach toniger Lehm		
IN 4 A4c	1-6	27%	3%	10%	15%	28%	17%	1%	27%	28%	46%	Lts	sandig-toniger Lehm		
IN 4 ATc	1-6	4%	5%	6%	22%	33%	24%	7%	4%	32%	64%	Su3	mittel schluffiger Sand		
IN 5 A3c	1-6	3%	8%	6%	22%	42%	16%	3%	3%	35%	62%	Su3	mittel schluffiger Sand		
IN 5 ATa/c	1-6	5%	0%	0%	13%	54%	26%	3%	5%	13%	83%	Su2	schwach schluffiger Sand		
UN 1 BKd	1-6	6%	2%	10%	31%	24%	23%	4%	6%	43%	51%	Su4	stark schluffiger Sand		
UN 1 C4a	1-6	7%	9%	7%	23%	33%	17%	4%	7%	39%	54%	Su3	mittel schluffiger Sand		
UN 2 A6a	1-6	3%	13%	9%	21%	32%	17%	5%	3%	43%	54%	Su4	stark schluffiger Sand		
UN 2 C3a	1-6	24%	2%	6%	12%	32%	20%	6%	24%	19%	57%	Ls4	stark sandiger Lehm		
UN 2 C1c	1-6	13%	1%	7%	30%	32%	13%	4%	13%	38%	49%	Sl4	stark lehmiger Sand		
UN 3 C5a	1-6	3%	2%	3%	32%	32%	19%	8%	3%	37%	60%	Su3	mittel schluffiger Sand		
UN 3 A3d	1-6	45%	6%	7%	9%	17%	13%	3%	45%	22%	33%	Tl	lehmiger Ton		
UN 4 C4a	1-6	15%	1%	7%	26%	29%	16%	7%	15%	34%	51%	Sl4	stark lehmiger Sand		
UN 4 BTc	1-6	0%	0%	4%	28%	39%	23%	6%	0%	32%	68%	Su3	mittel schluffiger Sand		
UN 5 CKc	1-6	16%	6%	9%	16%	24%	21%	8%	16%	32%	52%	Sl4	stark lehmiger Sand		
UN 5 A6d	1-6	20%	1%	8%	17%	25%	26%	2%	20%	26%	54%	Ls4	stark sandiger Lehm		
UN 5 C1a	1-6	4%	7%	6%	29%	29%	21%	2%	4%	43%	53%	Su4	stark schluffiger Sand		
UN 6 C5a	1-6	18%	6%	16%	29%	25%	4%	1%	18%	52%	31%	Lu	schluffiger Lehm		
UN 6 A3c	1-6	0%	10%	15%	40%	26%	7%	2%	0%	65%	35%	Us	sandiger Schluff		
UN 6 BTa	1-6	4%	4%	3%	11%	29%	34%	14%	4%	18%	78%	Su2	schwach schluffiger Sand		
FU 1 ATa	1-6	0%	8%	14%	40%	26%	10%	1%	0%	62%	38%	Us	sandiger Schluff		
FU 2 CKd	1-6	7%	3%	6%	23%	35%	21%	6%	7%	31%	62%	Su3	mittel schluffiger Sand		
FU 2 C3a	1-6	11%	3%	11%	15%	31%	21%	7%	11%	30%	59%	Sl3	mittel lehmiger Sand		
FU 3 C7a	1-6	13%	5%	19%	14%	18%	11%	20%	13%	39%	49%	Sl4	stark lehmiger Sand		
FU 4 C7b	1-6	0%	4%	13%	25%	20%	16%	22%	0%	42%	58%	Su4	stark schluffiger Sand		
FU 4 C4a	1-6	6%	8%	11%	20%	19%	13%	24%	6%	38%	55%	Su3	mittel schluffiger Sand		
FU 4 C1b	1-6	4%	6%	12%	28%	24%	15%	11%	4%	46%	50%	Su4	stark schluffiger Sand		
FU 5 C5b	1-6	0%	5%	19%	25%	31%	13%	6%	0%	50%	50%	Su4	stark schluffiger Sand		
FU 5 C3c	1-6	10%	8%	25%	14%	26%	12%	6%	10%	46%	44%	Slu	schluffig-lehmiger Sand		
FU 5 CTa	1-6	0%	2%	16%	38%	20%	11%	14%	0%	55%	45%	Us	sandiger Schluff		
OB1 C6d	1-5*	15%	11%	12%	9%	18%	24%	11%	15%	32%	53%	Sl4	stark lehmiger Sand		
OB1 C4d	1-5*	6%	14%	15%	23%	17%	19%	6%	6%	52%	42%	Us	sandiger Schluff		
OB1 C1d	1-5*	22%	16%	15%	16%	15%	12%	4%	22%	47%	31%	Ls2	schwach sandiger Lehm		
OB2 C6d	1-5*	14%	14%	11%	4%	21%	20%	16%	14%	29%	57%	Sl4	stark lehmiger Sand		
OB2 C4d	1-5*	18%	11%	13%	12%	19%	23%	5%	18%	35%	47%	Ls3	mittel sandiger Lehm		
OB2 C1d	1-5*	37%	8%	14%	6%	18%	14%	3%	37%	28%	35%	Lts	sandig-toniger Lehm		
OB3 C7d	1-5*	8%	10%	9%	16%	23%	21%	12%	8%	36%	57%	Su3	mittel schluffiger Sand		
OB3 C4d	1-5*	5%	10%	10%	18%	22%	21%	14%	5%	37%	58%	Su3	mittel schluffiger Sand		
OB3 C1d	1-5*	9%	5%	10%	8%	20%	28%	19%	9%	23%	67%	Sl3	mittel lehmiger Sand		

Tabelle 16: Korngrößen an den 2017 untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innerschlöss (IN), Untersulzbachtal (UN), Furka (FU) und Oberettes (OB) für alle Transekte in der tieferen Bodenschicht. Angegeben sind die Bodenfraktionen für alle analysierten Proben. Die Reihung der Daten pro Transekt erfolgt entlang der Gradienten der 'Habitatgunst' von 'K' (optimal) über 'M' (Mitte) und 'T' (pessimal).

6-11 cm 5-9 cm*)			Ton			Schluff			Sand			Gesamt			Klassifizierung
Ort		Tiefe	<2.0µm	Fein 2.0-6.3µm	Mittel 6.3-20µm	Grob 20-63µm	Fein 63-200µm	Mittel 200-630µm	Grob 630-2000µm	Ton <2.0µm	Schluff 2.0-63µm	Sand 63-2000µm			
Fläche	Subfläche														
SE 2	C5a	6-11	0%	10%	12%	23%	24%	24%	8%	0%	44%	56%	Su4 stark schluffiger Sand		
SE 2	C2c	6-11	0%	9%	14%	31%	25%	19%	2%	0%	53%	47%	Us sandiger Schluff		
SE 2	CTc	6-11	0%	3%	6%	21%	28%	33%	9%	0%	31%	69%	Su3 mittel schluffiger Sand		
SE 3	BKb	6-11	14%	3%	9%	16%	31%	16%	12%	14%	27%	59%	Su4 stark lehmiger Sand		
SE 3	A4b	6-11	12%	7%	6%	6%	28%	27%	13%	12%	19%	68%	Su4 stark lehmiger Sand		
IN 1	CKa	6-11	10%	0%	7%	14%	47%	18%	4%	10%	20%	69%	Si3 mittel lehmiger Sand		
IN 1	C3c	6-11	7%	5%	9%	20%	43%	13%	4%	7%	33%	60%	Su3 mittel schluffiger Sand		
IN 1	BTd	6-11	3%	2%	3%	18%	50%	22%	2%	3%	23%	74%	Su2 schwach schluffiger Sand		
IN 2	CKb	6-11	7%	1%	3%	15%	45%	26%	4%	7%	18%	75%	Si2 schwach lehmiger Sand		
IN 2	C4d	6-11	5%	0%	1%	7%	40%	39%	7%	5%	8%	87%	Ss Sand		
IN 2	CTd	6-11	6%	2%	3%	14%	40%	27%	8%	6%	19%	75%	Si2 schwach lehmiger Sand		
IN 3	A6a/c	6-11	12%	0%	3%	12%	45%	26%	2%	12%	15%	73%	Si3 mittel lehmiger Sand		
IN 4	A4c	6-11	0%	3%	11%	27%	40%	14%	5%	0%	41%	59%	Su4 stark schluffiger Sand		
UN 1	BKd	6-11	19%	0%	4%	10%	37%	21%	10%	19%	14%	68%	Si3 mittel toniger Sand		
UN 1	C4a	6-11	20%	3%	5%	18%	39%	11%	5%	20%	26%	54%	Ls4 stark sandiger Lehm		
UN 2	A6a	6-11	0%	0%	4%	29%	38%	24%	5%	0%	33%	67%	Su3 mittel schluffiger Sand		
UN 2	C3a	6-11	9%	2%	5%	18%	39%	19%	8%	9%	25%	67%	Si3 mittel lehmiger Sand		
UN 3	C5a	6-11	18%	2%	2%	5%	37%	26%	9%	18%	9%	72%	Si3 mittel toniger Sand		
UN 3	A3d	6-11	12%	6%	4%	17%	36%	19%	7%	12%	26%	62%	Si4 stark lehmiger Sand		
UN 5	A6d	6-11	12%	1%	4%	18%	30%	20%	16%	12%	22%	66%	Si3 mittel lehmiger Sand		
UN 5	C1a	6-11	25%	1%	3%	19%	35%	15%	3%	25%	23%	52%	Lts sandig-toniger Lehm		
UN 6	C5a	6-11	12%	6%	8%	27%	42%	5%	0%	12%	40%	48%	Slu schluffig-lehmiger Sand		
UN 6	A3c	6-11	7%	8%	14%	30%	35%	5%	1%	7%	52%	41%	Us sandiger Schluff		
UN 6	BTa	6-11	10%	2%	4%	1%	39%	25%	19%	10%	6%	83%	Si2 schwach toniger Sand		
FU 1	ATa	6-11	0%	0%	10%	37%	41%	9%	3%	0%	48%	52%	Su4 stark schluffiger Sand		
FU 2	CKd	6-11	4%	0%	7%	17%	26%	19%	26%	4%	25%	71%	Su2 schwach schluffiger Sand		
FU 3	CTa	6-11	1%	4%	13%	19%	22%	19%	22%	1%	36%	63%	Su3 mittel schluffiger Sand		
FU 4	C7b	6-11	0%	4%	15%	28%	15%	15%	22%	0%	47%	53%	Su4 stark schluffiger Sand		
FU 4	C4a	6-11	0%	2%	15%	11%	25%	21%	27%	0%	27%	73%	Su3 mittel schluffiger Sand		
FU 4	C1b	6-11	1%	6%	13%	25%	23%	16%	17%	1%	44%	56%	Su4 stark schluffiger Sand		
FU 5	C5b	6-11	0%	4%	16%	27%	18%	17%	18%	0%	47%	53%	Su4 stark schluffiger Sand		
FU 5	C3c	6-11	12%	1%	14%	18%	26%	18%	11%	12%	34%	54%	Si4 stark lehmiger Sand		
FU 5	CTa	6-11	0%	4%	9%	29%	26%	14%	18%	0%	42%	58%	Su4 stark schluffiger Sand		
OB1	C4d	5-9*)	7%	13%	12%	10%	18%	24%	16%	7%	35%	58%	Su3 mittel schluffiger Sand		
OB1	C1d	5-9*)	12%	18%	18%	22%	15%	11%	3%	12%	58%	29%	Uls sandig-lehmiger Schluff		
OB2	C6d	5-9*)	19%	7%	9%	16%	18%	19%	11%	19%	32%	49%	Ls3 mittel sandiger Lehm		
OB2	C1d	5-9*)	30%	14%	14%	5%	16%	18%	3%	30%	33%	37%	Lt2 schwach toniger Lehm		
OB3	C7d	5-9*)	11%	2%	3%	12%	28%	30%	15%	11%	16%	72%	Si3 mittel lehmiger Sand		
OB3	C4d	5-9*)	9%	13%	13%	17%	22%	19%	7%	9%	43%	48%	Slu schluffig-lehmiger Sand		



i Innerschlöss

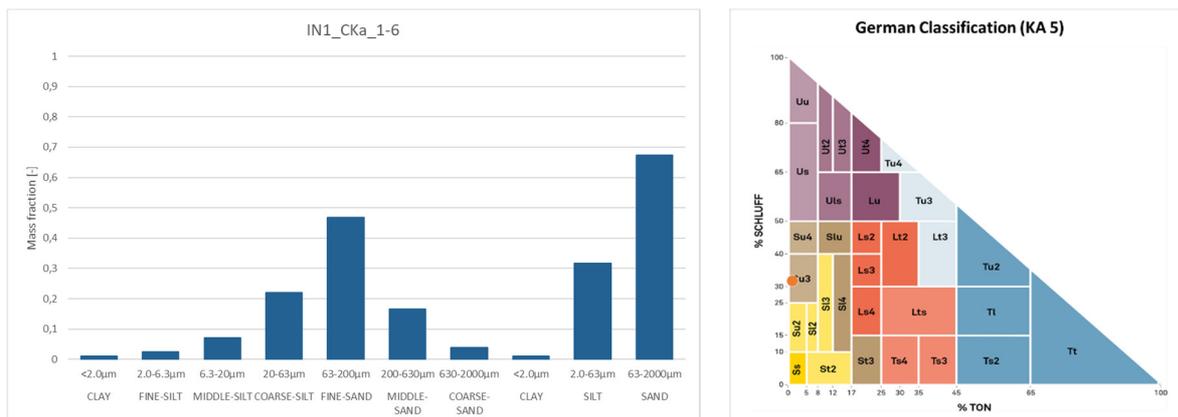


Abbildung 54: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_CKa_1-6

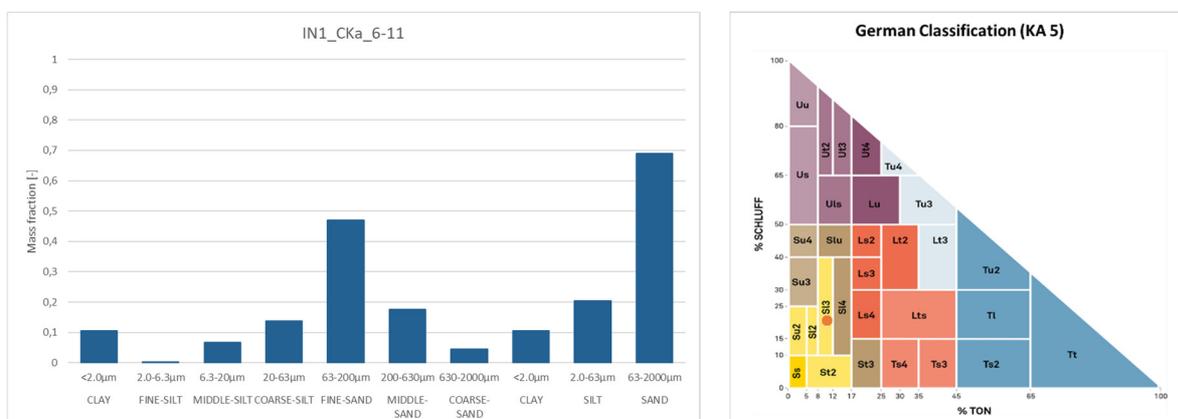


Abbildung 55: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_CKa_6-11

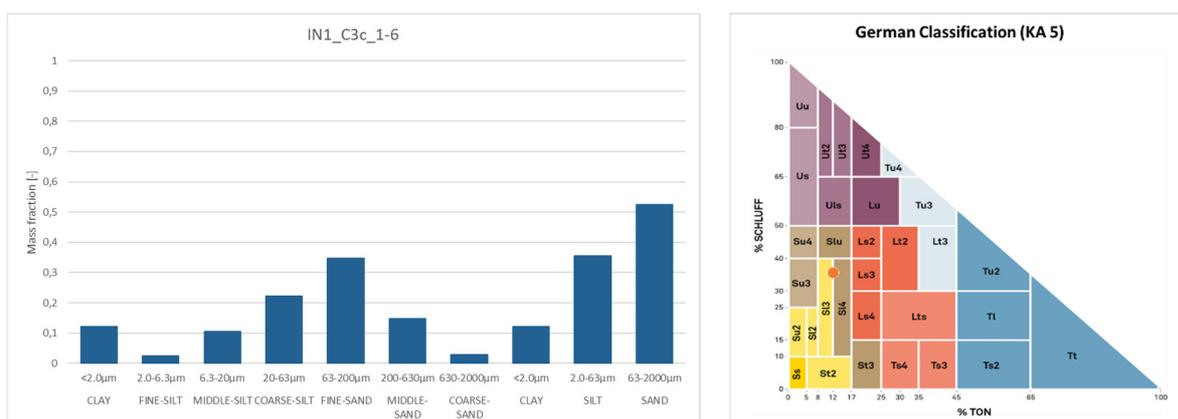


Abbildung 56: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_C3c_1-6cm



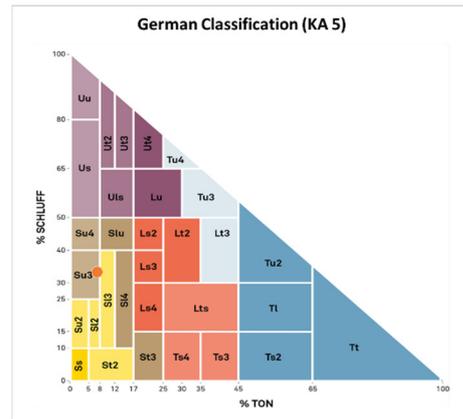
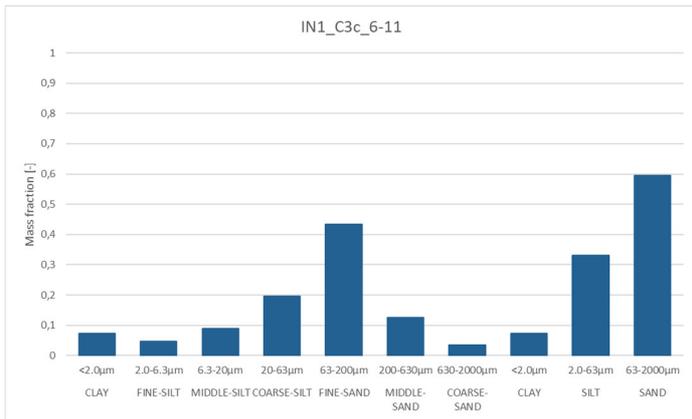


Abbildung 57: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_C3c_6-11cm

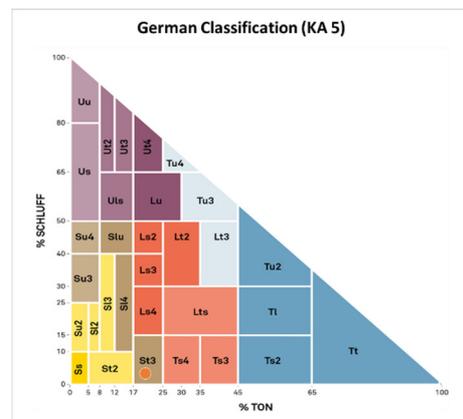
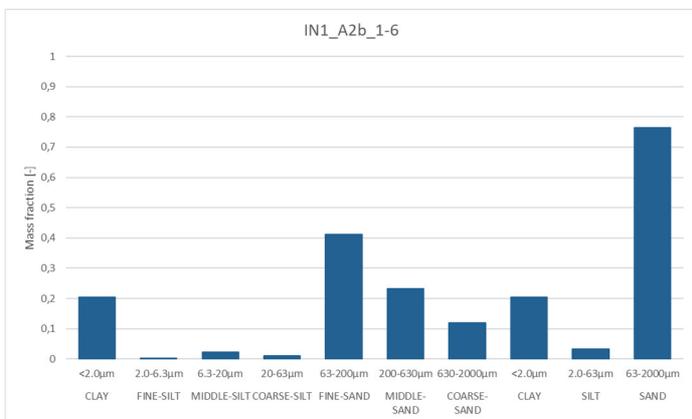


Abbildung 58: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_A2b_1-6cm

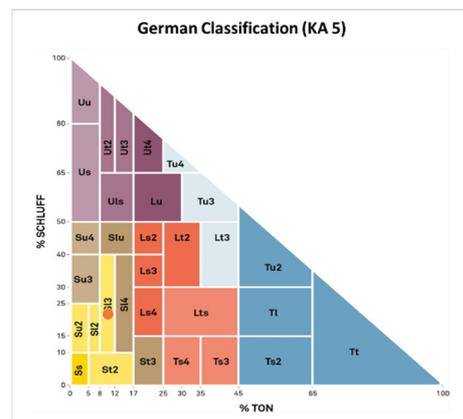
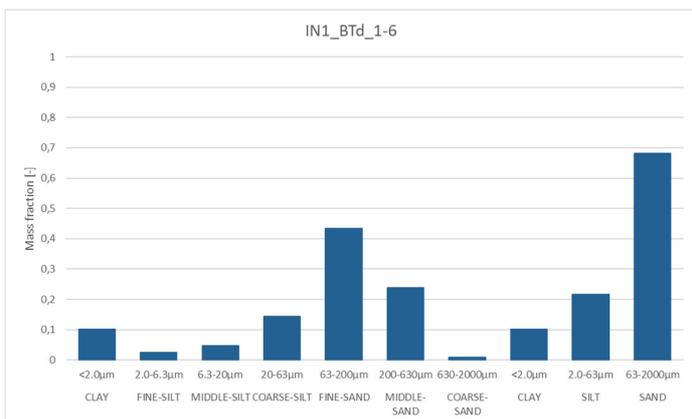


Abbildung 59: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_BTd_1-6cm



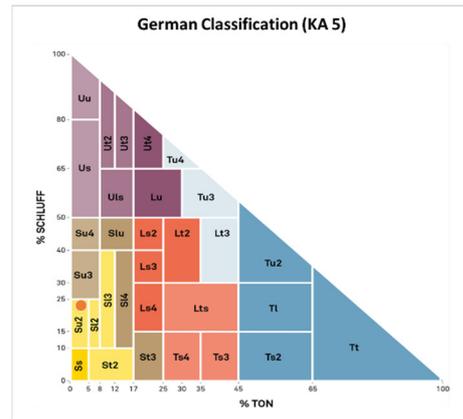
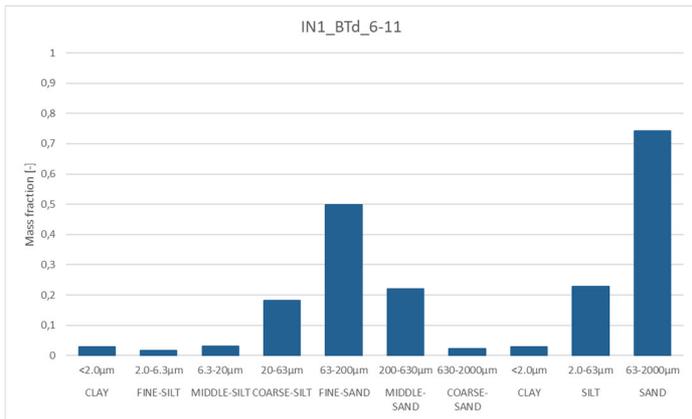


Abbildung 60: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN1_BTd_6-11cm

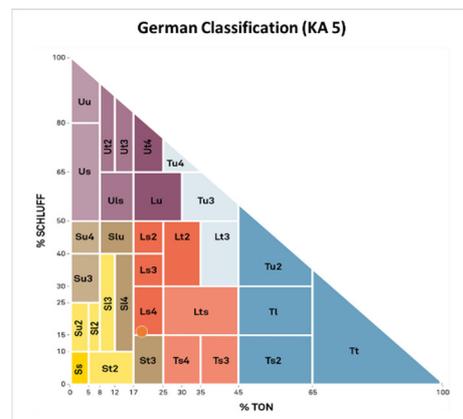
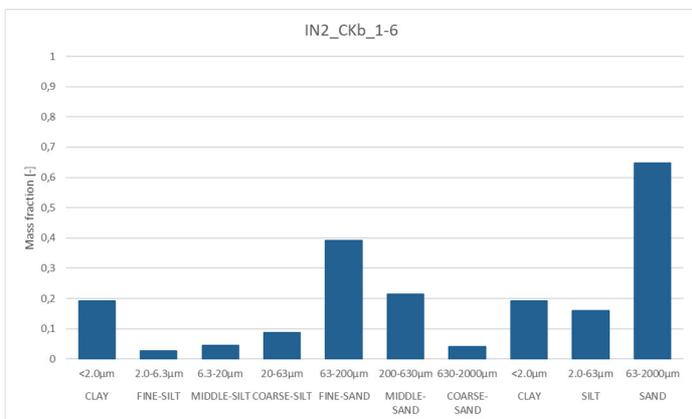


Abbildung 61: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CKb_1-6cm

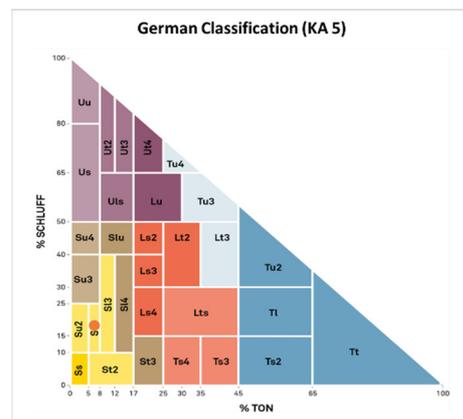
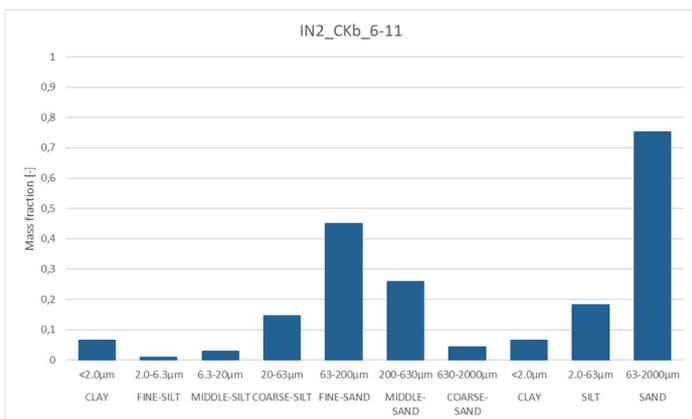


Abbildung 62: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CKb_6-11cm



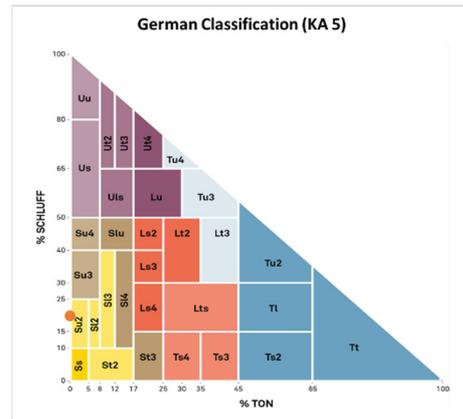
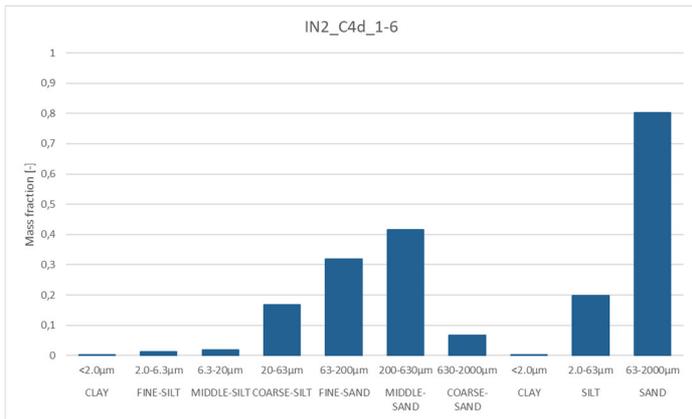


Abbildung 63: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_C4d_1-6cm

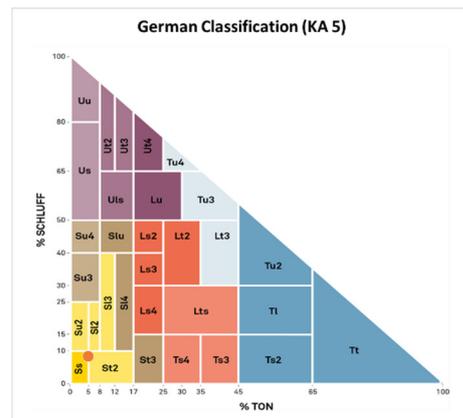
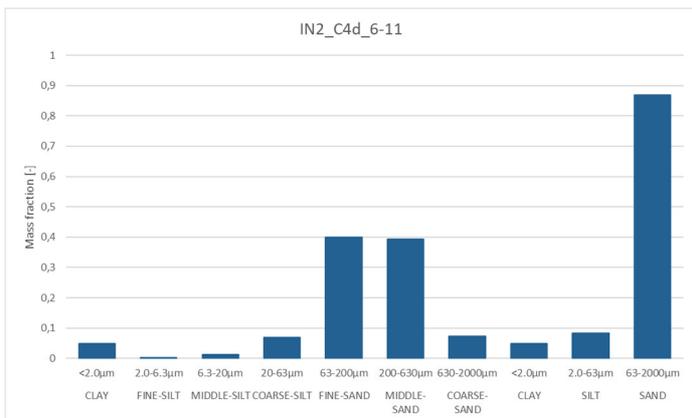


Abbildung 64: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_C4d_6-11cm

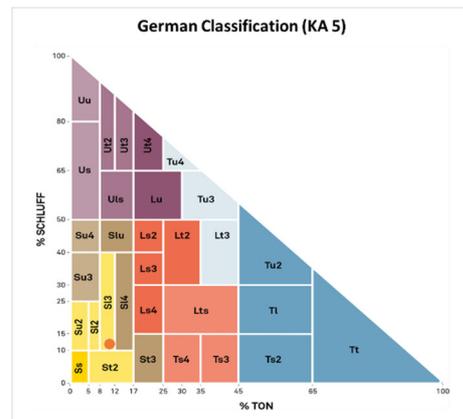
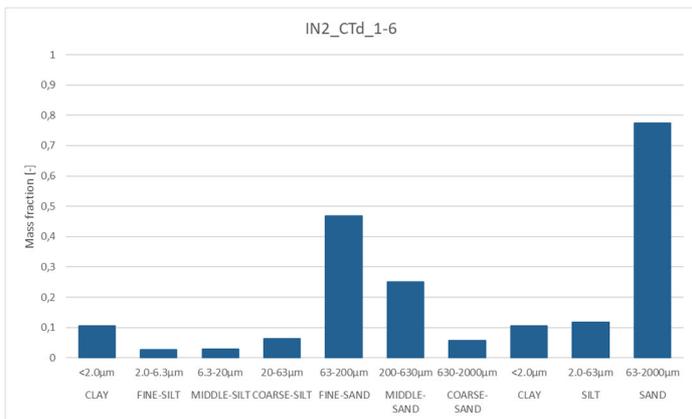


Abbildung 65: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CTd_1-6cm



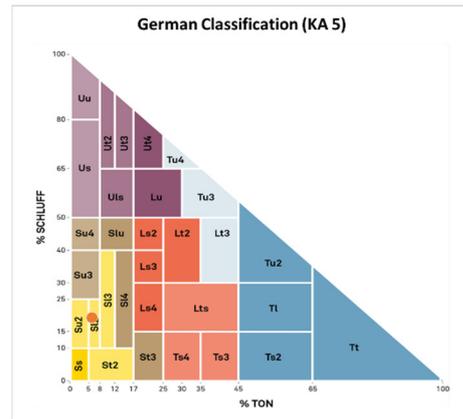
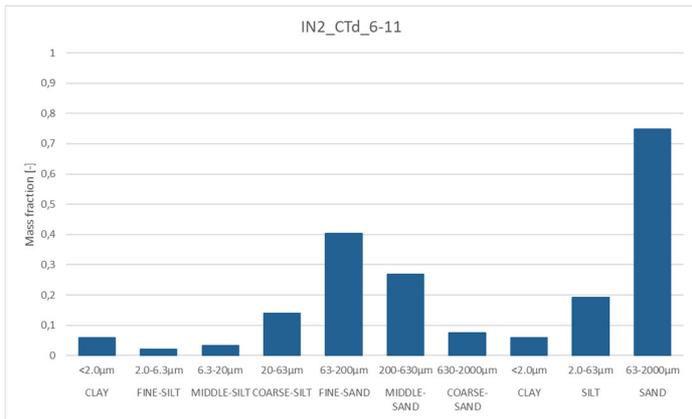


Abbildung 66: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN2_CTd_6-11cm

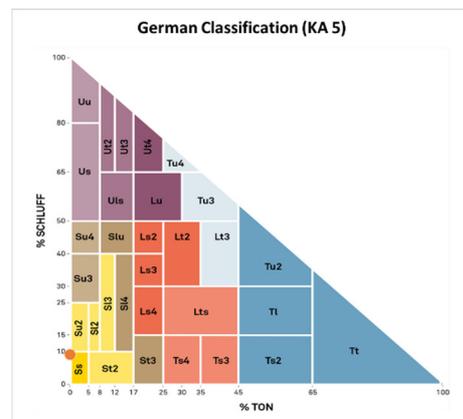
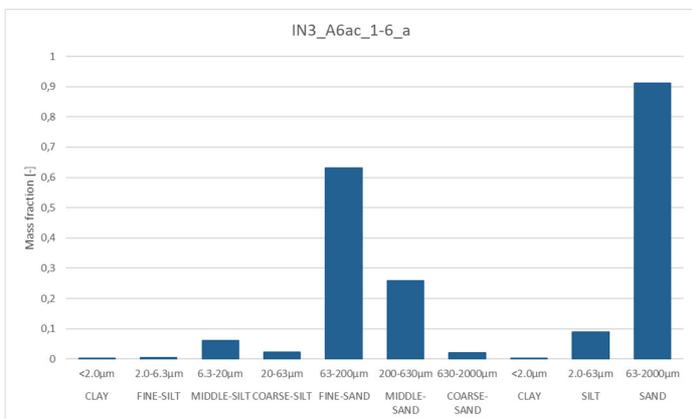


Abbildung 67: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A6a/c_1-6cm

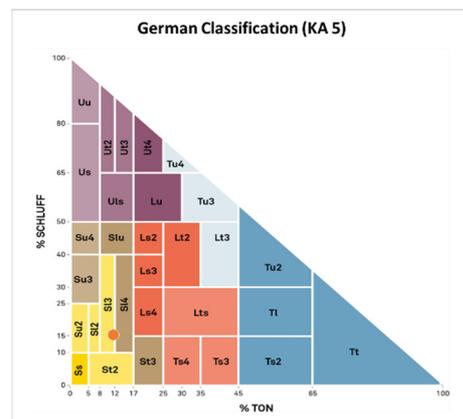
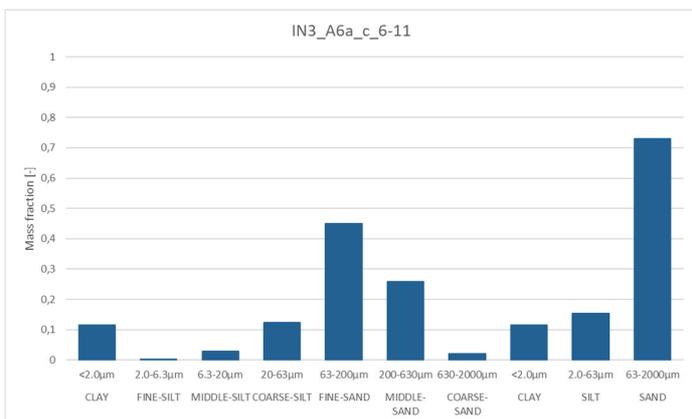


Abbildung 68: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A6a/c_6-11cm



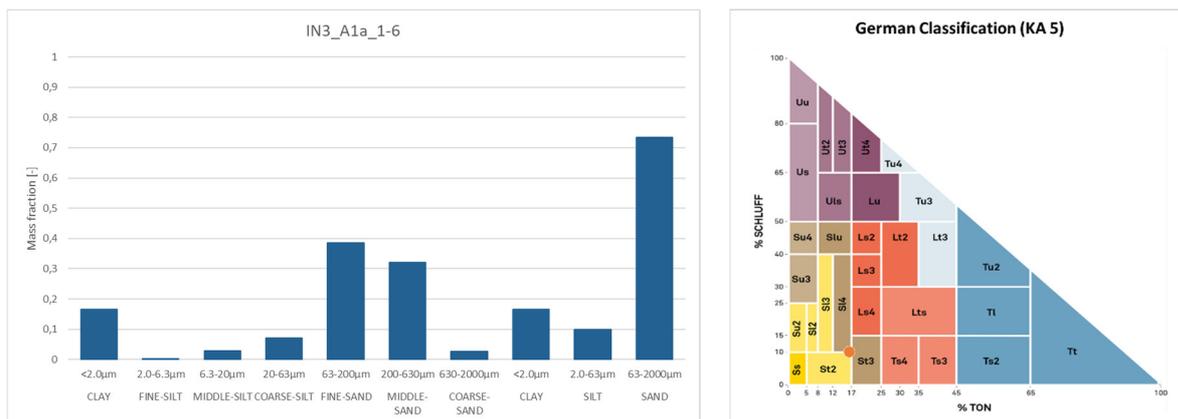


Abbildung 69: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A1a_1-6 cm

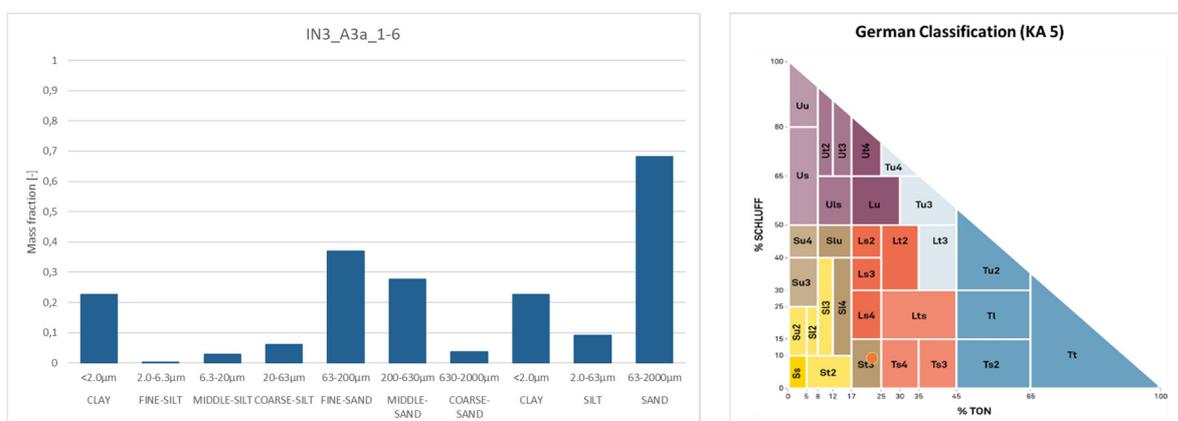


Abbildung 70: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN3_A3a_1-6 cm

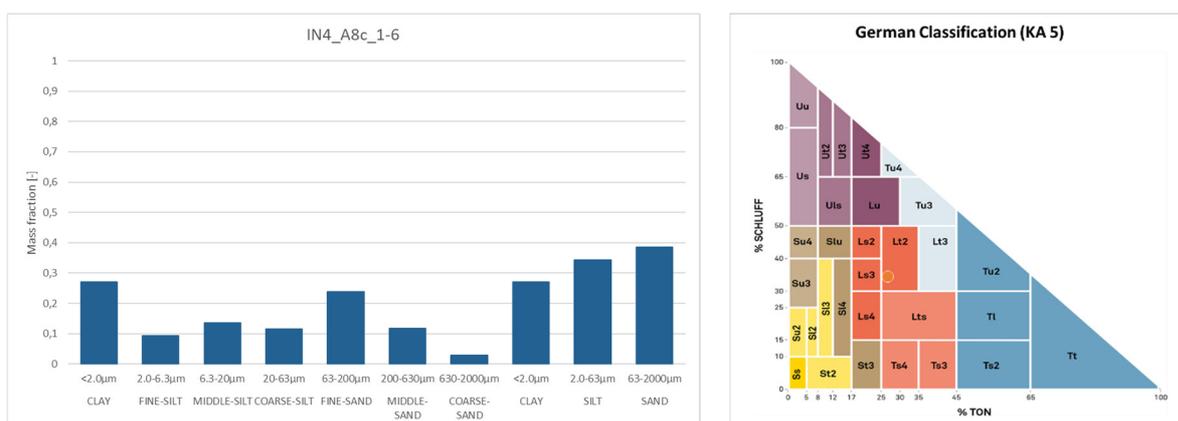


Abbildung 71: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN4_A8c_1-6cm



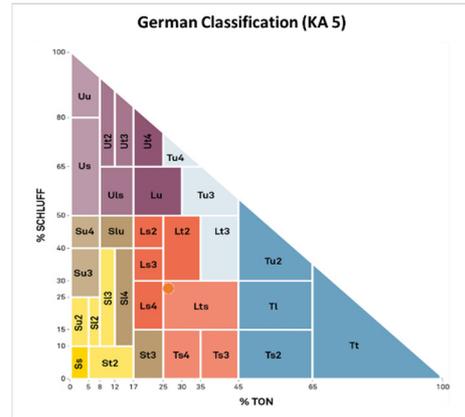
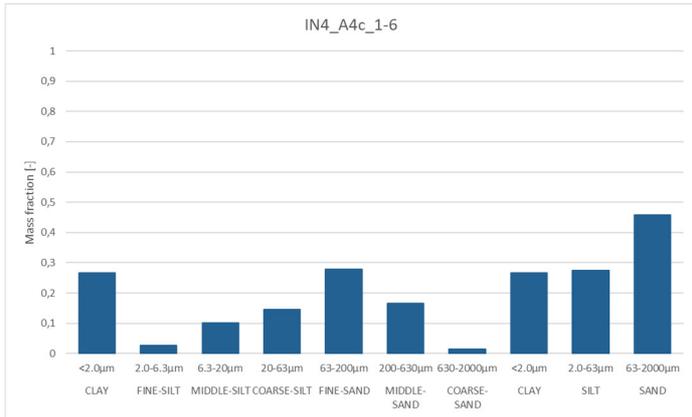


Abbildung 72: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN4_A4c_1-6cm

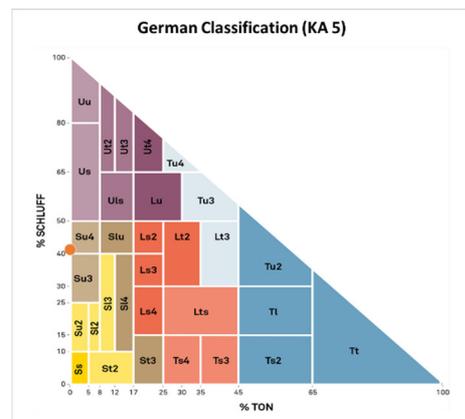
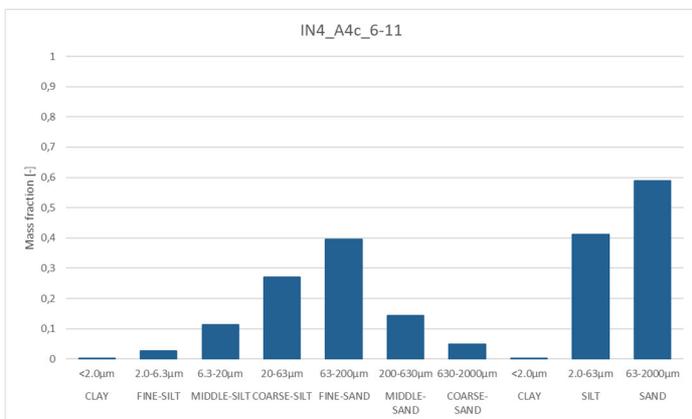


Abbildung 73: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN4_A4c_6-11cm

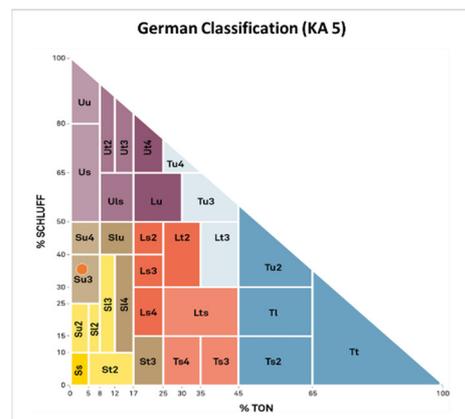
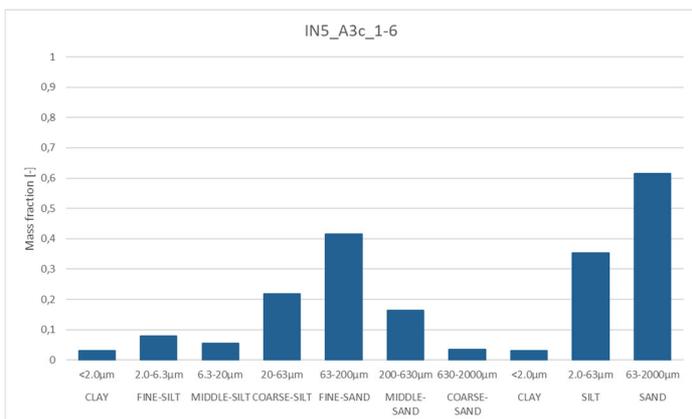


Abbildung 74: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für IN5_A3c_1-6cm



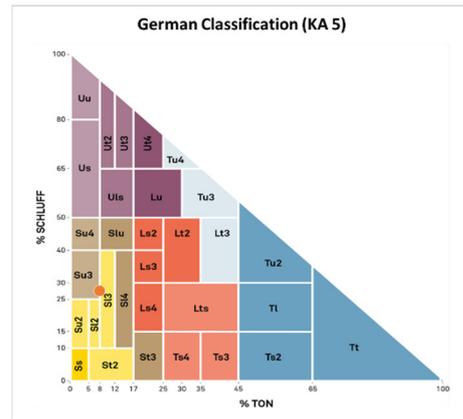
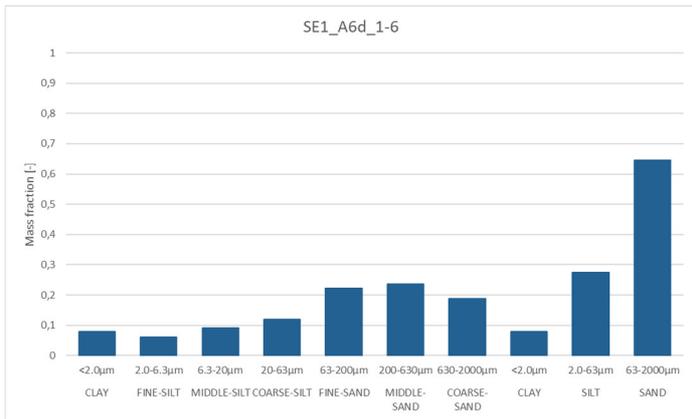


Abbildung 78: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE1_A6d_1-6cm

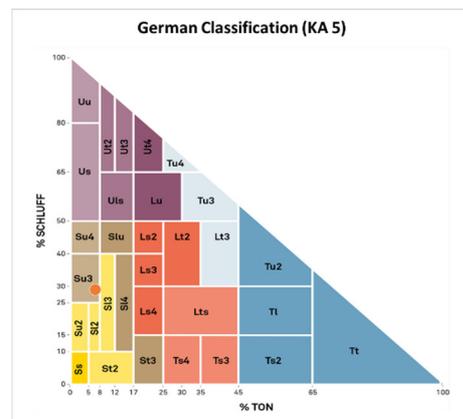
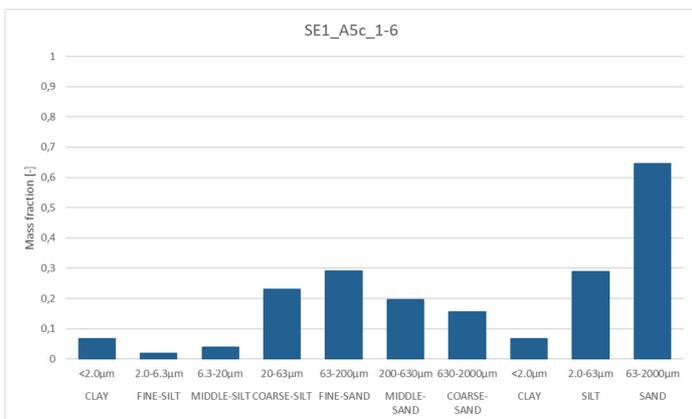


Abbildung 79: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE1_A5c_1-6cm

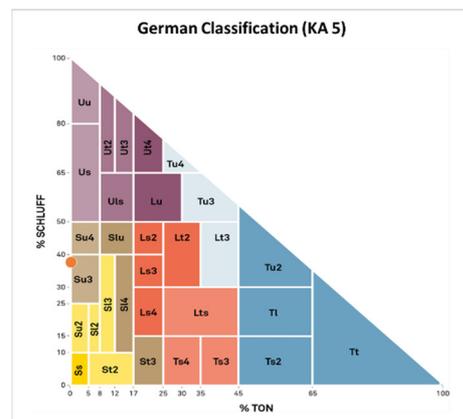
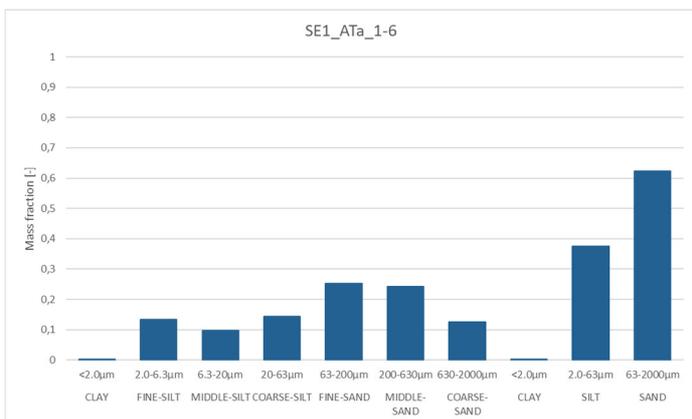


Abbildung 80: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE1_ATa_1-6cm



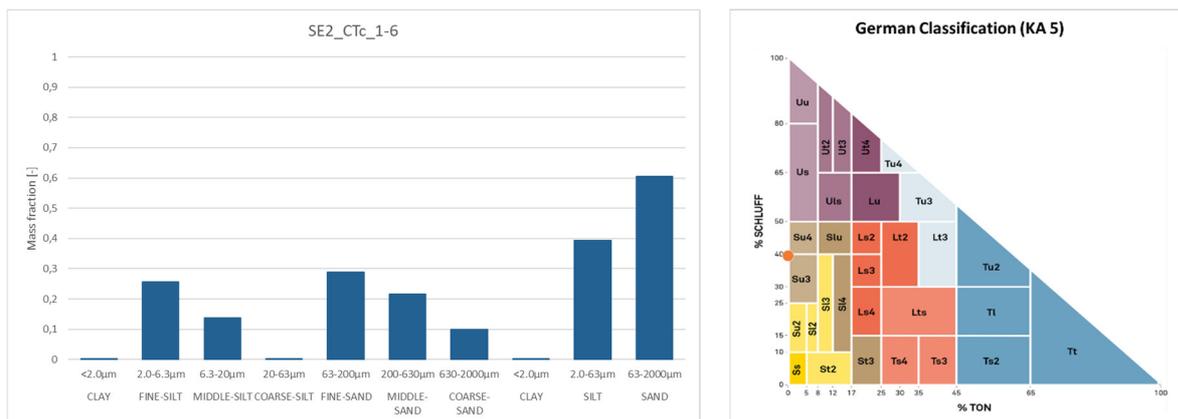


Abbildung 81: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE2_CTC_1-6cm

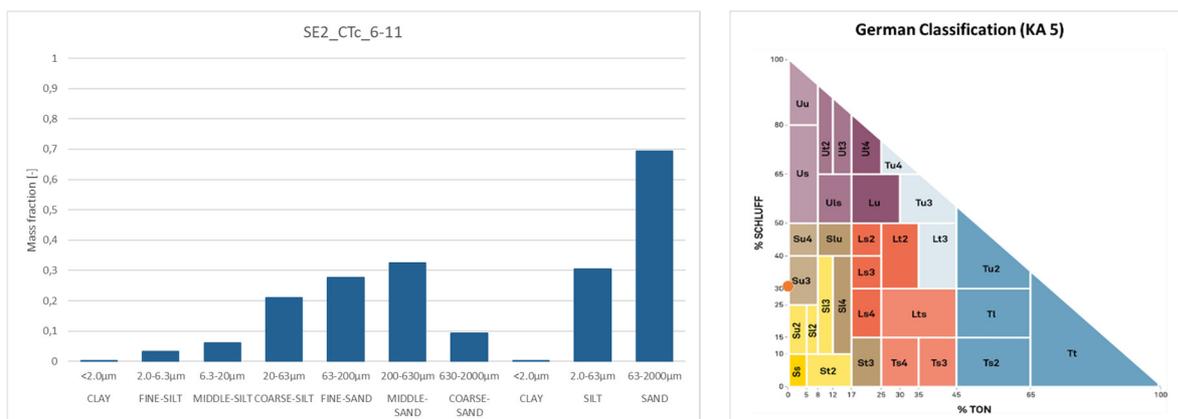


Abbildung 82: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE2_CTC_6-11cm

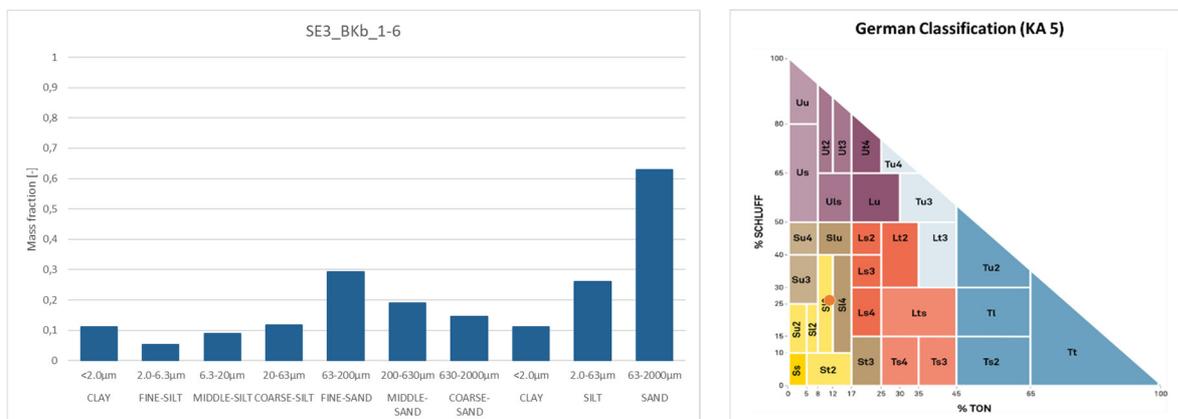


Abbildung 83: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_BKb_1-6cm



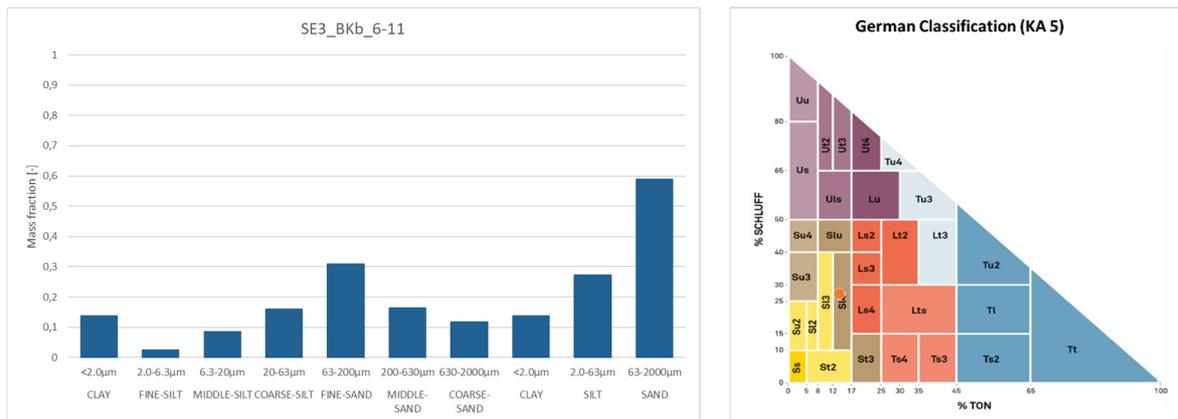


Abbildung 84: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_BKb_6-11cm

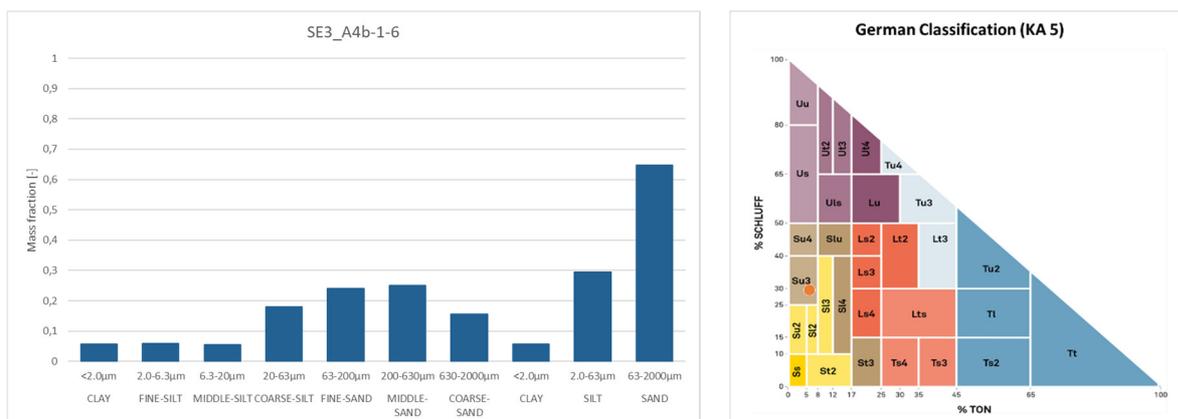


Abbildung 85: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_A4b_1-6cm

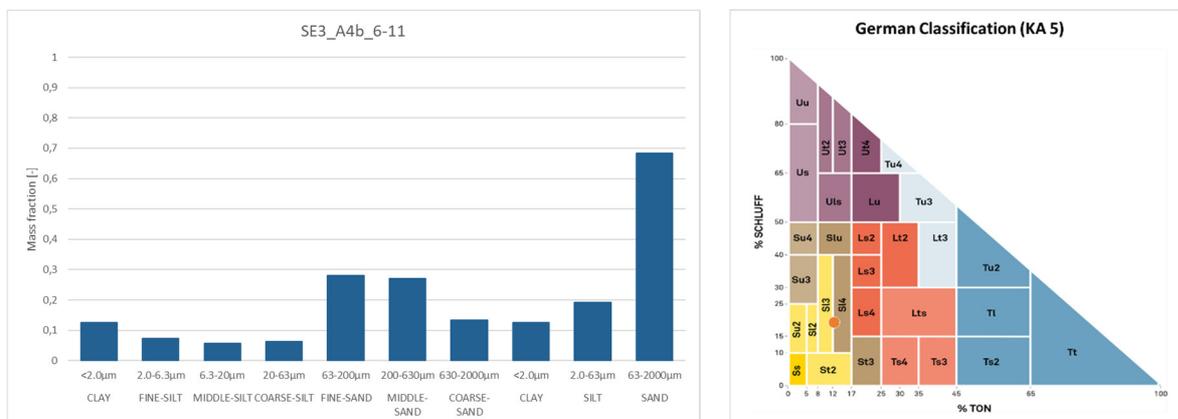


Abbildung 86: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_A4b_6-11cm



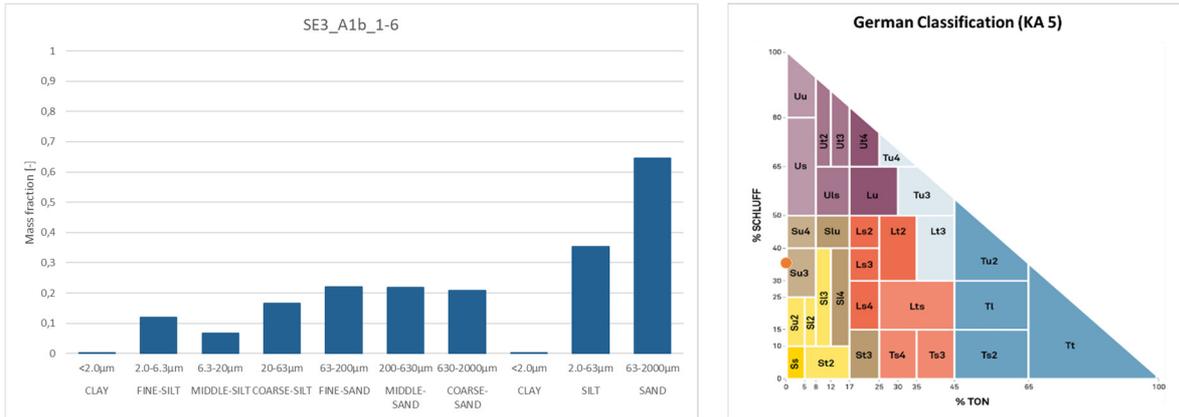


Abbildung 87: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für SE3_A1b_1-6 cm

iii Untersulzbachtal

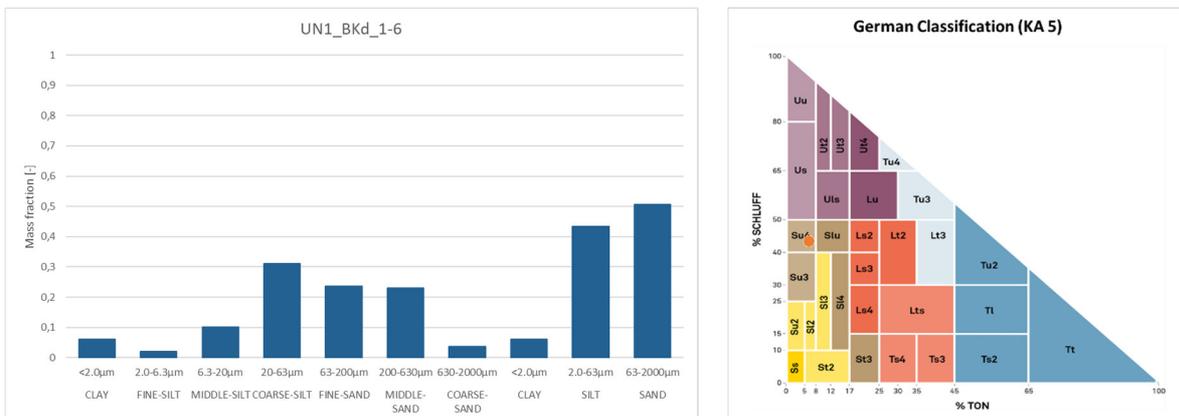


Abbildung 88: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_BKd_1-6cm

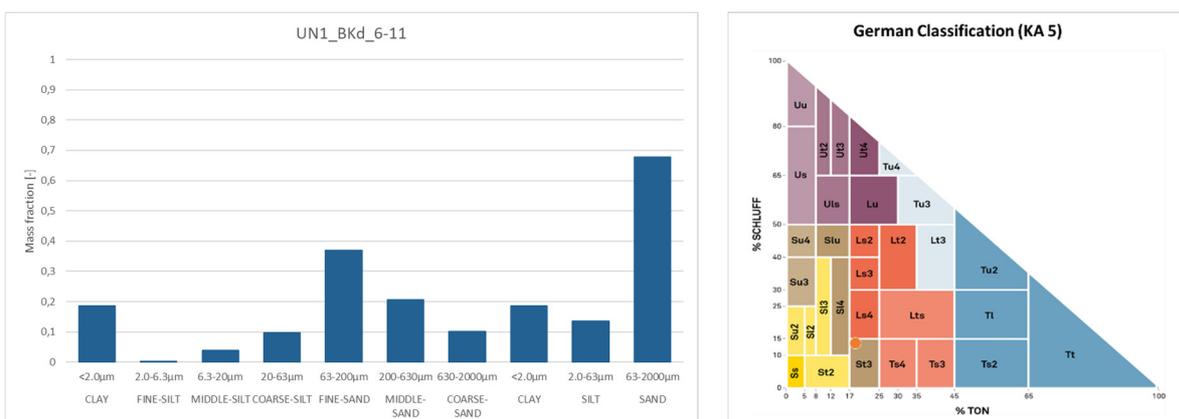


Abbildung 89: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_BKd_6-11cm



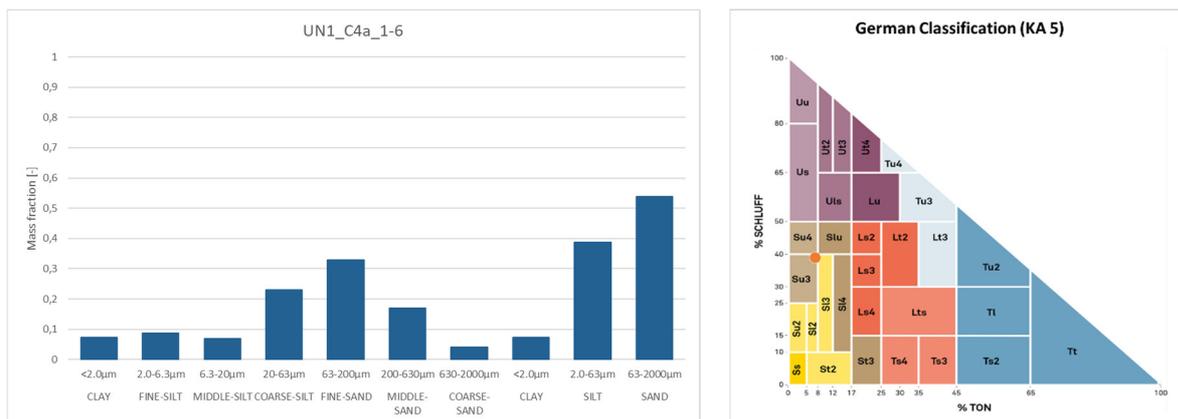


Abbildung 90: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_C4a_1-6cm

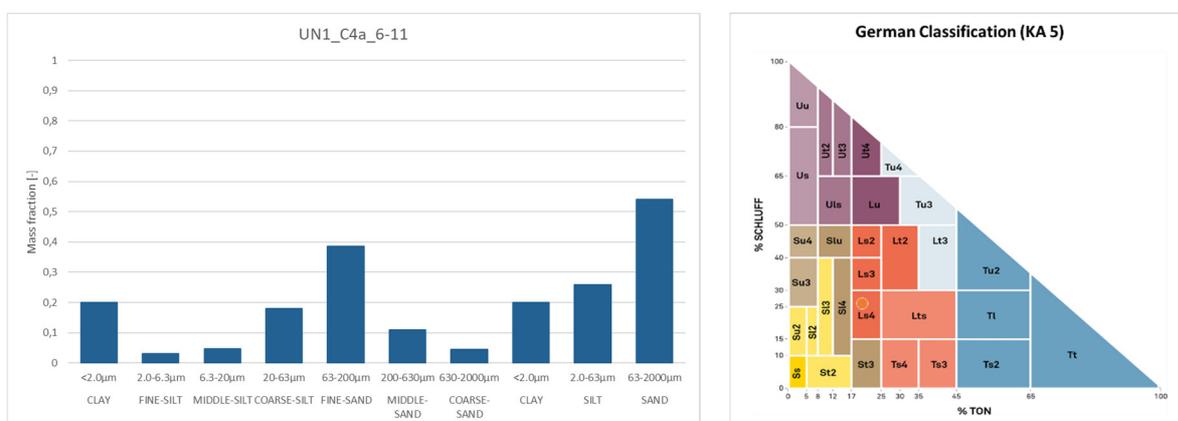


Abbildung 91: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN1_C4a_6-11cm

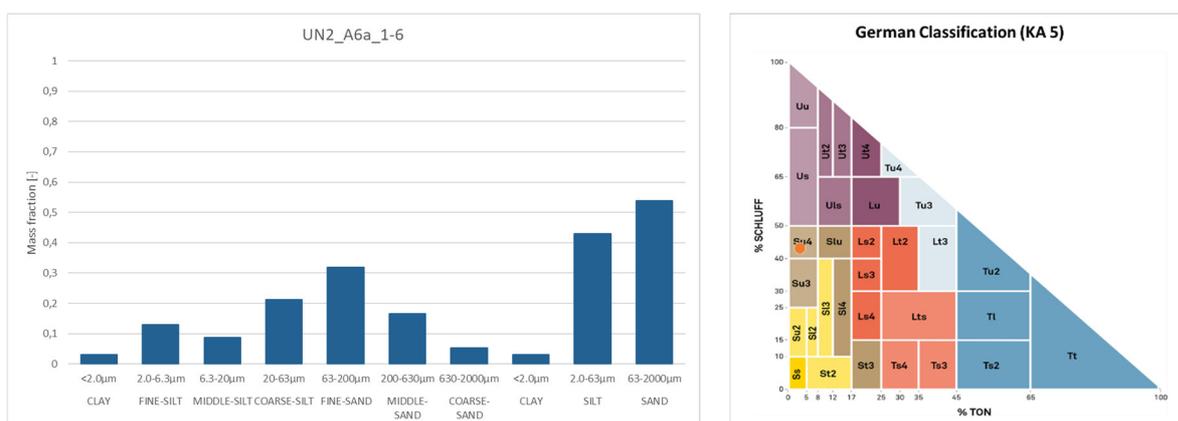


Abbildung 92: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_A6a_1-6 cm



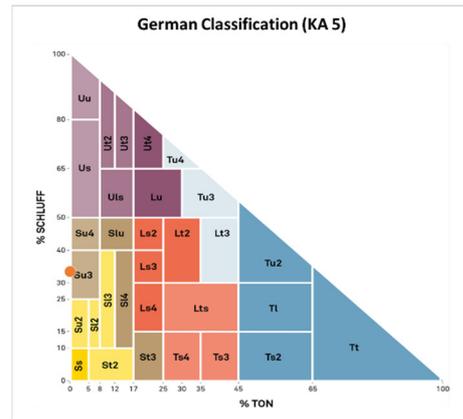
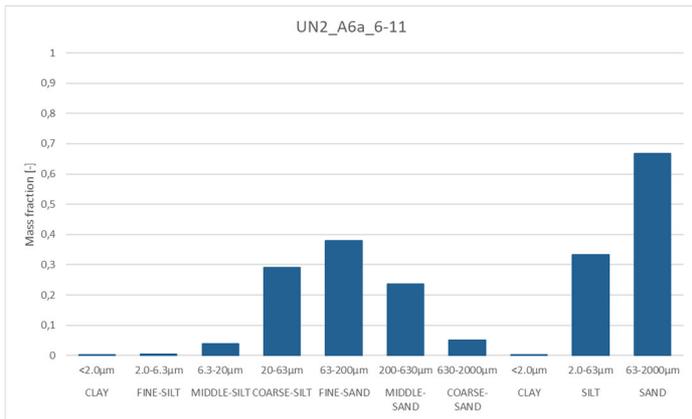


Abbildung 93: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_A6a_6-11 cm

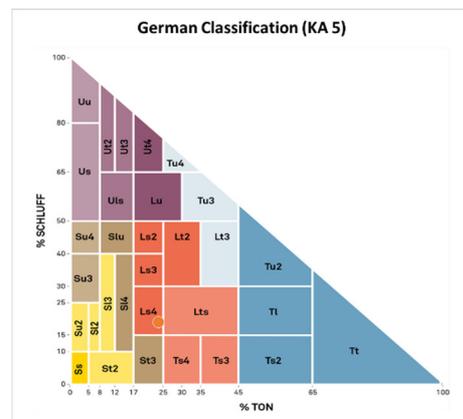
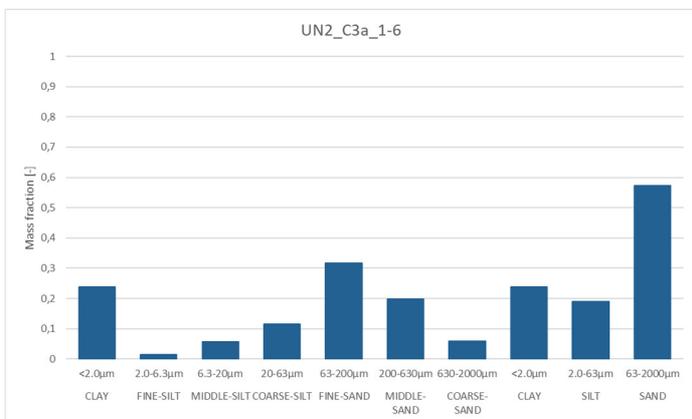


Abbildung 94: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_C3a_1-6 cm

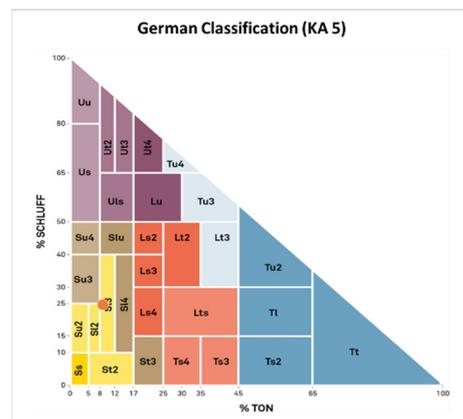
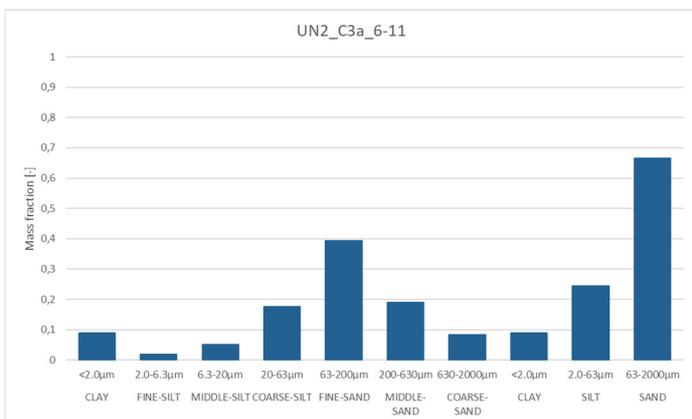


Abbildung 95: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_C3a_6-11 cm



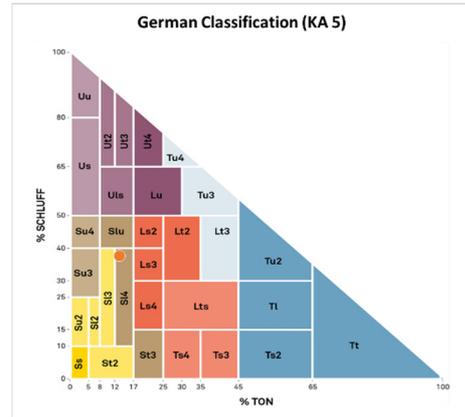
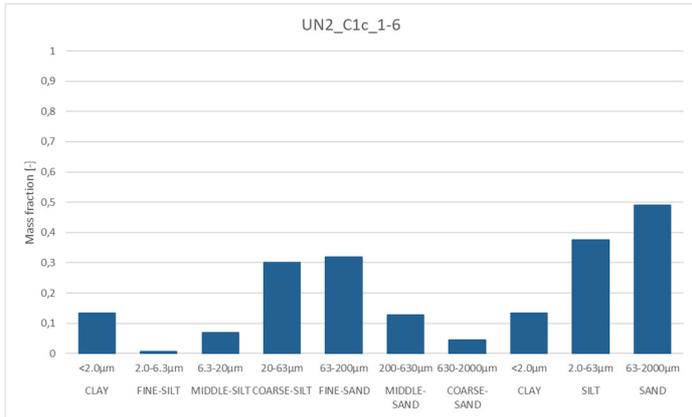


Abbildung 96: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN2_C1c_1-6 cm

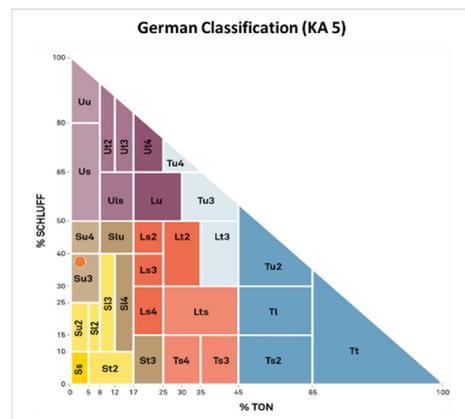
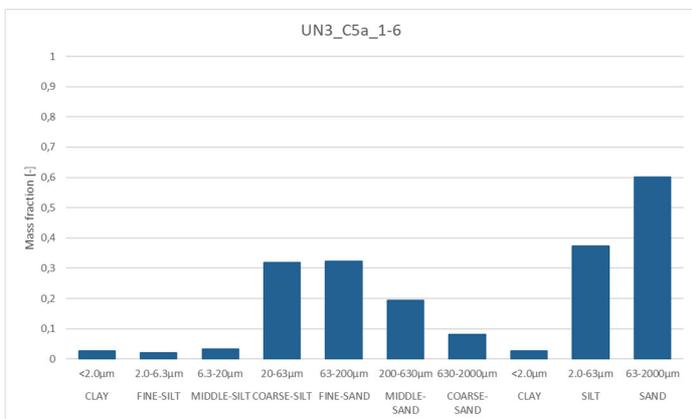


Abbildung 97: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_C5a_1-6 cm

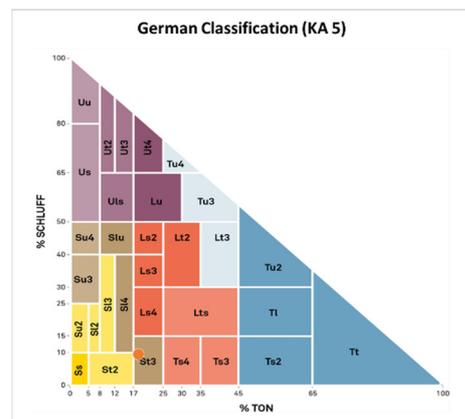
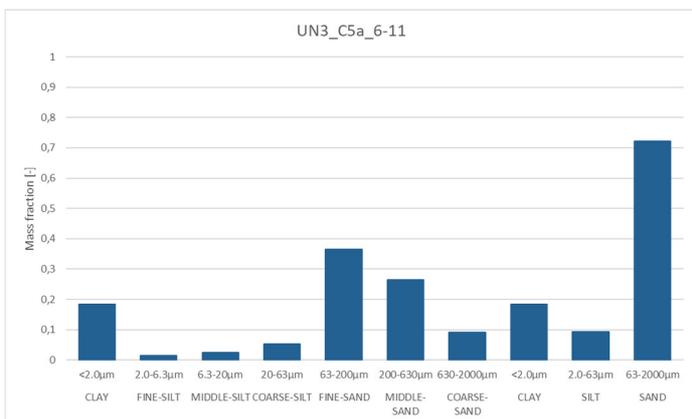


Abbildung 98: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_C5a_6-11 cm

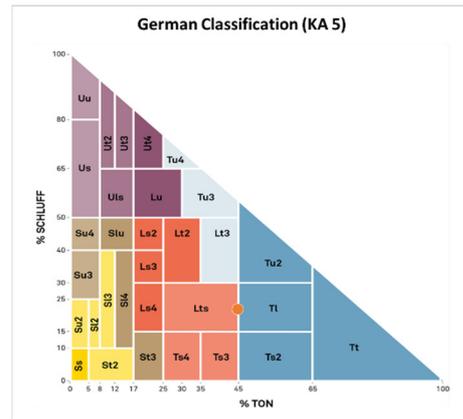
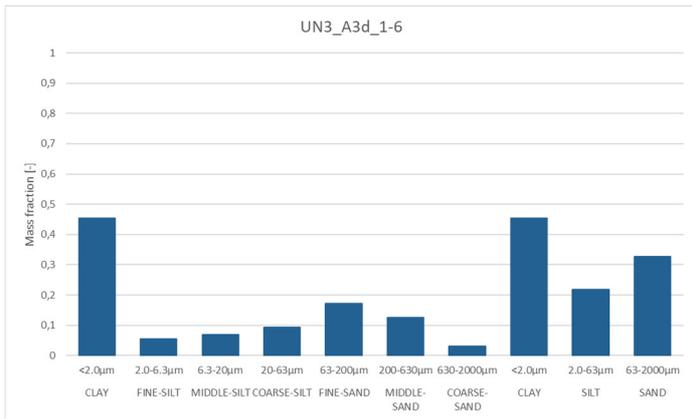


Abbildung 99: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_A3d_1-6 cm

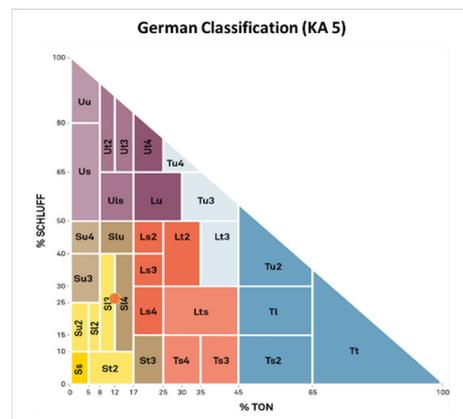
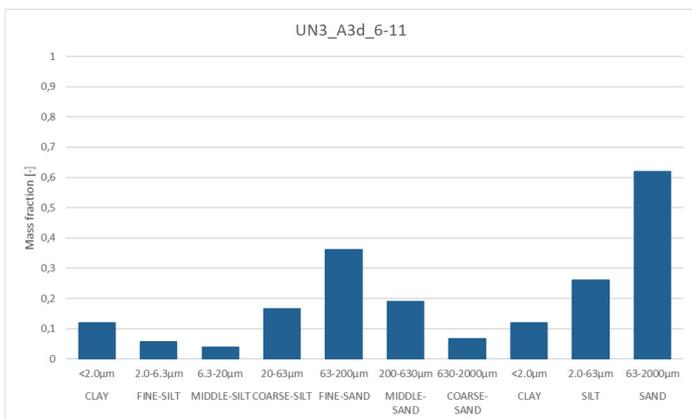


Abbildung 100: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN3_A3d_6-11 cm

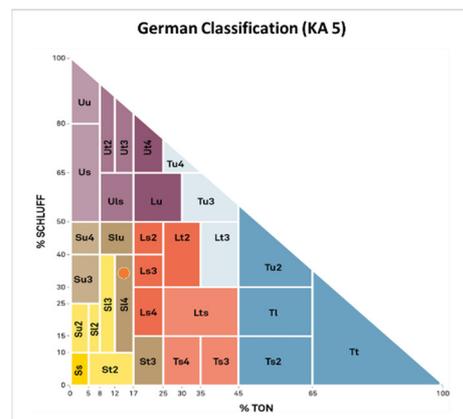
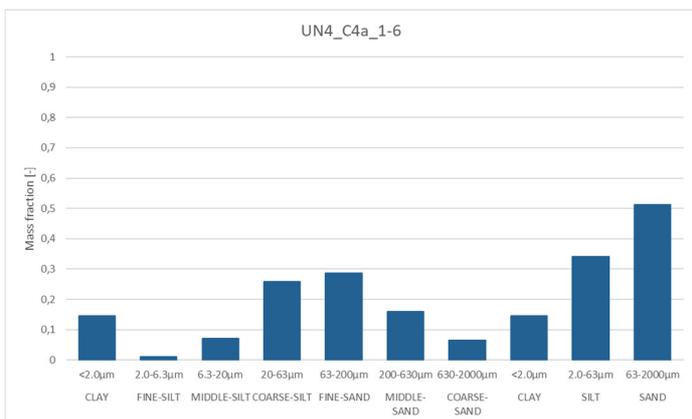


Abbildung 101: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN4_C4a_1-6 cm



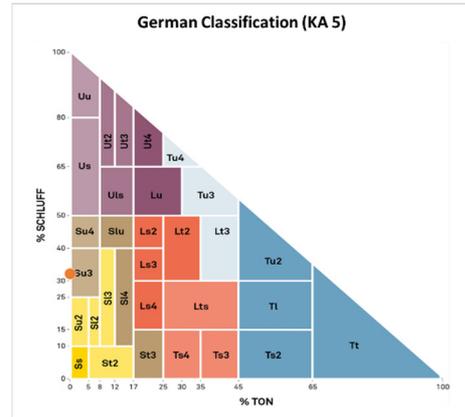
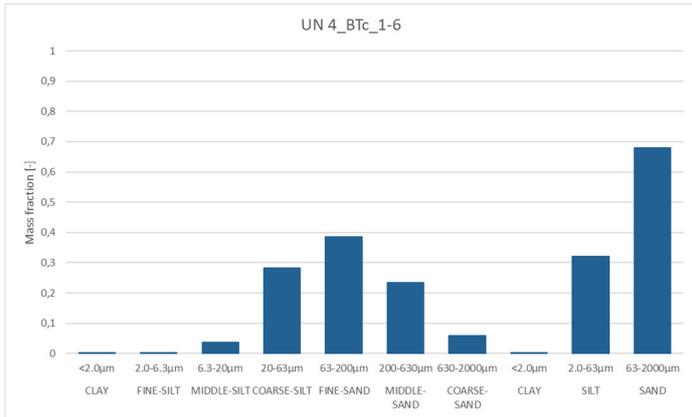


Abbildung 102: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN4_BTc_1-6 cm

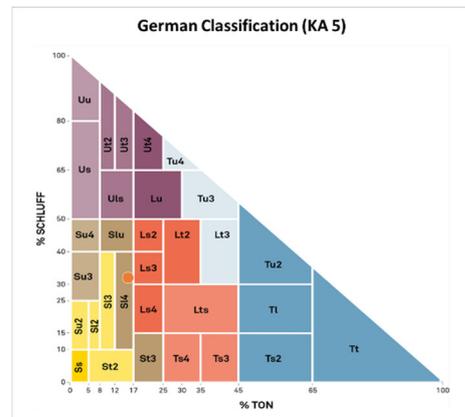
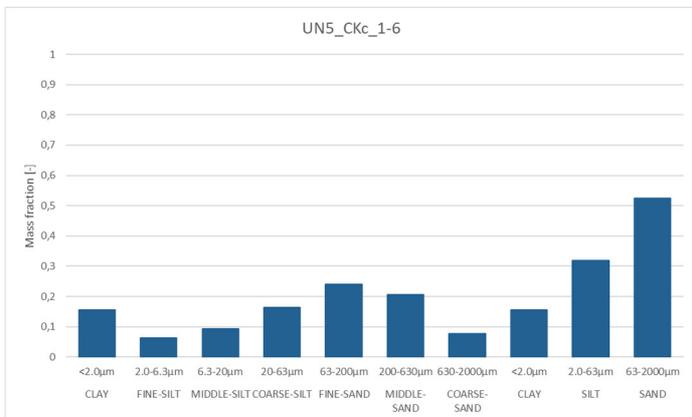


Abbildung 103: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_CKc_1-6 cm

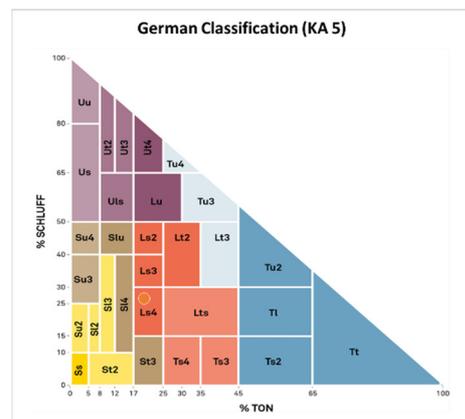
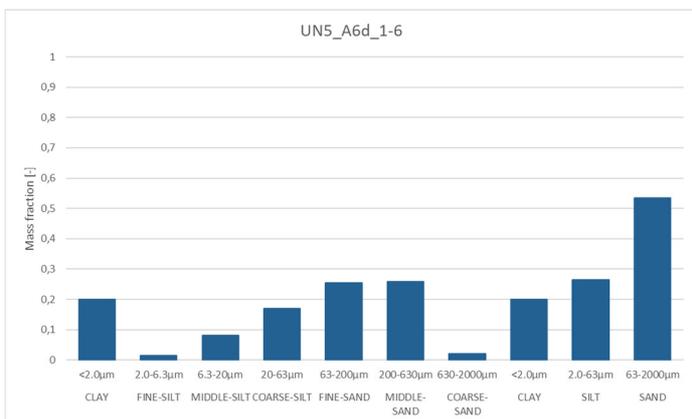


Abbildung 104: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_A6d_1-6 cm



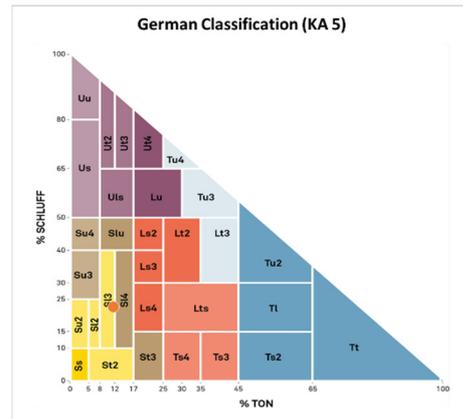
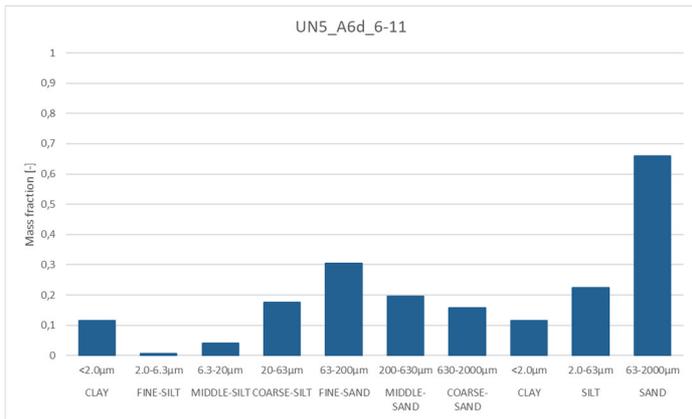


Abbildung 105: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_A6d_6-11 cm

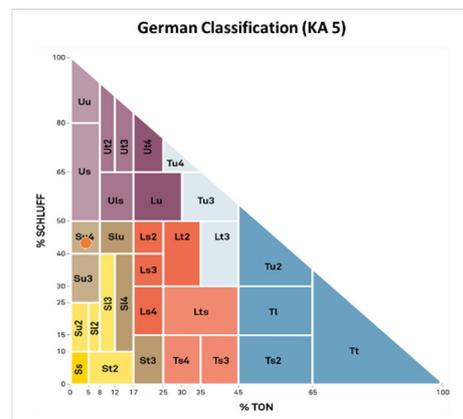
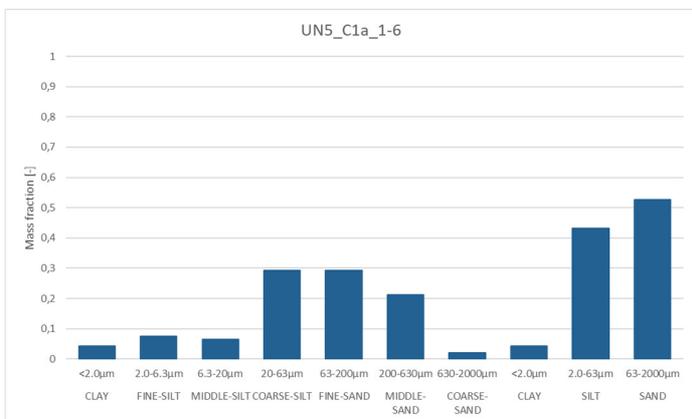


Abbildung 106: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_C1a_1-6 cm

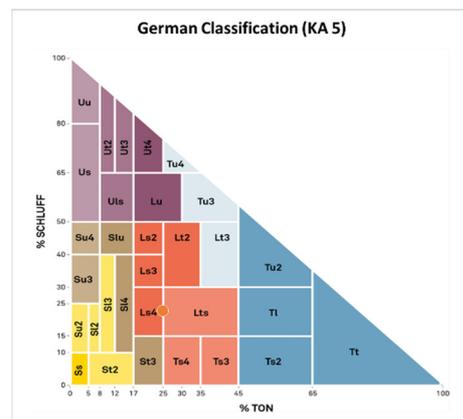
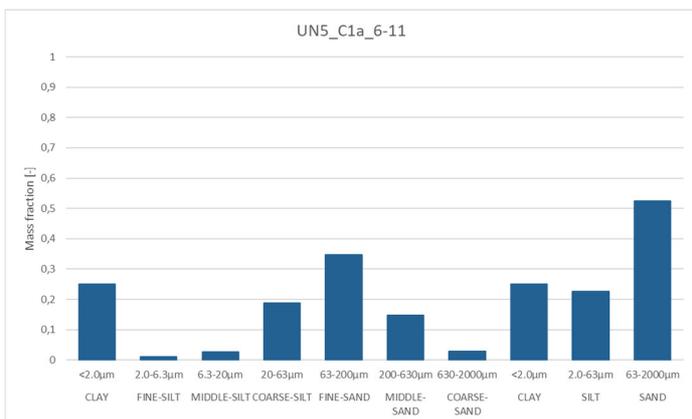


Abbildung 107: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN5_C1a_6-11 cm



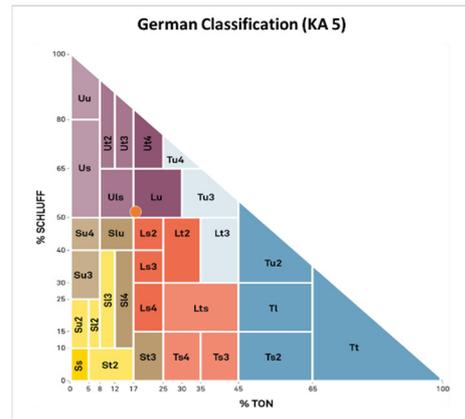
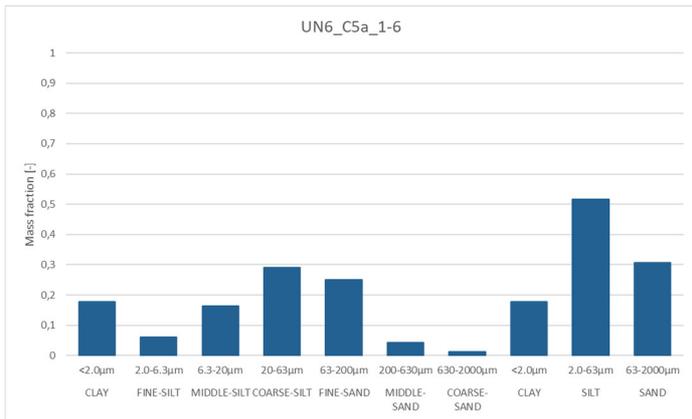


Abbildung 108: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_C5a_1-6 cm

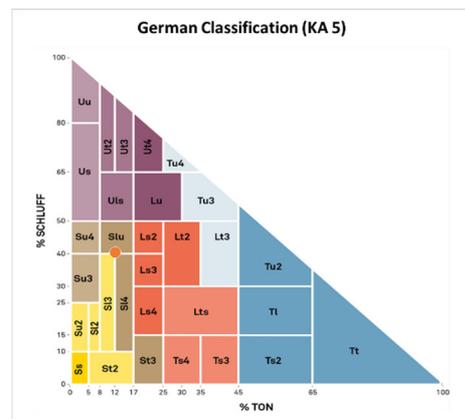
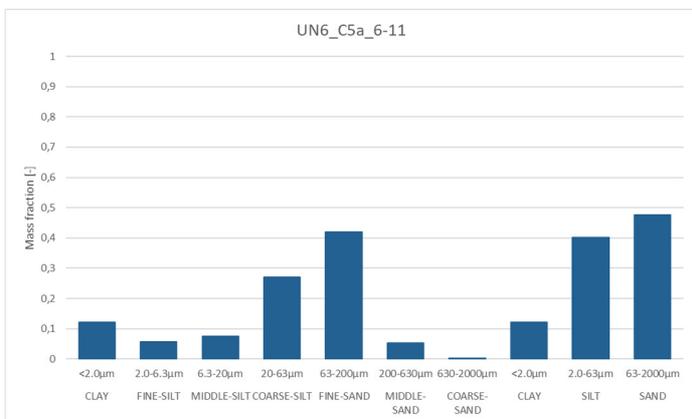


Abbildung 109: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_C5a_6-11 cm

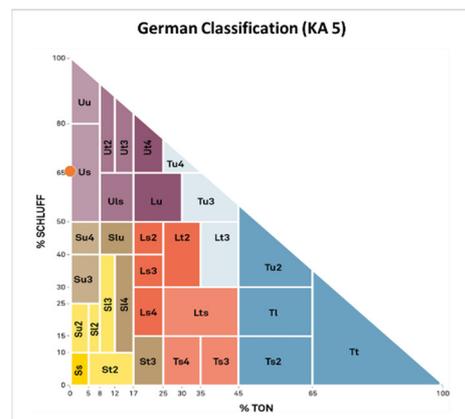
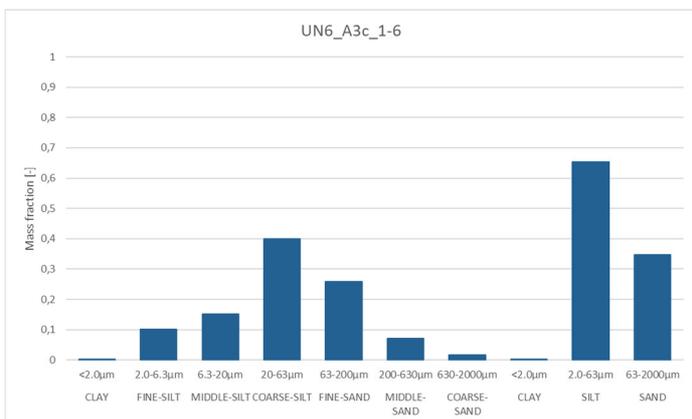


Abbildung 110: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_A3c_1-6 cm

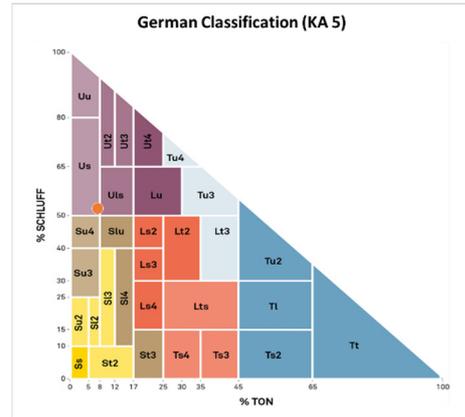
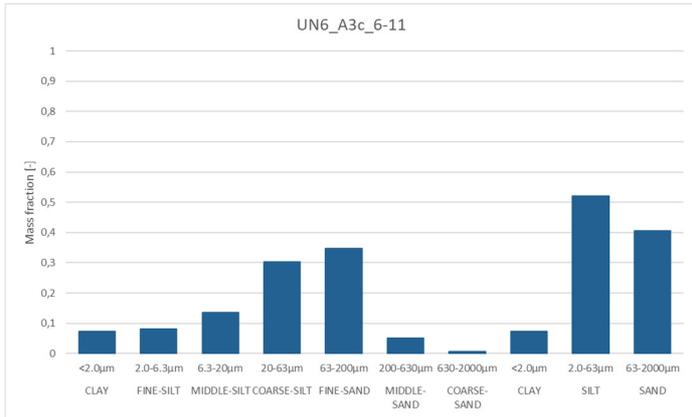


Abbildung 111: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_A3c_6-11 cm

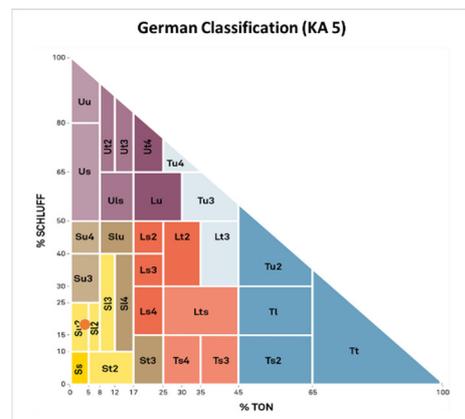
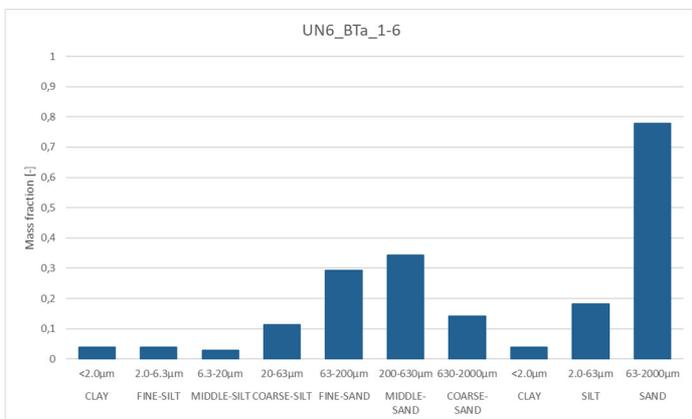


Abbildung 112: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_BTa_1-6 cm

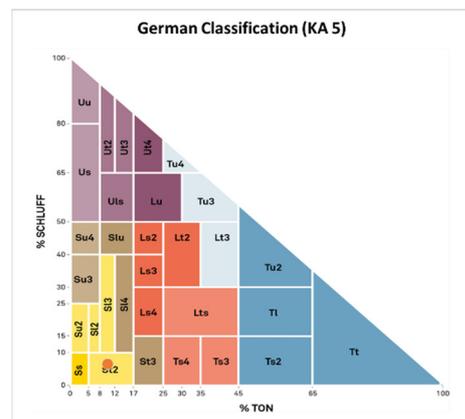
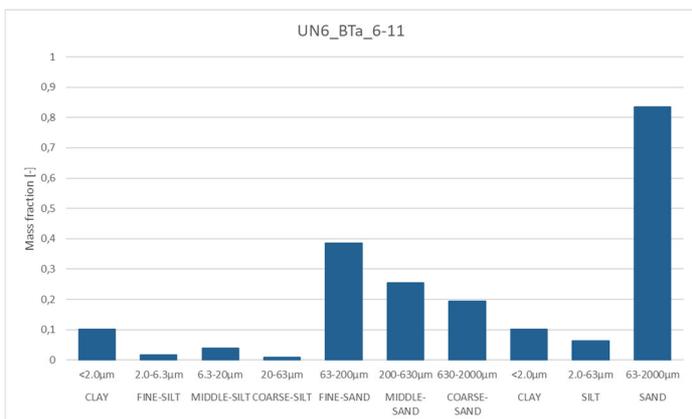


Abbildung 113: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für UN6_BTa_6-11 cm



iv Furka

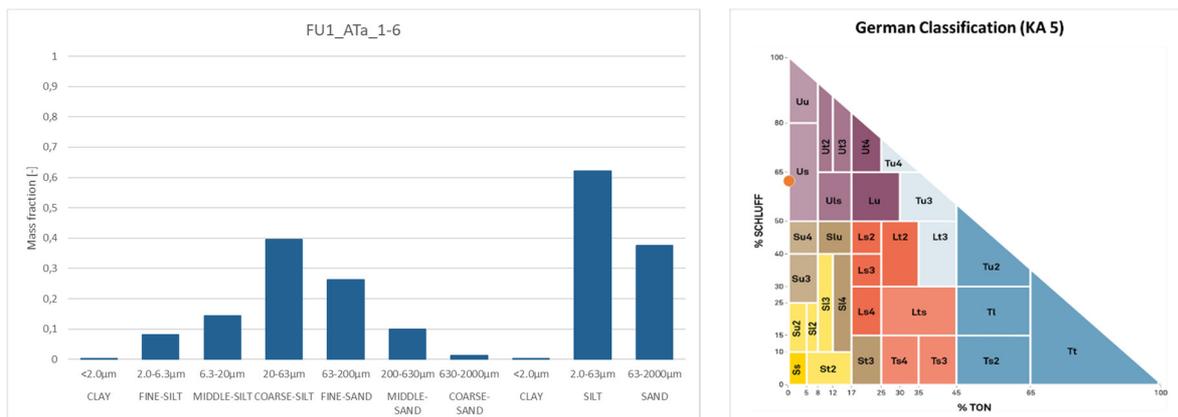


Abbildung 114: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU1_ATa_1-6 cm

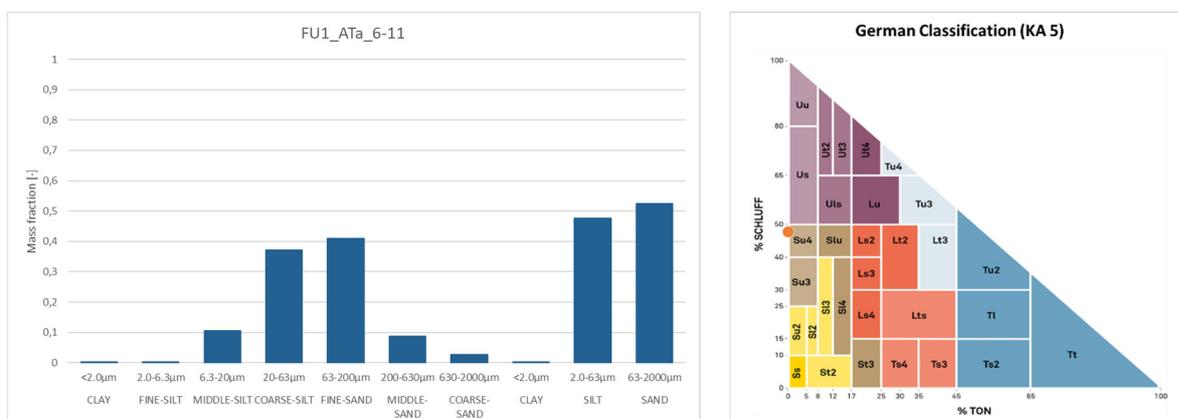


Abbildung 115: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU1_ATa_6-11 cm

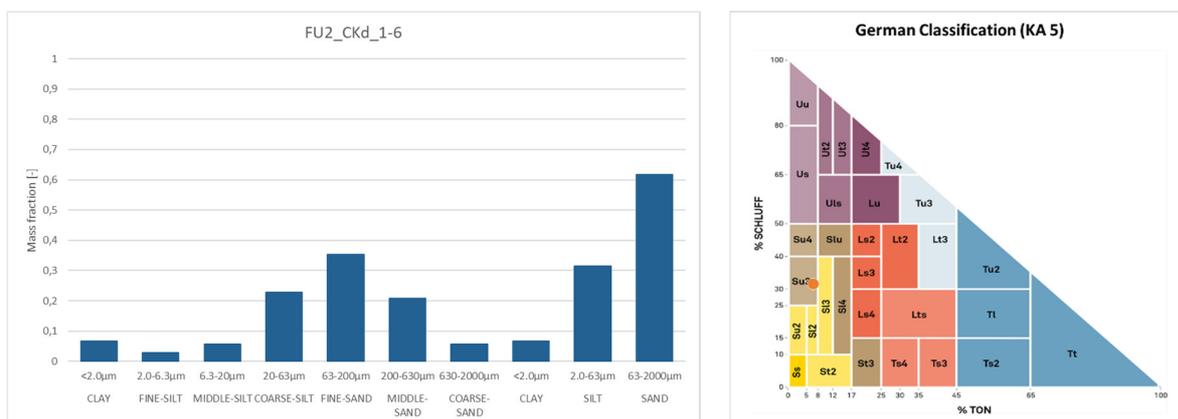


Abbildung 116: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU2_CKd_1-6 cm



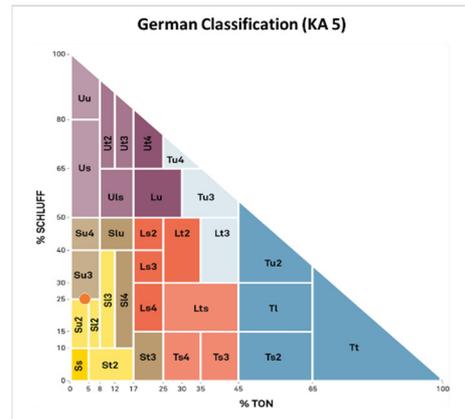
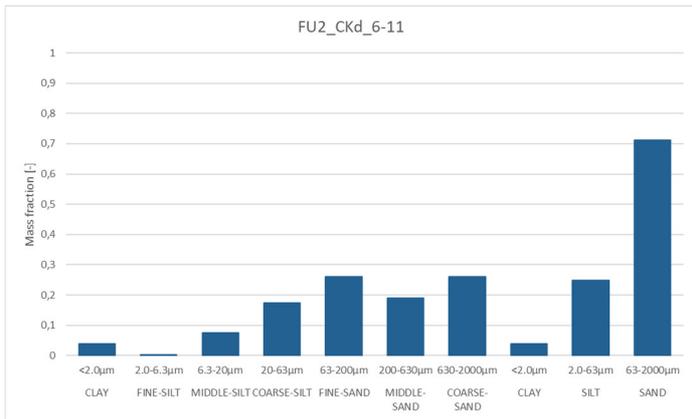


Abbildung 117: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU2_CkD_6-11 cm

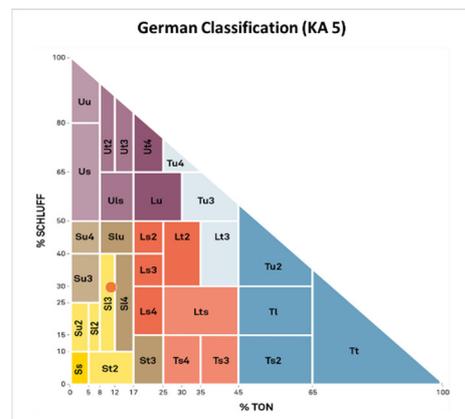
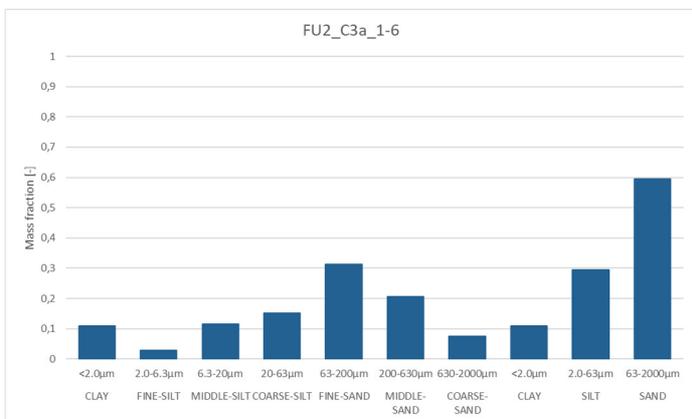


Abbildung 118: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU2_C3a_1-6 cm

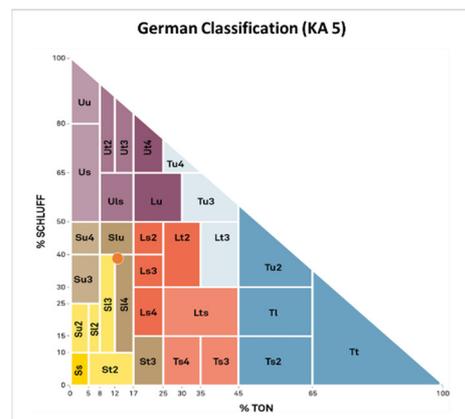
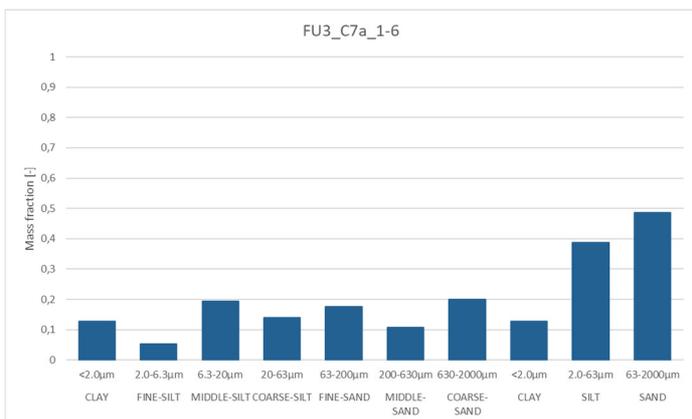


Abbildung 119: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU3_C7a_1-6 cm



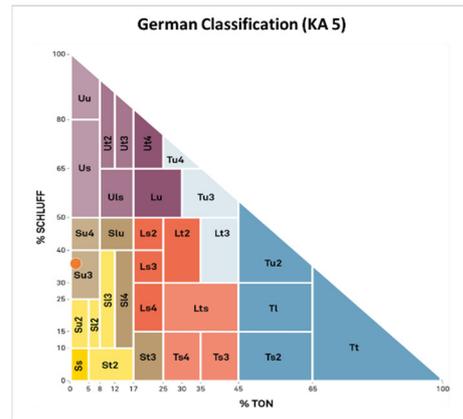
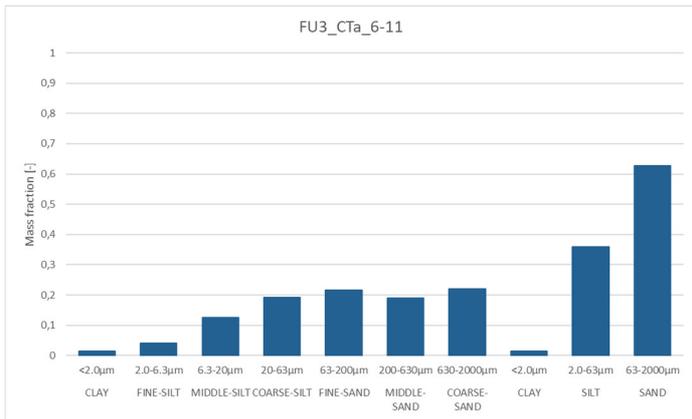


Abbildung 120: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU3_C7a_6-11 cm

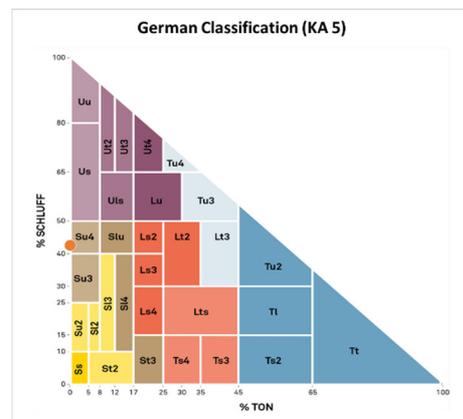
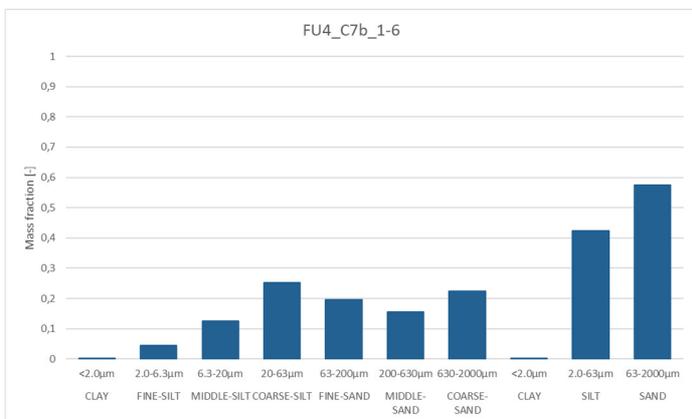


Abbildung 121: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C7b_1-6 cm

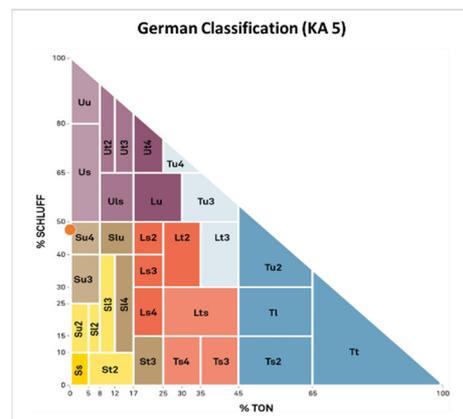
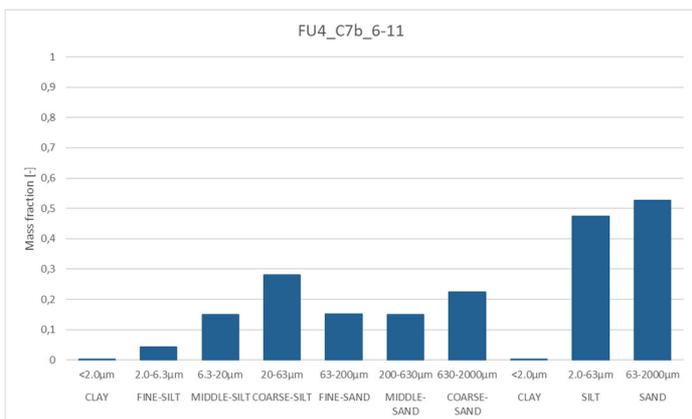


Abbildung 122: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C7b_6-11 cm



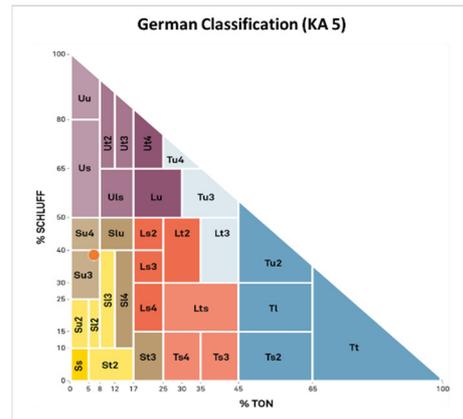
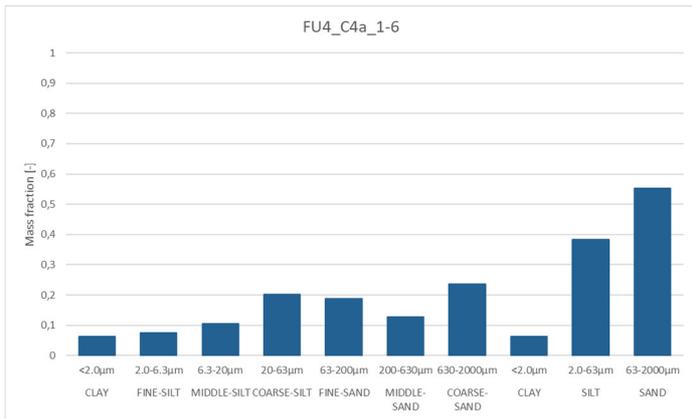


Abbildung 123: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C4a_1-6 cm

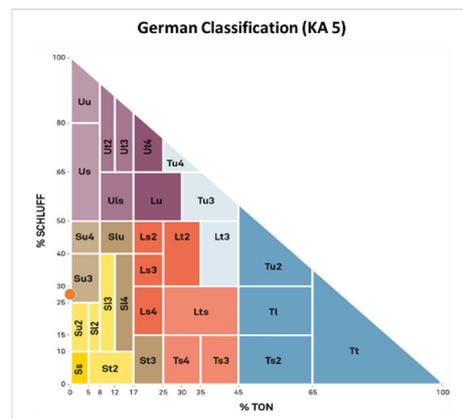
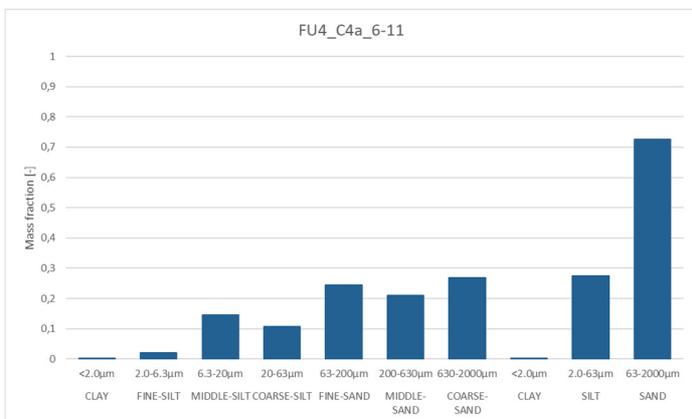


Abbildung 124: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C4a_6-11 cm

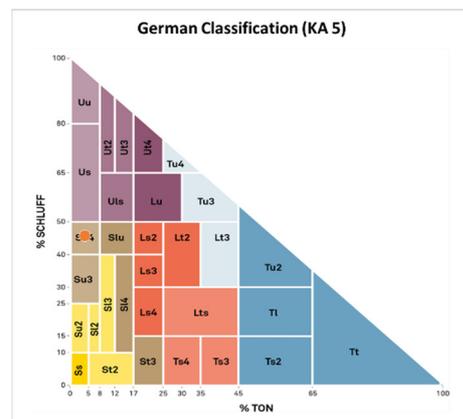
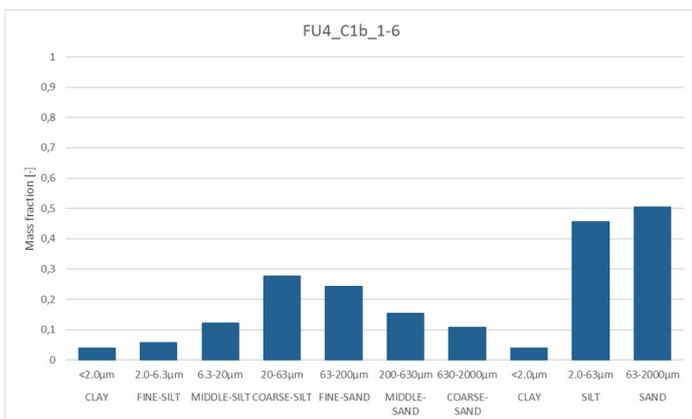


Abbildung 125: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C1b_1-6 cm



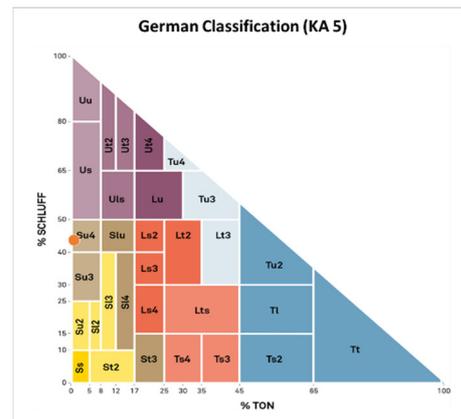
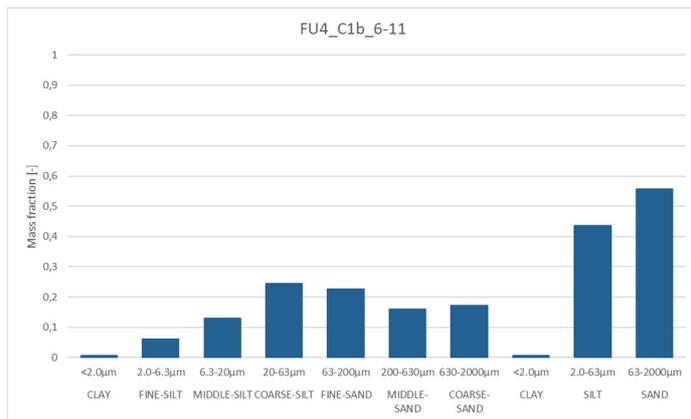


Abbildung 126: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C1b_6-11 cm

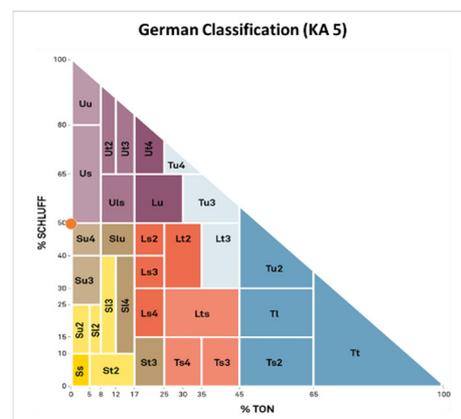
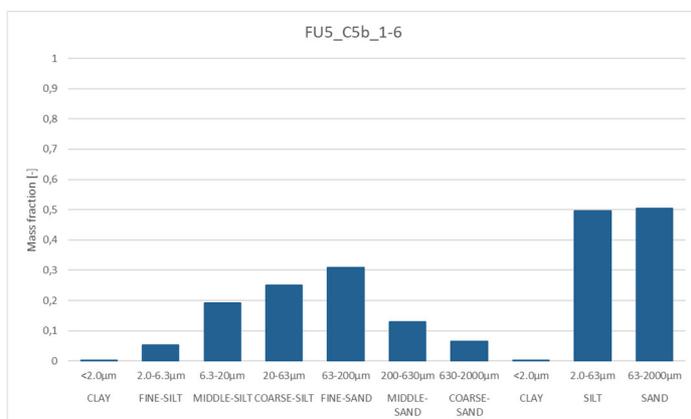


Abbildung 127: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_C5b_1-6 cm

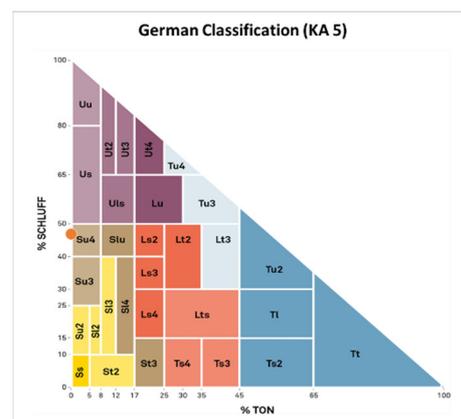
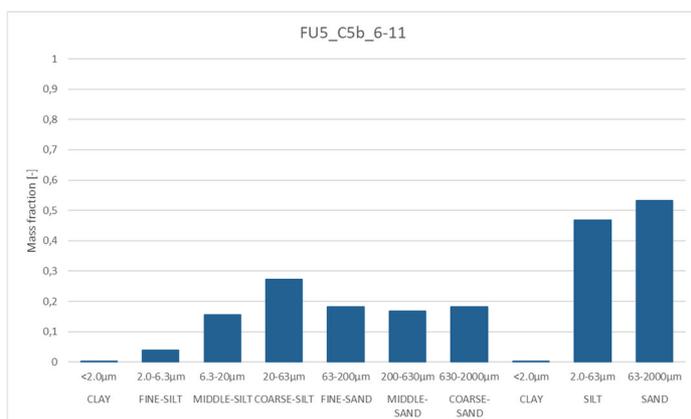


Abbildung 128: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_C5b_6-11 cm



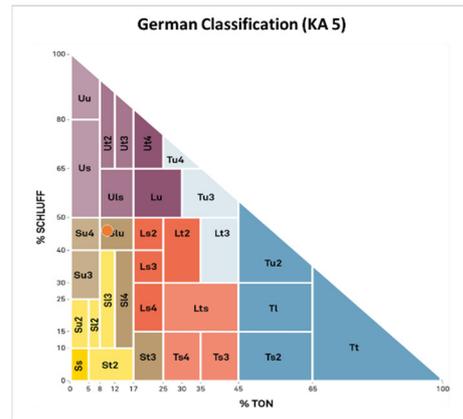
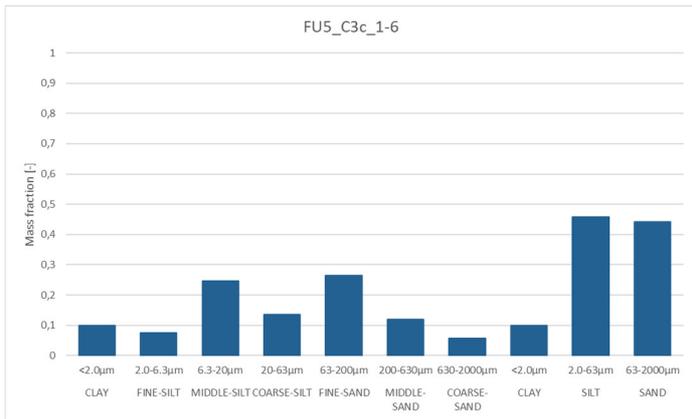


Abbildung 129: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C3c_1-6 cm

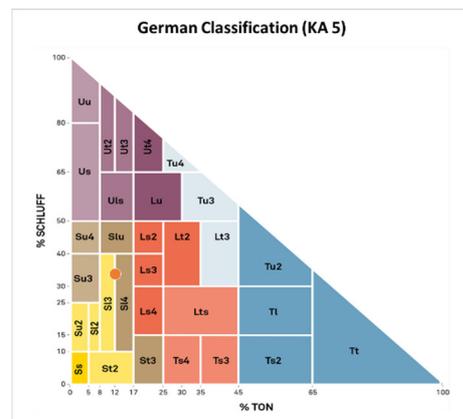
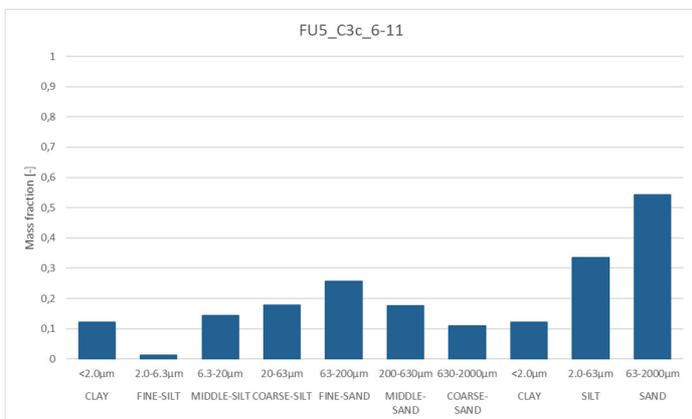


Abbildung 130: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU4_C3c_6-11 cm

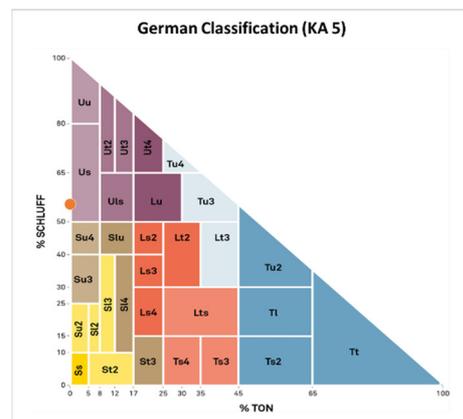
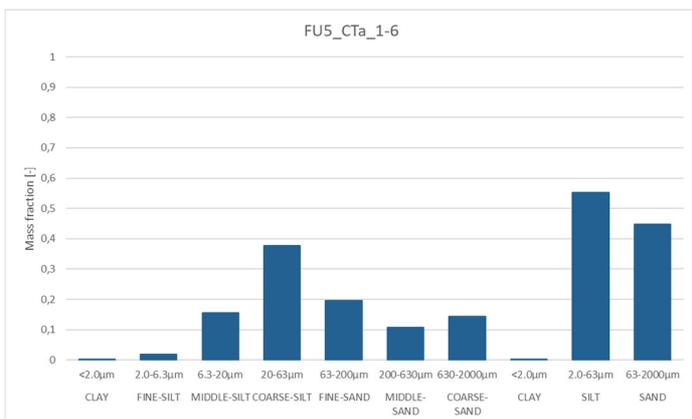


Abbildung 131: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_CTa_1-6 cm



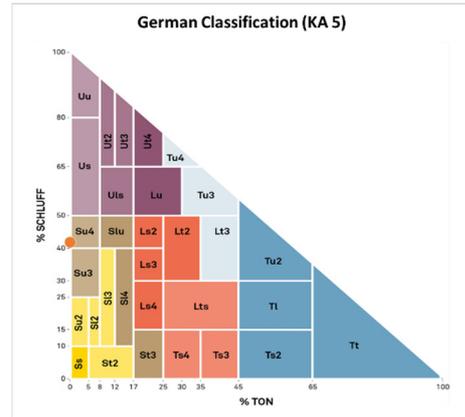
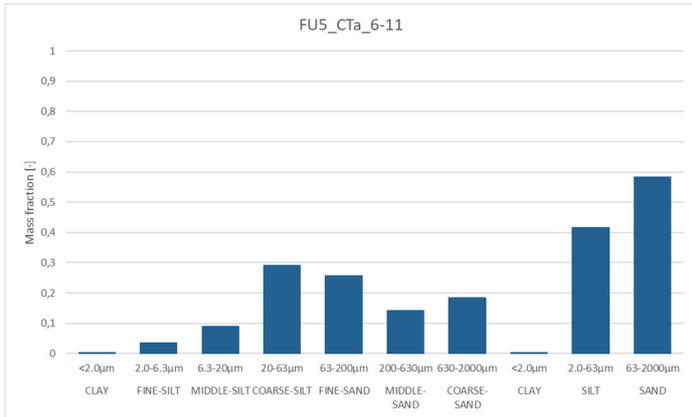


Abbildung 132: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für FU5_CTa_6-11 cm

v Oberettes

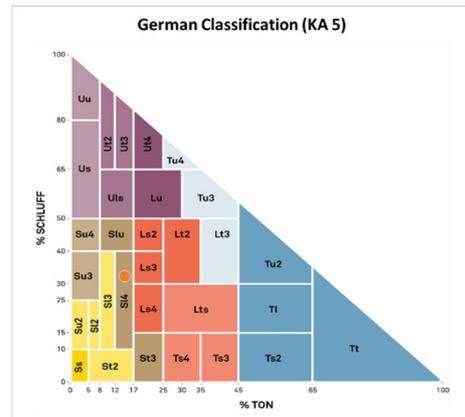
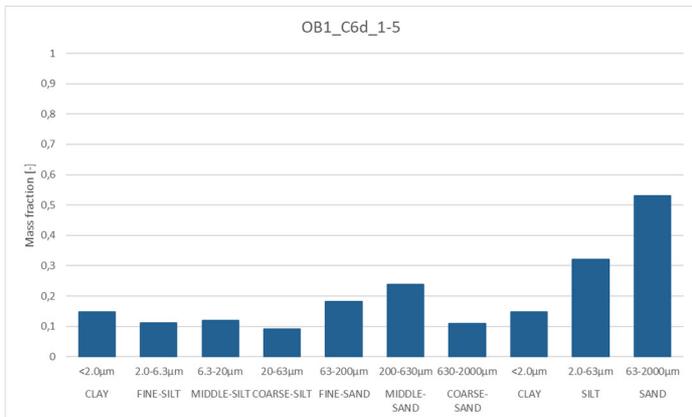


Abbildung 133: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C6d_1-5 cm

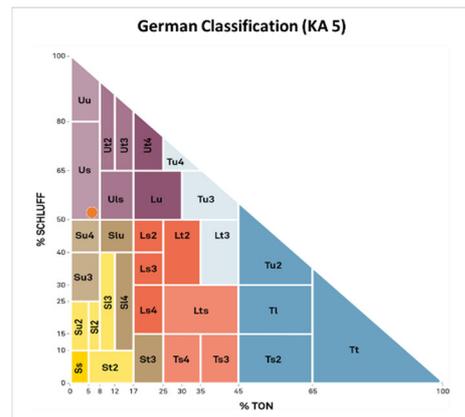
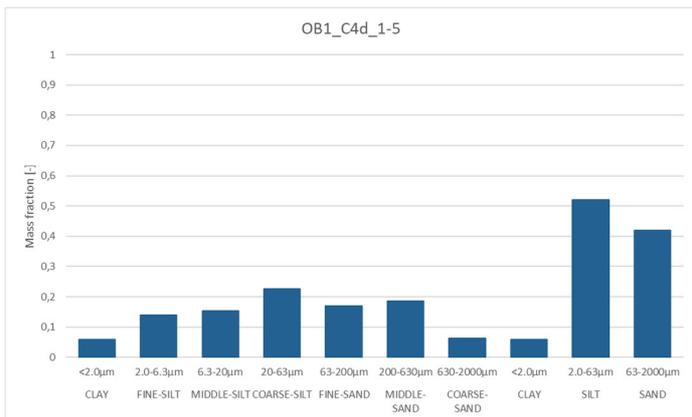


Abbildung 134: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C4d_1-5 cm

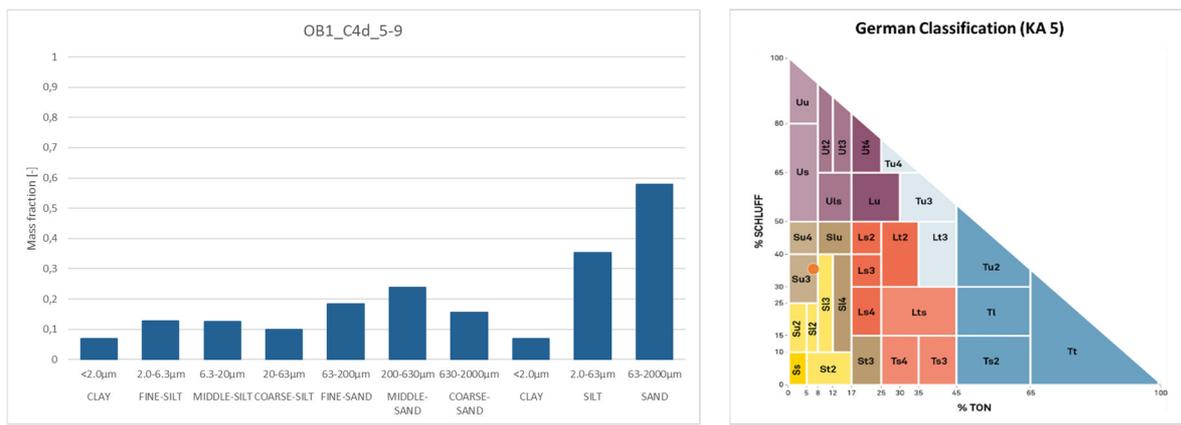


Abbildung 135: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C4d_5-9 cm

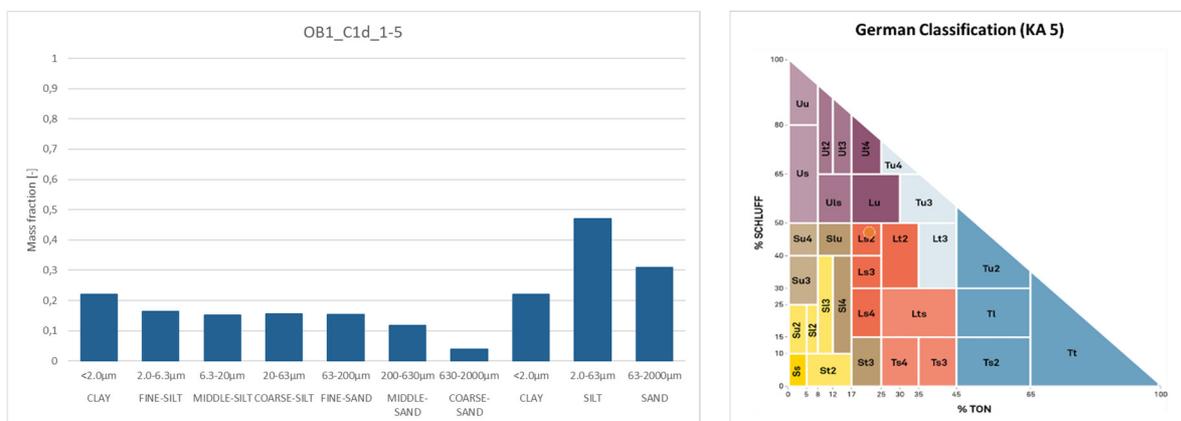


Abbildung 136: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C1d_1-5 cm

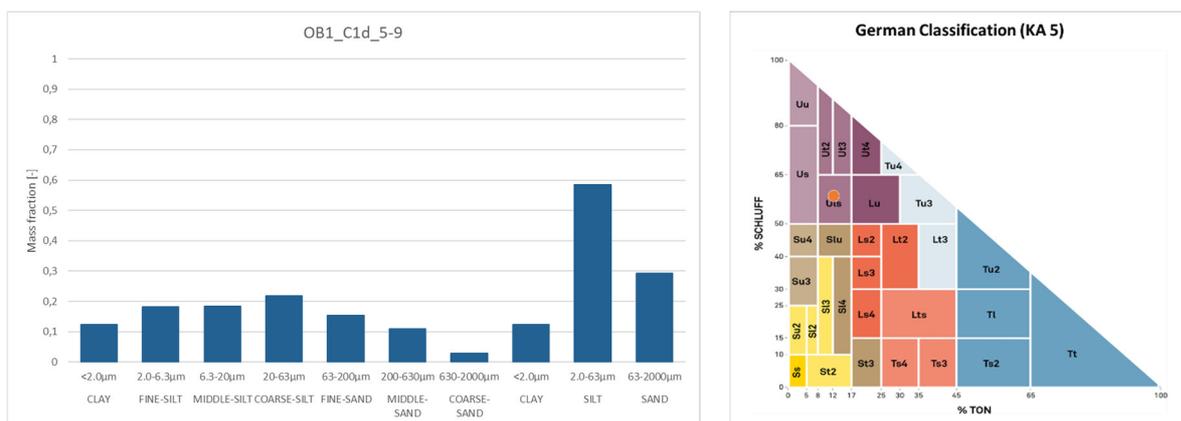


Abbildung 137: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C1d_5-9 cm



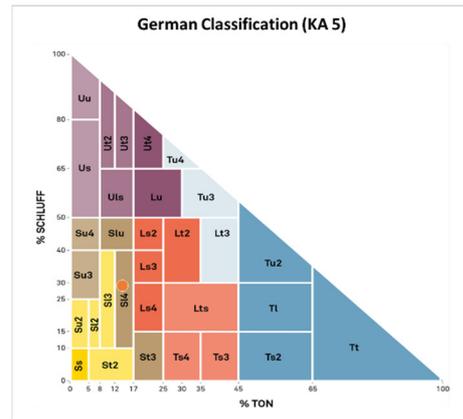
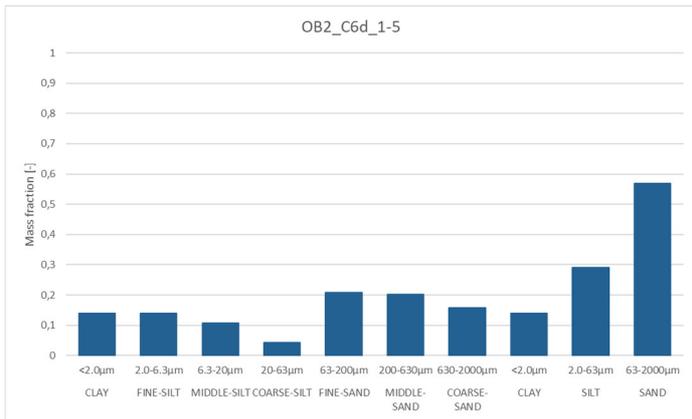


Abbildung 138: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB2_C6d_1-5 cm

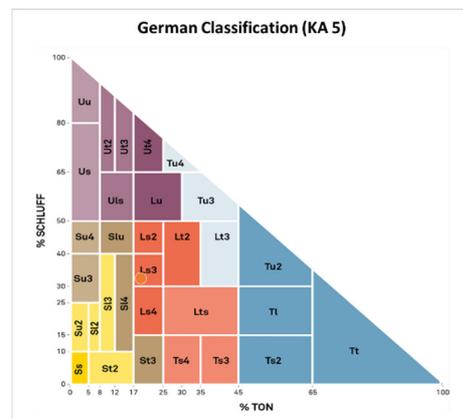
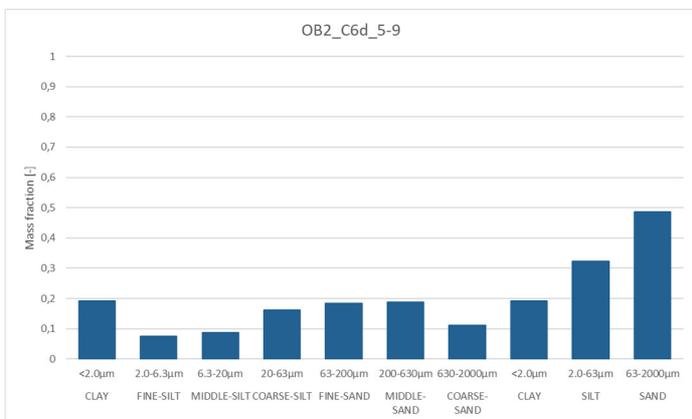


Abbildung 139: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB2_C6d_5-9 cm

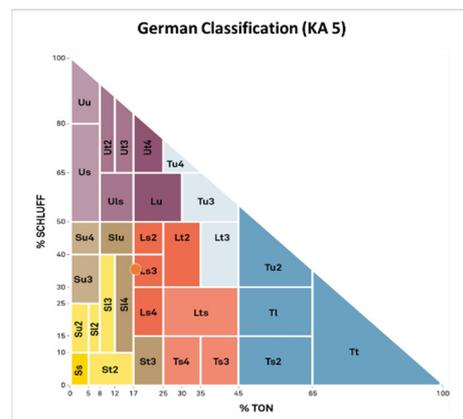
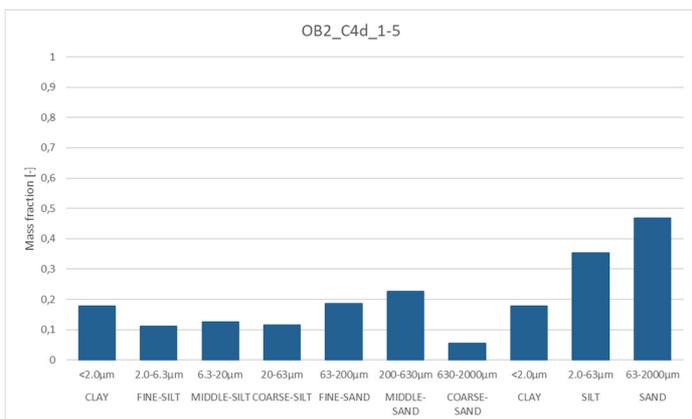


Abbildung 140: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB1_C4d_1-5 cm



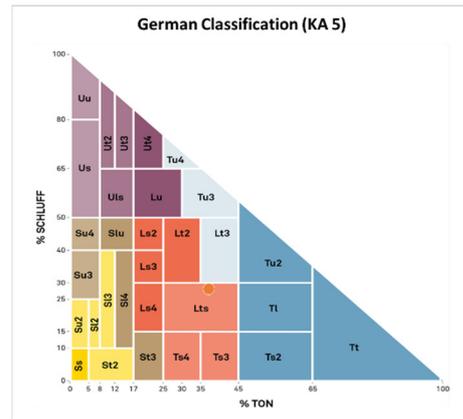
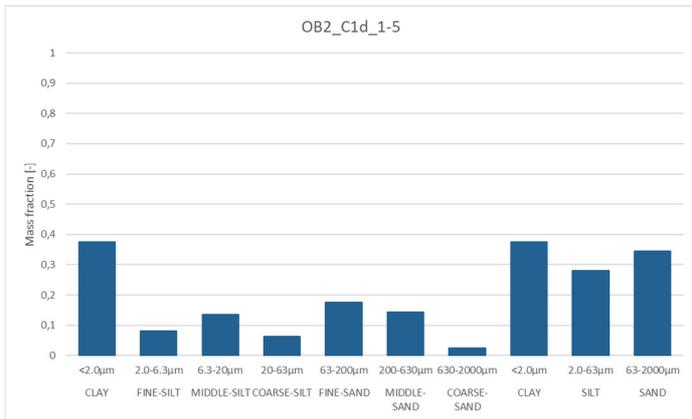


Abbildung 141: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB2_C1d_1-5 cm

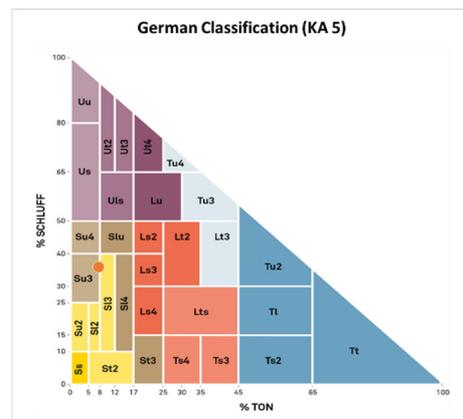
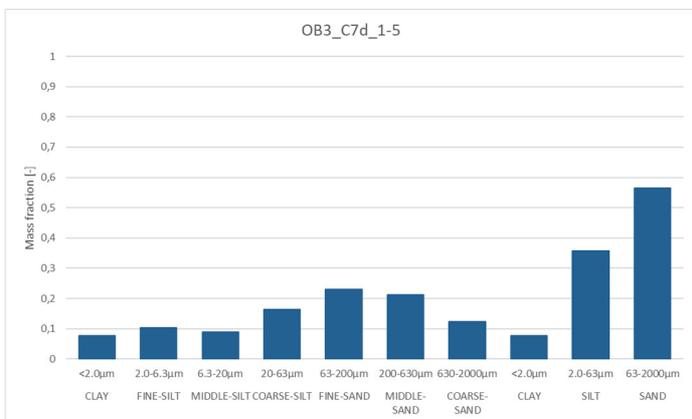


Abbildung 142: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C7d_1-5 cm

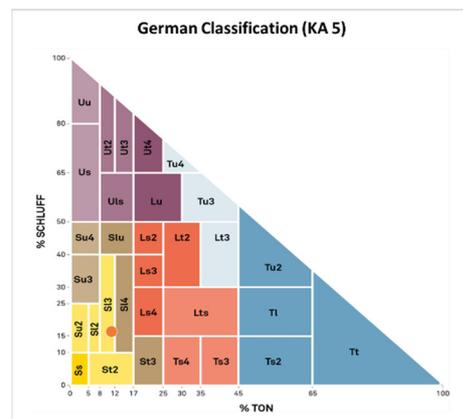
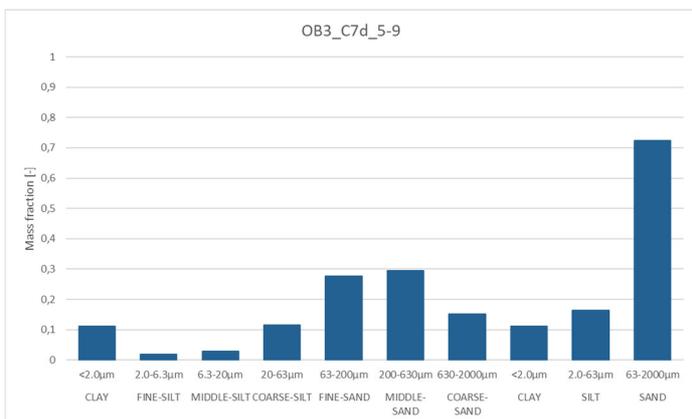


Abbildung 143: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C7d_5-9 cm



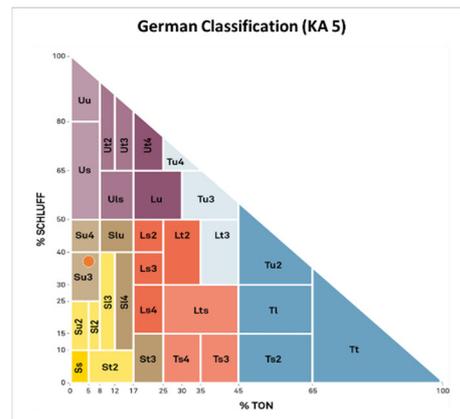
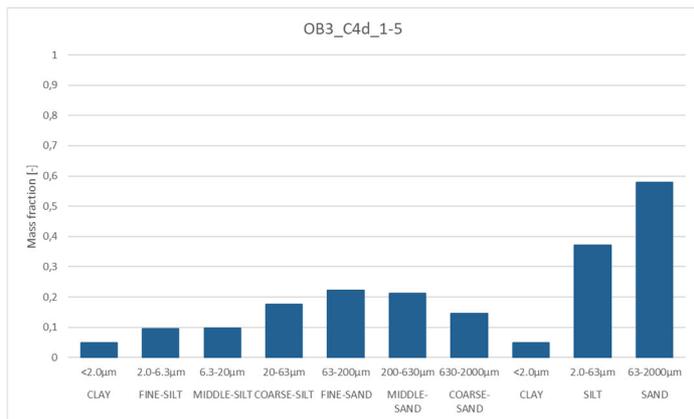


Abbildung 144: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C4d_1-5 cm

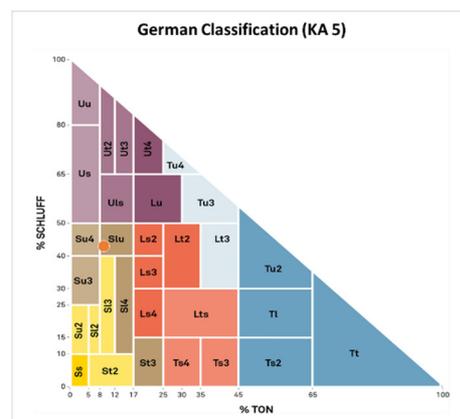
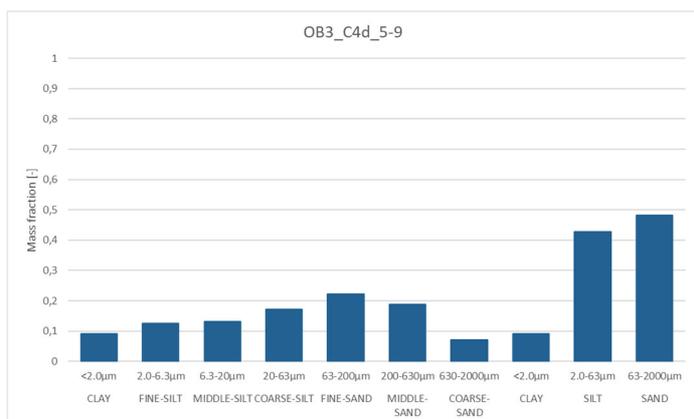


Abbildung 145: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C4d_5-9 cm

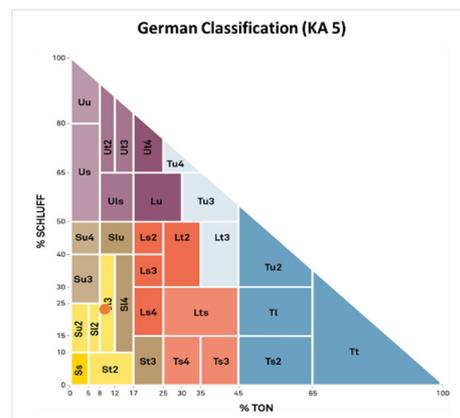
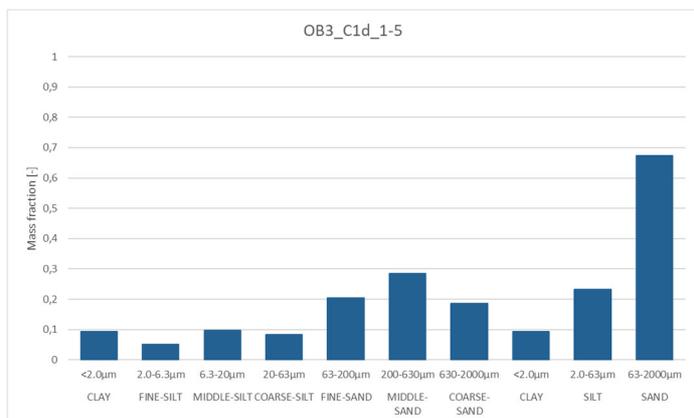


Abbildung 146: Korngrößenverteilung (links) und Texturdreieck (rechts) für OB3_C1d_1-5 cm





Medieninhaber und Herausgeber, Verleger:

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Matri

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



www.hohetauern.at