



## Langfristige Ökosystembeobachtung – Endbericht zur Förderperiode 2020-2023

### Modul 01: Standortklima und pflanzliche Produktivität

**Zitiervorschlag:** Newesely C, Niedrist G, Tappeiner U, Körner C (2023) Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2020-2023. - Modul 01: Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und pflanzliche Produktivität. Endbericht zur Förderperiode 2020-2023. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern.

Innsbruck, 9.6.2023

## 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 Innergschloss (2350 m üNN) wird beprobt (8/2017). © Newesely

# Inhaltsverzeichnis

- Einleitung ..... 4
- Methodik..... 4
  - a. Präambel ..... 4
  - b. Standorte und Dauerbeobachtungsflächen ..... 4
  - c. Phenocam..... 4
- Ergebnisse ..... 5
  - a. Klimatische Standortparameter ..... 5
  - b. Pflanzliche Biomasse ..... 13
  - c. Phenocam..... 14
- Interpretation und Diskussion ..... 16
  - a. Standortcharakterisierung ..... 16
  - b. Biomasse ..... 17
- Danksagung..... 18
- Abbildungsverzeichnis ..... 19
- Literaturverzeichnis..... 21
- Literaturverzeichnis..... 21
- Anhang ..... 22
  - a. Standardgradtage..... 22
  - b. Bodentemperaturverläufe ..... 23



## Einleitung

Der hier vorliegende Endbericht 2023 umfasst die Förderperiode 2020-2023 und stellt die Monitoringdaten der Messperiode 2020-2022 dar. Er basiert auf Newesely (et al. 2019a), der die Ergebnisse der Monitoringperiode von 2017 – 2019 umfasst und diskutiert. Aus Gründen der Redundanz wird daher auf eine nochmalige detaillierte Beschreibung der Untersuchungsgebiete bzw. der Methodik verzichtet. Es werden nur diejenigen Methoden beschrieben, die neu in der hier beschriebenen Periode dazugekommen sind und daher noch nicht im Methodenhandbuch (Newesely et al. 2019b) aufgenommen sind.

## Methodik

### a. Präambel

Die verwendete Methodik sowie die Lage der Dauerbeobachtungsflächen und Transekte ist im Methodenhandbuch (Newesely et al. 2019b) detailliert dargestellt. Hier sollen die wesentlichen Daten zu den Standorten und zur Methodik nur kurz angesprochen werden. Während der Projektperiode 2020-2023 wurde im Innerschlöss zusätzlich eine spezielle Kamera (Phenocam) installiert um die Ausaperung sowie die Entwicklung der Vegetation beobachten zu können., die in c. beschrieben wird.

### b. Standorte und Dauerbeobachtungsflächen

In Tabelle 1 werden die Standorte der Untersuchung sowie die Höhe die geografischen Koordinaten sowie die Anzahl der jeweils untersuchten Transekte zusammenfassend dargestellt. Wie in Newesely et al. 2019a ausführlich beschrieben wurden die Untersuchungen auf jedem Transekt im optimalen, also oberen (K), mittleren (M) und im unteren, pessimalen Bereich (T) durchgeführt.

Tabelle 1: Tabelle der Beobachtungsstandorte (aus Newesely et al. 2019a)

| Name / Code           | Region (Land) | Geographische Koordinate     | Höhe (m) | Anzahl Transekte |
|-----------------------|---------------|------------------------------|----------|------------------|
| Innerschlöss / IN     | Ost-Tyrol (A) | 47°06'40.1" N, 12°25'35.5" E | 2350     | 5                |
| Seebachtal / SE       | Kärnten (A)   | 47°02'21.9" N, 13°10'58.1" E | 2303     | 3                |
| Untersulzbachtal / UN | Salzburg (A)  | 47°09'58.2" N, 12°19'51.1" E | 2380     | 6                |
| Furka / FU            | Schweiz (CH)  | 46°34'40" N, 08°25'12" E     | 2467     | 5                |
| Oberettes / OB        | Südtirol (I)  | 46°45'59.9" N, 10°42'38.2" E | 2700     | 3                |

### c. Phenocam

Für die kontinuierliche Beobachtung der Ausaperung als auch der Entwicklung der Vegetation, wurde im Bereich der Untersuchungsflächen im Innerschlöss im August 2021 eine Kamera installiert. Dafür wurde in unmittelbarer Nähe der Messflächen ein ca. 2 m hohes Dreibeinstativ aufgestellt. Das Stativ ist zusätzlich mit Stahlseilen als Sturmschutz gespannt. An dieses Stativ sind ein Solarmodul für die Energieversorgung, eine Kamera sowie ein kleiner (20x20cm) Schaltschrank für die Datalogger montiert. Zusätzlich ist an dieses Stativ auch ein Decagon SDI-12 Sensor (Decagon Devices, Inc.) zur Erfassung der Vegetationsentwicklung (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index und PRI, Photochemical Reflectance Index) montiert. Die Daten wurden regelmäßig auf den Server des internationalen PhenoCam Netzwerks übertragen, werden dort einer ersten automatisierten Auswertung unterzogen und sind dort unter der Adresse <https://phenocam.nau.edu/webcam/sites/nphtin/> verfügbar.

# Ergebnisse

## a. Klimatische Standortparameter

Eine grundsätzliche klimatische Standortcharakterisierung ist anhand der gemessenen Lufttemperaturen möglich. In Abbildung 1 bis Abbildung 3 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 Jänner 2020 bis August 2022 dargestellt.

Die Daten entstammen eigenen Messstationen, die unmittelbar am Standort der Transekte stehen. Im Seebachtal ergaben sich einige Messlücken, da der Logger trotz einer mehrfach gesicherten Aufstellung, vermutlich durch Eislast, heruntergerissen wurde. Der Jahresverlauf der Lufttemperatur bildet an allen Standorten den klassischen Verlauf für ein Jahreszeitenklima ab, mit der Abnahme der Lufttemperatur in der Winterperiode, dem Anstieg der Lufttemperaturen bis Mitte August und der nachfolgenden Lufttemperaturabnahme im Herbst.

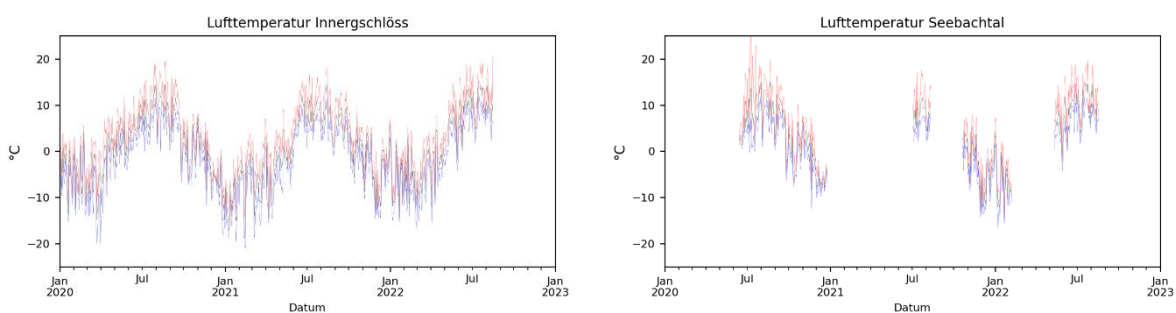


Abbildung 1: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Innerschlöss (2350 m üNN, links), Seebachtal (2300 m üNN, rechts) rot: Tagesmaxima, schwarz: Tagesmittel, Blau: Tagesminima

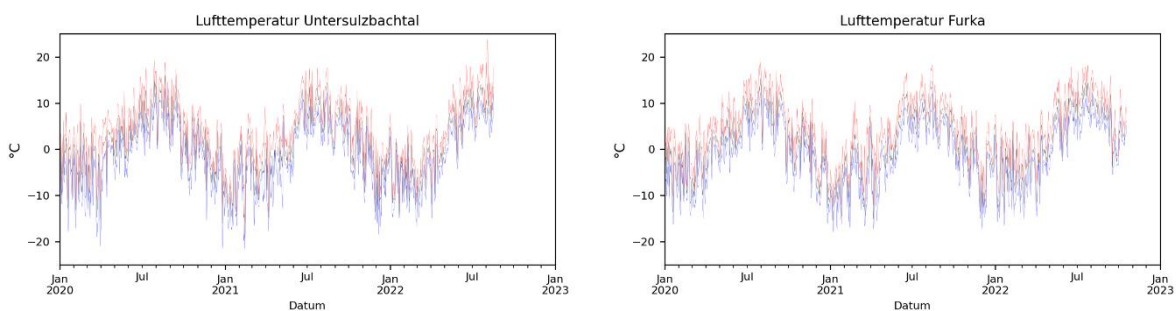


Abbildung 2: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Untersulzbachtal (2380 m üNN, links), Furka (2460 m üNN, rechts)

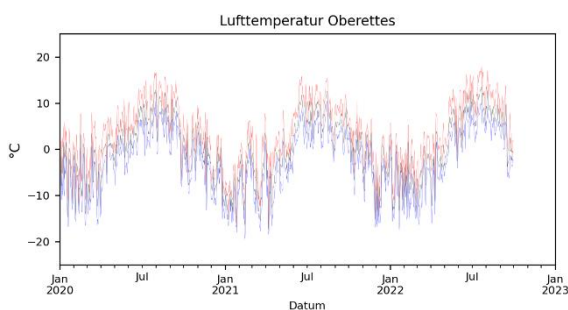


Abbildung 3: Lufttemperatur Im Untersuchungszeitraum Oberettes (2700 m üNN)

Der Vergleich der Jahresmittelwerte (Periode Jänner - Dezember) ist in Abbildung 4 dargestellt. Für das Seebachtal ist eine Mittelwerts-Berechnung aufgrund des zeitweisen Ausfalls der Messung nicht möglich.



Das Jahr 2020 war über den gesamten Alpenbogen sehr warm. Österreichweit war es das 5-wärmste seit Aufzeichnungsbeginn. Auf der hochalpinen Station Sonnblick war es sogar das bisher wärmste Jahr. Demgegenüber war das Jahr 2021 deutlich kühler als der Durchschnitt. Für 2022 lagen zum Berichtszeitpunkt nur Daten für die erste Jahreshälfte vor. Die Temperaturwerte der Station Sonnblick lagen für 2022 gegenüber der Periode 1961-1990 um 2,3°C höher.

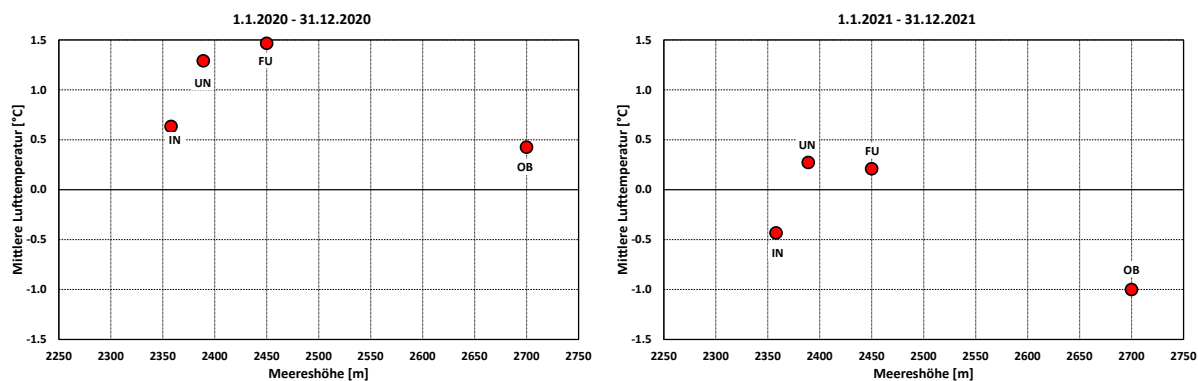


Abbildung 4 (links): Vergleich der Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen allen Standorten vom 1.1.2020 bis 31.12.2020 (links), 1.1.2021 bis 31.12.2021 (rechts). Aufgrund des zeitweisen Ausfalls der Messtation Seebachtal ist eine Mittelwertbildung für diese Station nicht möglich

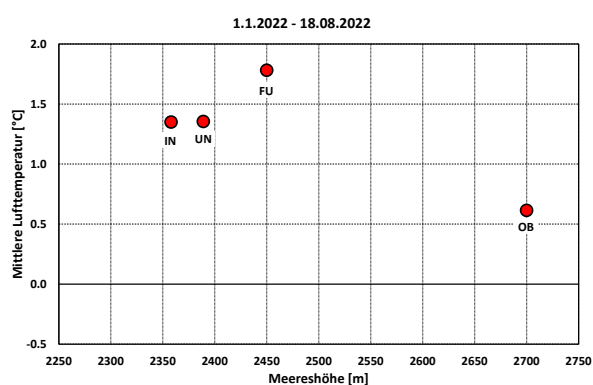


Abbildung 5 (links): Vergleich der Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen allen Standorten vom 1.1.2022 bis zur Ernte am 18.8.2022. Aufgrund des zeitweisen Ausfalls der Messtation ist eine Mittelwertbildung für das Seebachtal nicht möglich.

Die Temperatur, die von den Pflanzen tatsächlich erlebt wird, ist für die Vegetationsentwicklung wesentlich. Auf allen Transekten wurden daher an 3 Stellen entlang des Gradienten vom optimalen Bereich (K) zum Pessimum (T) Bodentemperaturen in einer Tiefe von 3-4 cm gemessen, da sich die Blattmeristeme der Graminoiden (Gräser und Seggen), sowie die Apikalmeristeme der meisten krautigen Arten in dieser Bodentiefe befinden. Der oberste Bodenbereich ist biologisch der aktivste: hier befindet sich eine hohe Feinwurzelmasse, aber auch eine hohe mikrobielle und bodenzoologische Aktivität.



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 Jahr 2020. Die Wachstumsperiode entspricht dem Zeitraum ab dem Datum der Schneeschmelze und endet mit dem Einschneien. Die mittlere Bodentemperatur sowie die mittlere Lufttemperatur sind der Jahresmittelwert. „nd“ bedeutet das keine Daten vorhanden waren, da entweder keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat.

| 2020               | Mittlere Bodentemperatur<br>(Wachstumsperiode) [°C] |             |             |             | Mittlere Bodentemperatur<br>ganzes Jahr [°C] |            |            |            | Mittlere<br>Lufttemperatur |
|--------------------|---|-------------|-------------|-------------|--|------------|------------|------------|----------------------------|
|                    | K   | M           | T           | Mittelwert  | K  | M          | T          | Mittelwert | [°C]                       |
| <b>IN / 2358m</b>  | <b>11.6</b>   | <b>12.0</b> | <b>11.8</b> | <b>11.8</b> | <b>3.2</b>                                   | <b>2.6</b> | <b>2.3</b> | <b>2.7</b> | <b>0.63</b>                |
| IN1                | 11.6  | 12.7        | 11.3        |             | 3.2  | 1.5        | 2.3        |            |                            |
| IN2                | 11.0  | 11.3        | 10.9        |             | 2.7  | 2.5        | 2.2        |            |                            |
| IN3                | 12.0  | 11.1        | nd          |             | 3.2  | 2.9        | nd         |            |                            |
| IN4                | 11.8  | 12.4        | 13.2        |             | 3.6  | 3.1        | 2.6        |            |                            |
| IN5                | 11.7  | 12.6        | 11.7        |             | 3.3  | 3.1        | 2.3        |            |                            |
| <b>SE / 2300m</b>  | <b>10.7</b>   | <b>10.4</b> | <b>10.1</b> | <b>10.4</b> | <b>3.1</b>                                   | <b>3.5</b> | <b>2.8</b> | <b>3.1</b> | <b>nd</b>                  |
| SE1                | 11.2  | nd          | 10.1        |             | 2.6  | nd         | 2.1        |            |                            |
| SE2                | 9.7   | 10.4        | 9.5         |             | 3.3  | 4.1        | 3.5        |            |                            |
| SE3                | 11.3  | 10.3        | 10.7        |             | 3.2  | 2.9        | 2.8        |            |                            |
| <b>UN / 2389m</b>  | <b>11.3</b>   | <b>11.6</b> | <b>11.5</b> | <b>11.4</b> | <b>3.7</b>                                   | <b>3.5</b> | <b>3.3</b> | <b>3.5</b> | <b>1.29</b>                |
| UN1                | 12.4  | 12.2        | 12.1        |             | 3.9  | 3.5        | 3.1        |            |                            |
| UN2                | 11.6  | nd          | 11.4        |             | 4.0  | nd         | 3.7        |            |                            |
| UN3                | 11.1  | 12.1        | 12.3        |             | 3.5  | 3.7        | 3.6        |            |                            |
| UN4                | 10.6  | 11.6        | 11.2        |             | 3.5  | 3.4        | 3.0        |            |                            |
| UN5                | 10.3  | 10.5        | 10.3        |             | 3.5  | 3.4        | 3.0        |            |                            |
| UN6                | 11.5  | 11.4        | nd          |             | 3.6  | 3.6        | nd         |            |                            |
| <b>FU / 2450 m</b> | <b>12.1</b>   |             | <b>12.1</b> | <b>12.1</b> | <b>3.5</b>                                   |            | <b>2.9</b> | <b>3.3</b> | <b>1.47</b>                |
| FU1                | 12.4  | nd          | 11.7        |             | 3.9  | nd         | 3.0        |            |                            |
| FU2                | 12.2  | nd          | 12.6        |             | 3.2  | nd         | 3.1        |            |                            |
| FU3                | 12.1  | nd          | 11.8        |             | 3.3  | nd         | 2.5        |            |                            |
| FU4                | 12.1  | nd          | nd          |             | 4.3  | nd         | nd         |            |                            |
| FU5                | 11.6  | nd          | nd          |             | 3.1  | nd         | nd         |            |                            |
| <b>OB / 2700 m</b> | <b>10.1</b>   | <b>nd</b>   | <b>10.5</b> | <b>10.4</b> | <b>2.6</b>                                   | <b>nd</b>  | <b>2.7</b> | <b>2.7</b> | <b>0.42</b>                |
| OB1                | nd  | nd          | 10.4        |             | nd   | nd         | 2.7        |            |                            |
| OB2                | nd  | nd          | nd          |             | nd   | nd         | nd         |            |                            |
| OB3                | 10.1  | nd          | 10.7        |             | 2.6  | nd         | 2.7        |            |                            |

Tabelle 3: Gesamtübersicht über die klimatischen Standortfaktoren der Transekte an den untersuchten Standorten Seebachtal (SE), Innergschlöss (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 Jahr 2021. Die Wachstumsperiode entspricht dem Zeitraum ab dem Datum der Schneeschmelze und endet mit dem Einschneien. Die mittlere Bodentemperatur sowie die mittlere Lufttemperatur sind der Jahresmittelwert. „nd“ bedeutet dass keine Daten vorhanden waren, da entweder keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat.

| 2021               | Mittlere Bodentemperatur (Wachstumsperiode) [°C] |             |             |             | Mittlere Bodentemperatur ganzes Jahr [°C] |            |            |            | Mittlere Lufttemperatur [°C] |
|--------------------|--|-------------|-------------|-------------|---|------------|------------|------------|------------------------------|
|                    | K  | M           | T           | Mittelwert  | K   | M          | T          | Mittelwert |                              |
| <b>IN / 2358m</b>  | <b>10.1</b>                                      | <b>10.1</b> | <b>9.8</b>  | <b>10.0</b> | <b>2.7</b>                                | <b>2.4</b> | <b>1.9</b> | <b>2.4</b> | <b>-0.43</b>                 |
| IN1                | 9.9  | 10.4        | 9.4         |             | 2.6                                       | 2.4        | 1.7        |            |                              |
| IN2                | 9.4  | 9.6         | 8.8         |             | 2.3                                       | 2.1        | 1.7        |            |                              |
| IN3                | 10.6   | 9.7         | nd          |             | 2.8                                       | 2.5        | nd         |            |                              |
| IN4                | 10.6   | nd          | 11.0        |             | 3.1                                       | nd         | 2.3        |            |                              |
| IN5                | 10.1   | 10.8        | nd          |             | 2.7                                       | 2.8        | nd         |            |                              |
| <b>SE / 2300m</b>  | <b>10.0</b>                                      | <b>9.5</b>  | <b>9.2</b>  | <b>9.6</b>  | <b>2.7</b>                                | <b>2.7</b> | <b>2.5</b> | <b>2.7</b> | <b>nd</b>                    |
| SE1                | 9.8  | 8.9         | 8.7         |             | 2.7                                       | 2.3        | 2.2        |            |                              |
| SE2                | 9.8  | 10.5        | 9.3         |             | 2.4                                       | 3.1        | 2.7        |            |                              |
| SE3                | 10.3   | 9.3         | 9.6         |             | 3.0                                       | 2.7        | 2.7        |            |                              |
| <b>UN / 2389m</b>  | <b>10.6</b>                                      | <b>10.7</b> | <b>10.7</b> | <b>10.7</b> | <b>3.2</b>                                | <b>3.3</b> | <b>2.7</b> | <b>3.1</b> | <b>0.27</b>                  |
| UN1                | 11.4   | 11.1        | nd          |             | 3.6                                       | 3.5        | nd         |            |                              |
| UN2                | 11.2   | nd          | 10.9        |             | 3.4                                       | nd         | 3.3        |            |                              |
| UN3                | 10.2   | 11.2        | 11.3        |             | 3.1                                       | 3.4        | 3.4        |            |                              |
| UN4                | 10.1   | 10.7        | 11.0        |             | 3.2                                       | 3.4        | 1.2        |            |                              |
| UN5                | 10.0   | 9.9         | 9.4         |             | 2.9                                       | 3.0        | 2.6        |            |                              |
| UN6                | 10.8   | 10.7        | 10.8        |             | 3.2                                       | 3.2        | 3.3        |            |                              |
| <b>FU / 2450 m</b> | <b>10.6</b>                                      | <b>nd</b>   | <b>10.4</b> | <b>10.5</b> | <b>3.1</b>                                | <b>nd</b>  | <b>2.4</b> | <b>2.8</b> | <b>0.21</b>                  |
| FU1                | 11.2   | nd          | 10.5        |             | 3.2                                       | nd         | 2.6        |            |                              |
| FU2                | 10.7   | nd          | 10.9        |             | 2.9                                       | nd         | 2.7        |            |                              |
| FU3                | 10.2   | nd          | 9.8         |             | 2.6                                       | nd         | 1.9        |            |                              |
| FU4                | 10.5   | nd          | nd          |             | 3.8                                       | nd         | nd         |            |                              |
| FU5                | 10.4   | nd          | nd          |             | 3.1                                       | nd         | nd         |            |                              |
| <b>OB / 2700 m</b> | <b>8.4</b>                                       | <b>9.1</b>  | <b>8.4</b>  | <b>8.6</b>  | <b>1.2</b>                                | <b>2.5</b> | <b>2.2</b> | <b>2.0</b> | <b>-1.00</b>                 |
| OB1                | 8.1  | 8.8         | 8.2         |             | 2.0                                       | 2.5        | 2.1        |            |                              |
| OB2                | 8.7  | nd          | 8.6         |             | 0.4                                       | nd         | 2.3        |            |                              |
| OB3                | nd   | 9.3         | nd          |             | nd  | 2.6        | nd         |            |                              |

Tabelle 2 und Tabelle 3 erlauben einen detaillierteren Vergleich sowohl der Transekte innerhalb eines Standortes als auch zwischen den Standorten. Wie schon in den in Newesely et al. 2019a gezeigten Ergebnisse konnte die klassische ‚lapse rate‘ der Lufttemperatur, die mit der Meereshöhe abnimmt, nicht festgestellt werden. Die standörtlichen klimatischen Bedingungen überlagern diese ansonsten allgemein anerkannte Regel.

Entsprechend der Ausführungen aus dem 1. Ergebnisbericht Newesely et al. 2019a lagen die Bodentemperaturen auf allen Transekten und Standorten im Mittel deutlich höher als die Lufttemperatur. Da eine direkte Messung der Bestandestemperatur nicht möglich ist, werden die Bodentemperaturen als Proxy für die Bestandestemperaturen gewählt. Daraus ergibt sich, dass die niederwüchsigen Pflanzenbestände in der alpinen Stufe deutlich von der Lufttemperatur entkoppelt sind. Für das Pflanzenwachstum ökologisch relevant ist aber eine mittlere Bestandes- und Bodentemperatur von über 5°C im Tagesmittel (vgl. Tabelle 2 für 2020 und Tabelle 3 für 2021).

Prinzipiell lagen die mittleren Bodentemperaturen in der Wachstumsperiode bei allen Standorten 2020 höher als 2021, aber auch höher als in der Periode 2017-2019 (Newesely et al. 2019a). 2020 wurden die höchsten mittleren Bodentemperaturen in der Wachstumsperiode auf der Furka (12,1°C) gemessen, gefolgt vom Innergschlöss (11,8°C), dem Untersulzbach (11,4°C), Seebachtal (10,4°C) und Oberettes (10,3°C) (Tabelle 2). Obwohl die Mittelwerte der Lufttemperatur von 2017 bis 2021 sehr unterschiedlich waren, zeigte sich, dass die mittlere Bodentemperatur während



der schneefreien Zeit über die Jahre vergleichbar war. Abbildung 6 zeigt die mittlere jährliche Bodentemperatur während der schneefreien Zeit für alle Gebiete für die einzelnen Messjahre. Deutlich erkennbar sind die sehr warmen Jahre 2017 und 2020, sowie das sehr kühle Jahr 2021. Mit der Ausnahme des Untersulzbachtals 2021 sowie das Seebachtal 2019 erkennt man einen sehr einheitlichen Trend über alle Gebiete. Ursächlich für die Abweichungen ist die deutlich unterschiedliche Schneedeckenandauer im Seebachtal 2017 bzw. Untersulzbachtal 2021 im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgebieten. Der Winter 2020/21 war in den Nordalpen sehr schneearm, wohingegen in den Südalpen speziell die Monate Jänner bis März sehr schneereich waren, woraus sich der deutlich unterschiedliche Ausaperungszeitpunkt erklären lässt (Tabelle 6).

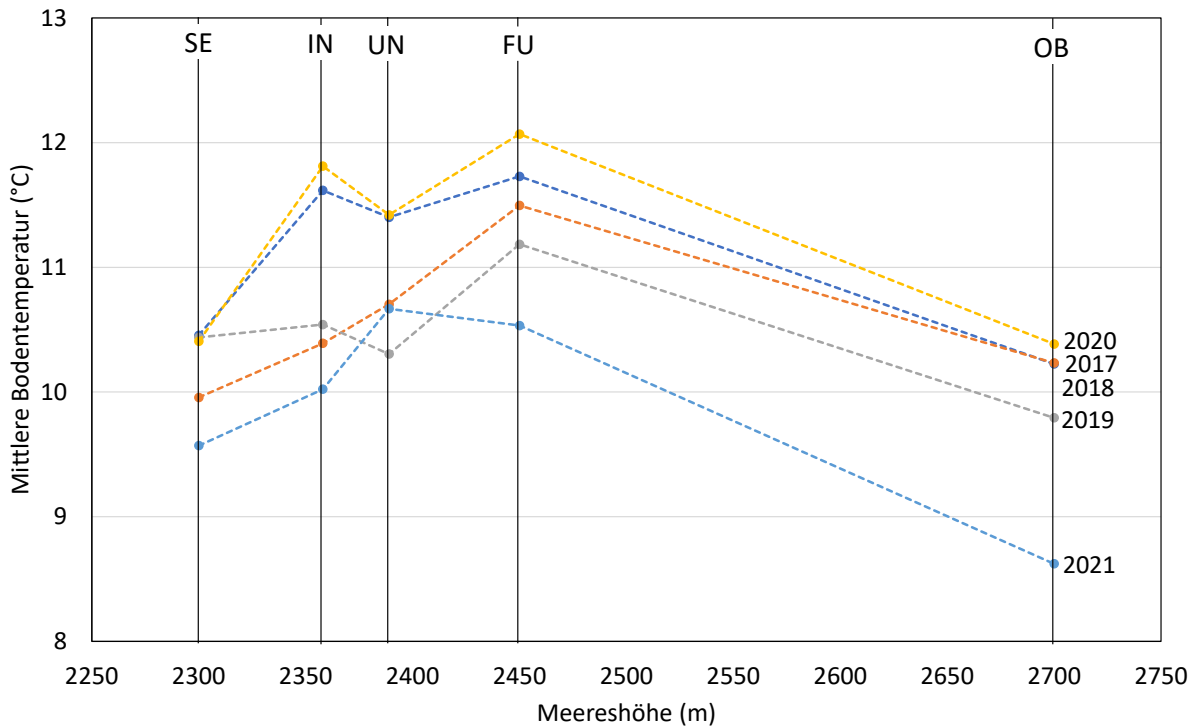


Abbildung 6: Mittlere Bodentemperatur während der Wachstumsperiode gegen den Höhengradienten der Untersuchungsflächen für die Jahre 2017-2021.

Wie schon in Newesely et al. 2019a beschrieben ist für das pflanzliche Wachstum 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 7, Tabelle 4 und 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 18ff) zu entnehmen. In Abbildung 7 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. Das Jahr 2021 war generell kühler als das Jahr 2020. Vergleichbare Wärmesummen zwischen 2020 und 2021 konnten nur im Untersulzbachtal ermittelt werden. Die größten Unterschiede zwischen den Jahren kann man für die Furka und Oberettes erkennen, wobei aber berücksichtigt werden muss, dass die Vegetationsentwicklung auf der Furka im Jahr 2021 derartig rasch erfolgte, dass der Vegetationshöhepunkt im Vergleich mit den anderen Untersuchungsgebieten schon 10 bis 15 Tage früher erreicht wurde und somit auch die Ernte deutlich früher stattfand. Zusätzlich erfolgte die Ernte auf der Furka in den Zonen K, M und T entsprechende der Entwicklung der Vegetation zu unterschiedlichen Zeitpunkten, woraus sich speziell für 2021 das weitgehende Fehlen von Unterschieden zwischen den Erntezonen erklärt.

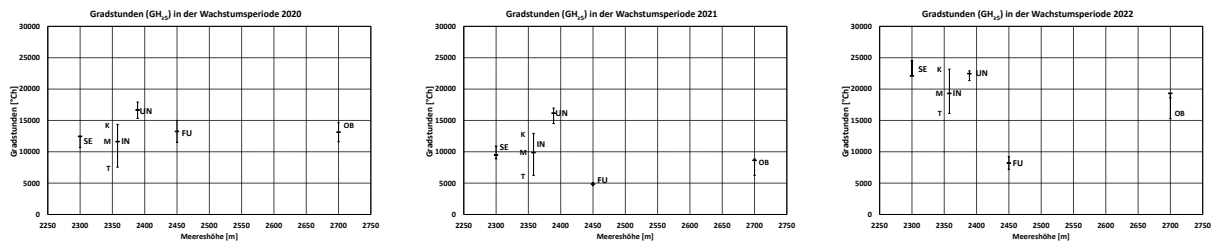


Abbildung 7: Gradstunden ( $T_{\geq 5}$ ) in [°CH] aller Standorte (Seebachtal SE, Innergschlöss IN, Untersulzbach UN, Furka FU, Oberettes OB).  $GH_{\geq 5}$  sind ein Maß für die Wärmesummen, die den Pflanzen für das Wachstum zur Verfügung stehen. Für die Berechnung wurden nur Bodentemperaturen  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  bis zur Ernte 2020 (links), 2021 (Mitte) und 2022 (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 Pessimium der Vegetationsentwicklung T an.

Die Unterschiede zwischen dem botanisch optimalen 'K'-Bereich und dem pessimalen 'T'-Bereich waren im Innergschlöss im Untersulzbachtal stark und im Seebachtal geringer ausgeprägt. Zudem war es für das Seebachtal nur bedingt möglich, die exakte Schneedeckenandauer zu bestimmen, da einzelne Flächen durch Windverfrachtungen mehrfach schneefrei waren. Aus den Bodentemperaturkurven ist abzulesen, dass der Transekt 2 sowohl 2020/21 als auch 2021/22 (Abbildung 24, Seite 26) während des gesamten Winters über längere Perioden schneefrei war. Ein Vergleich der botanisch pessimalen 'T'-Bereiche (Tabelle 4 und 5 und Abbildung 7) zeigt, dass die Wärmesummen bis auf das Untersulzbachtal im Jahr 2021 niedriger waren als 2020. Auffällig sind die sehr hohen Werte für 2022 (Abbildung 7 rechts), die z.T. doppelt so hoch lagen als 2020 und auch höher lagen als im bislang wärmsten Untersuchungsjahr 2017 (Newesely et al. 2019a). Auch hier ist zu erkennen, dass sich die frühere Ernte auf der Furka deutlich auf die Wärmesummen ausgewirkt hat.

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 2020. „nd“ bedeutet das keine Daten vorhanden waren, da entweder keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat.

| 2020               | Länge der Wachstumsperiode |            |            |            | Wachstumstage bis Ernte<br>(Standardabweichung in Klammer) |                 |                 |                 | Gradstunden bis Ernte |                |                |              |
|--------------------|----------------------------|------------|------------|------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|--------------|
|                    | K                          | M          | T          | Mittelwert | K  | M               | T               | Mittelwert      | K                     | M              | T              | Mittelwert   |
| <b>IN / 2358m</b>  | <b>95</b>                  | <b>82</b>  | <b>67</b>  | <b>83</b>  | <b>52 (0,8)</b>  | <b>40 (0,3)</b> | <b>26 (0,6)</b> | <b>39 (1,2)</b> | <b>14364.0</b>        | <b>11623.5</b> | <b>7558.4</b>  | <b>11182</b> |
| IN1                | 99                         | 76         | 74         |            | 53   | 41              | 28              |                 | 14807.0               | 12336.5        | 8052.5         |              |
| IN2                | 85                         | 85         | 69         |            | 39   | 38              | 22              |                 | 10418.0               | 10674.0        | 6461.5         |              |
| IN3                | 96                         | 90         | nd         |            | 49   | 44              | 34              |                 | 14309.0               | 11893.0        | 9186.5         |              |
| IN4                | 99                         | 78         | 65         |            | 59   | 37              | 24              |                 | 16209.5               | 11078.0        | 7874.5         |              |
| IN5                | 99                         | 81         | 62         |            | 58   | 40              | 20              |                 | 16076.5               | 12136.0        | 6217.0         |              |
| <b>SE / 2300m</b>  | <b>100</b>                 | <b>114</b> | <b>100</b> | <b>104</b> | <b>56 (1,5)</b>  | <b>63 (3,8)</b> | <b>52 (1,9)</b> | <b>56 (2,3)</b> | <b>13559.0</b>        | <b>15019.8</b> | <b>12106.0</b> | <b>13379</b> |
| SE1                | 90                         | nd         | 82         |            | 43   | nd              | 34              |                 | 11072.5               | nd             | 8351.0         |              |
| SE2                | 109                        | 129        | 119        |            | 72   | 75              | 71              |                 | 15804.5               | 17574.5        | 14984.0        |              |
| SE3                | 102                        | 100        | 100        |            | 53   | 51              | 52              |                 | 13800.0               | 12465.0        | 12983.0        |              |
| <b>UN / 2389m</b>  | <b>115</b>                 | <b>106</b> | <b>103</b> | <b>109</b> | <b>68 (0,5)</b>  | <b>62 (0,9)</b> | <b>56 (2,5)</b> | <b>63 (1,7)</b> | <b>17919.0</b>        | <b>16657.2</b> | <b>15323.2</b> | <b>16710</b> |
| UN1                | 112                        | 95         | 91         |            | 63   | 49              | 45              |                 | 18886.0               | 14479.0        | 13028.5        |              |
| UN2                | 125                        | nd         | 115        |            | 76   | 74              | 70              |                 | 19786.5               | 18826.0        | 18083.0        |              |
| UN3                | 112                        | 111        | 107        |            | 66   | 63              | 58              |                 | 17136.0               | 17972.0        | 16991.5        |              |
| UN4                | 113                        | 104        | 97         |            | 67   | 57              | 50              |                 | 16625.5               | 15231.5        | 13993.5        |              |
| UN5                | 118                        | 112        | 107        |            | 71   | 66              | 59              |                 | 17180.0               | 15991.5        | 14519.5        |              |
| UN6                | 111                        | 112        | nd         |            | 66   | 65              | nd              |                 | 17900.0               | 17443.0        | nd             |              |
| <b>FU / 2450 m</b> | <b>99</b>                  | <b>nd</b>  | <b>82</b>  | <b>93</b>  | <b>50 (0,9)</b>  | <b>nd</b>       | <b>33 (0,8)</b> | <b>42 (2,3)</b> | <b>14993.5</b>        | <b>nd</b>      | <b>12417.3</b> | <b>13705</b> |
| FU1                | 107                        | nd         | 90         |            | 59   | nd              | 38              |                 | 16804.6               | nd             | 14243.5        |              |
| FU2                | 95                         | nd         | 84         |            | 55   | nd              | 42              |                 | 16957.7               | nd             | 13368.6        |              |
| FU3                | 95                         | nd         | 74         |            | 54   | nd              | 34              |                 | 17045.0               | nd             | 10371.1        |              |
| FU4                | 110                        | nd         | nd         |            | 48   | nd              | 22              |                 | 14511.8               | nd             | 10843.3        |              |
| FU5                | 88                         | nd         | nd         |            | 35   | nd              | 29              |                 | 9648.2                | nd             | 13260.2        |              |
| <b>OB / 2700 m</b> | <b>103</b>                 | <b>nd</b>  | <b>92</b>  | <b>96</b>  | <b>60</b>  | <b>nd</b>       | <b>47 (2,7)</b> | <b>51 (2,6)</b> | <b>14583.0</b>        | <b>nd</b>      | <b>11600.3</b> | <b>12595</b> |
| OB1                | nd                         | nd         | 91         |            | nd   | nd              | 45              |                 | nd                    | nd             | 10575.0        |              |
| OB2                | nd                         | nd         | nd         |            | nd   | nd              | nd              |                 | nd                    | nd             | nd             |              |
| OB3                | 103                        | nd         | 93         |            | 60   | nd              | 48              |                 | 14583.0               | nd             | 12625.5        |              |

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 2021. „nd“ bedeutet das keine Daten vorhanden waren, da entweder keine Datalogger installiert waren oder ein Ausfall der Registrierung stattgefunden hat.

| 2021               | Länge der Wachstumsperiode |            |           |            | Wachstumstage bis Ernte<br>(Standardabweichung in Klammer) |                 |                 |                 | Gradstunden bis Ernte |                |                |                |
|--------------------|----------------------------|------------|-----------|------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
|                    | K                          | M          | T         | Mittelwert | K  | M               | T               | Mittelwert      | K                     | M              | T              | Mittelwert     |
| <b>IN / 2358m</b>  | <b>98</b>                  | <b>86</b>  | <b>72</b> | <b>88</b>  | <b>49 (0,6)</b>  | <b>37 (0,5)</b> | <b>24 (1,1)</b> | <b>38 (1,5)</b> | <b>12934.4</b>        | <b>9875.9</b>  | <b>6233.8</b>  | <b>9927.6</b>  |
| IN1                | 101                        | 79         | 76        |            | 52   | 31              | 28              |                 | 13398.0               | 8483.6         | 7109.5         |                |
| IN2                | 88                         | 86         | 70        |            | 40   | 38              | 23              |                 | 9971.0                | 9751.5         | 5529.0         |                |
| IN3                | 98                         | 91         | nd        |            | 48   | 44              | nd              |                 | 12908.5               | 11069.5        | nd             |                |
| IN4                | 104                        | nd         | 71        |            | 53   | 33              | 22              |                 | 13952.5               | 8851.5         | 6131.5         |                |
| IN5                | 103                        | 90         | nd        |            | 54   | 41              | 24              |                 | 14442.0               | 11223.5        | 6165.0         |                |
| <b>SE / 2300m</b>  | <b>104</b>                 | <b>103</b> | <b>99</b> | <b>102</b> | <b>51 (1,3)</b>  | <b>49 (1,4)</b> | <b>47 (1,7)</b> | <b>49 (1,3)</b> | <b>12487.3</b>        | <b>12030.7</b> | <b>10703.5</b> | <b>11740.5</b> |
| SE1                | 92                         | 88         | 80        |            | 39   | 36              | 29              |                 | 9422.0                | 8038.0         | 6194.0         |                |
| SE2                | 118                        | 118        | 115       |            | 64   | 64              | 63              |                 | 15630.5               | 17123.4        | 14355.5        |                |
| SE3                | 104                        | 103        | 102       |            | 50   | 48              | 49              |                 | 12409.5               | 10930.7        | 11561.0        |                |
| <b>UN / 2389m</b>  | <b>108</b>                 | <b>105</b> | <b>90</b> | <b>102</b> | <b>61 (0,1)</b>  | <b>58 (2,4)</b> | <b>53 (0,8)</b> | <b>57 (1,5)</b> | <b>17025.6</b>        | <b>16152.9</b> | <b>14510.8</b> | <b>15881.3</b> |
| UN1                | 110                        | 103        | nd        |            | 61   | 53              | 47              |                 | 18153.0               | 15343.5        | 13170.5        |                |
| UN2                | 111                        | nd         | 109       |            | 63   | nd              | 61              |                 | 18037.0               | nd             | 17099.5        |                |
| UN3                | 107                        | 109        | 106       |            | 61   | 60              | 58              |                 | 16426.5               | 17423.5        | 16704.0        |                |
| UN4                | 110                        | 105        | 40        |            | 61   | 56              | 39              |                 | 16121.5               | 15548.5        | 10317.5        |                |
| UN5                | 106                        | 104        | 94        |            | 61   | 59              | 57              |                 | 16114.0               | 15528.5        | 13958.5        |                |
| UN6                | 107                        | 108        | 105       |            | 60   | 60              | 57              |                 | 17301.5               | 16920.5        | 15814.5        |                |
| <b>FU / 2450 m</b> | <b>100</b>                 | <b>nd</b>  | <b>72</b> | <b>90</b>  | <b>40 (0,4)</b>  | <b>nd</b>       | <b>28 (1,8)</b> | <b>35 (2,0)</b> | <b>5097.6</b>         | <b>nd</b>      | <b>4600.9</b>  | <b>4911.4</b>  |
| FU1                | 99                         | nd         | 82        |            | 41   | nd              | 40              |                 | 5518.7                | nd             | 5535.8         |                |
| FU2                | 94                         | nd         | 71        |            | 38   | nd              | 30              |                 | 4784.6                | nd             | 4302.9         |                |
| FU3                | 89                         | nd         | 64        |            | 34   | nd              | 13              |                 | 4492.0                | nd             | 3964.2         |                |
| FU4                | 124                        | nd         | nd        |            | 45   | nd              | nd              |                 | 5671.3                | nd             | nd             |                |
| FU5                | 98                         | nd         | nd        |            | 41   | nd              | nd              |                 | 5021.6                | nd             | nd             |                |
| <b>OB / 2700 m</b> | <b>97</b>                  | <b>86</b>  | <b>85</b> | <b>90</b>  | <b>50 (2,9)</b>  | <b>43 (2,5)</b> | <b>38 (2,2)</b> | <b>43 (2,2)</b> | <b>8854.5</b>         | <b>8760.1</b>  | <b>6245.3</b>  | <b>7953.3</b>  |
| OB1                | 83                         | 81         | 76        |            | 45   | 41              | 38              |                 | 7457.5                | 8176.2         | 6115.5         |                |
| OB2                | 112                        | nd         | 95        |            | 54   | nd              | 37              |                 | 10251.5               | nd             | 6375.0         |                |
| OB3                | nd                         | 92         | nd        |            | nd   | 44              | nd              |                 | nd                    | 9344.0         | nd             |                |

Wie zuvor angeführt sind neben der mittleren Bodentemperatur auch die Anzahl der Tage mit einer mittleren Bodentemperatur über 5°C für das Wachstum der Pflanzen relevant (Abbildung 8). Im Gegensatz zur mittleren Bodentemperatur bei der die Furka bis auf 2021 die höchsten Werte hat (Abbildung 6) ist die Anzahl der Tage mit mittleren Bodentemperaturen über 5°C bis auf 2017 im Untersulzbachtal am höchsten. Besonders Auffällig ist das Jahr 2018, das zwar bei den mittleren Bodentemperaturen unter 2020 und 2017 lag, trotzdem aber in allen Gebieten mit Ausnahme der Furka die meiste Anzahl an Tagen über 5°C hatte.

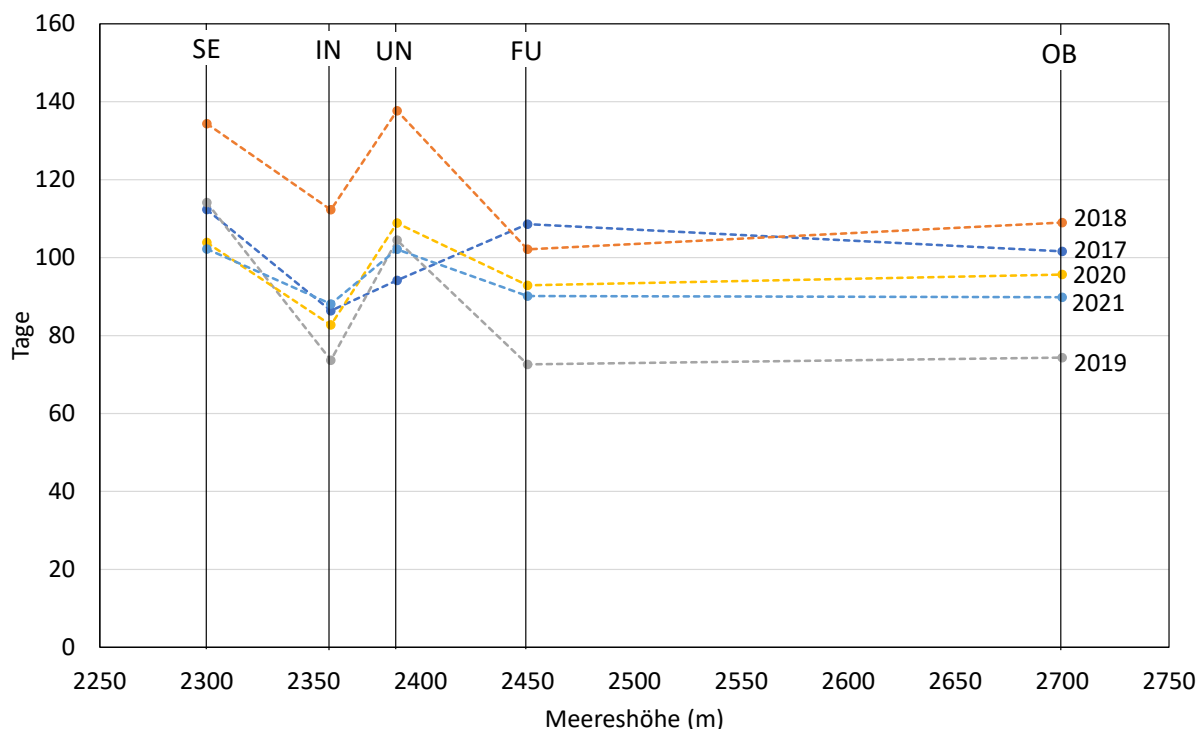


Abbildung 8: Anzahl der Tage mit mittlerer Bodentemperatur über 5°C gegen den Höhengradienten der Untersuchungsflächen für die Jahre 2017-2021.

Der Zeitpunkt des Ausaperns ist aus dem Verlauf der Bodentemperaturen eindeutig durch einen Temperaturanstieg von 0° auf 5-10°C sowie ein deutliches Schwanken der Temperaturen im Tagesverlauf erkennbar und kann daher für die einzelnen Transekte sehr genau ermittelt werden (Newesely et al. 2019a). Die Daten für die Periode 2020 bis 2022 sind in Tabelle 6 angegeben. An den meisten Standorten unterschieden sich die Ausaperungszeiten zwischen den Jahren 2020, 2021 und 2022 beträchtlich. Im Mittel über alle Transekte in allen Gebieten aperten die Flächen 2022 um 33 Tage früher aus als 2021. Gegenüber 2020 aperten die Flächen 2022 um 23 Tage früher aus.

Tabelle 6: Datum der Schneeschmelze 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 Ausaperungszeitpunkten ist auch die Schneedeckenandauer für den jeweiligen Winter angegeben.

|             | K          |            |            | K Schneedeckenandauer |       |       | M          |            |            | M Schneedeckenandauer |       |       | T          |            |            | T Schneedeckenandauer |       |       |
|-------------|------------|------------|------------|-----------------------|-------|-------|------------|------------|------------|-----------------------|-------|-------|------------|------------|------------|-----------------------|-------|-------|
|             | 2020       | 2021       | 2022       | 19/20                 | 20/21 | 21/22 | 2020       | 2021       | 2022       | 19/20                 | 20/21 | 21/22 | 2020       | 2021       | 2022       | 19/20                 | 20/21 | 21/22 |
| SE / 2300m  | 31.05.2020 | 20.06.2021 | 10.05.2022 | 199                   | 212   | 169   | 19.05.2020 | 21.06.2021 | 10.05.2022 | 187                   | 214   | 170   | 04.06.2020 | 23.06.2021 | 12.05.2022 | 202                   | 216   | 172   |
| SE1         | 27.06.2020 | 02.07.2021 | 20.05.2022 | 225                   | 224   | 179   | nd         | 05.07.2021 | 21.05.2022 | nd                    | 227   | 180   | 05.07.2020 | 11.07.2021 | 27.05.2022 | 233                   | 233   | 186   |
| SE2         | 23.04.2020 | 07.06.2021 | 25.04.2022 | 160                   | 199   | 154   | 23.04.2020 | 07.06.2021 | 25.04.2022 | 160                   | 199   | 154   | 23.04.2020 | 07.06.2021 | 25.04.2022 | 160                   | 199   | 154   |
| SE3         | 13.06.2020 | 22.06.2021 | 16.05.2022 | 211                   | 214   | 175   | 15.06.2020 | 23.06.2021 | 16.05.2022 | 213                   | 215   | 175   | 15.06.2020 | 23.06.2021 | 16.05.2022 | 213                   | 215   | 175   |
| IN / 2358m  | 18.06.2020 | 29.06.2021 | 27.05.2022 | 231                   | 277   | 207   | 01.07.2020 | 11.07.2021 | 10.06.2022 | 244                   | 290   | 220   | 17.07.2020 | 22.07.2021 | 24.06.2022 | 260                   | 300   | 235   |
| IN1         | 16.06.2020 | 01.07.2021 | 20.05.2022 | 229                   | 279   | 199   | 30.06.2020 | 19.07.2021 | 06.06.2022 | 243                   | 297   | 216   | 12.07.2020 | 21.07.2021 | 21.06.2022 | 255                   | 299   | 231   |
| IN2         | 02.07.2020 | 10.07.2021 | 08.06.2022 | 245                   | 288   | 218   | 02.07.2020 | 11.07.2021 | 10.06.2022 | 245                   | 289   | 220   | 19.07.2020 | 27.07.2021 | 24.06.2022 | 262                   | 305   | 234   |
| IN3         | 19.06.2020 | 28.06.2021 | 10.06.2022 | 232                   | 276   | 220   | 28.06.2020 | 06.07.2021 | 19.06.2022 | 241                   | 284   | 229   | 19.07.2020 | 12.07.2021 | 28.06.2022 | 262                   | 290   | 238   |
| IN4         | 12.06.2020 | 24.06.2021 | 20.05.2022 | 225                   | 272   | 199   | 04.07.2020 | 15.07.2021 | nd         | 247                   | 293   | nd    | 16.07.2020 | 27.07.2021 | 25.06.2022 | 259                   | 305   | 235   |
| IN5         | 11.06.2020 | 22.06.2021 | 18.05.2022 | 224                   | 270   | 197   | 01.07.2020 | 08.07.2021 | 06.06.2022 | 244                   | 286   | 216   | 21.07.2020 | 25.07.2021 | 25.06.2022 | 264                   | 303   | 235   |
| UN / 2389m  | 21.05.2020 | 18.06.2021 | 26.05.2022 | 188                   | 241   | 198   | 30.05.2020 | 22.06.2021 | 05.06.2022 | 197                   | 245   | 209   | 10.06.2020 | 23.06.2021 | 31.05.2022 | 208                   | 246   | 203   |
| UN1         | 08.06.2020 | 17.06.2021 | 03.06.2022 | 206                   | 240   | 206   | 24.06.2020 | 25.06.2021 | 25.06.2022 | 222                   | 248   | 228   | 28.06.2020 | 03.07.2021 | nd         | 226                   | 256   | nd    |
| UN2         | 11.05.2020 | 16.06.2021 | 20.05.2022 | 178                   | 239   | 192   | 14.05.2020 | nd         | nd         | 181                   | nd    | nd    | 18.05.2020 | 18.06.2021 | 23.05.2022 | 185                   | 241   | 195   |
| UN3         | 21.05.2020 | 19.06.2021 | 01.06.2022 | 188                   | 242   | 204   | 23.05.2020 | 20.06.2021 | 04.06.2022 | 190                   | 243   | 207   | 11.06.2020 | 24.06.2021 | 06.06.2022 | 209                   | 247   | 209   |
| UN4         | 21.05.2020 | 18.06.2021 | 22.05.2022 | 188                   | 241   | 194   | 13.06.2020 | 22.06.2021 | 31.05.2022 | 211                   | 245   | 203   | 17.06.2020 | 14.06.2021 | nd         | 215                   | 237   | nd    |
| UN5         | 15.05.2020 | 19.06.2021 | 24.05.2022 | 182                   | 242   | 196   | 22.05.2020 | 24.06.2021 | 29.05.2022 | 189                   | 247   | 201   | 07.06.2020 | 28.06.2021 | 04.06.2022 | 205                   | 251   | 207   |
| UN6         | 21.05.2020 | 20.06.2021 | nd         | 188                   | 243   | nd    | 22.05.2020 | 20.06.2021 | 01.06.2022 | 189                   | 243   | 204   | nd         | 22.06.2021 | 27.05.2022 | 207                   | 245   | 199   |
| FU / 2450 m | 15.06.2020 | 30.06.2021 | 25.05.2022 | 229                   | 240   | 202   | nd         | nd         | nd         | nd                    | nd    | nd    | 05.07.2020 | 24.07.2021 | 16.06.2022 | 247                   | 264   | 226   |
| FU1         | 01.06.2020 | 27.06.2021 | 21.05.2022 | 212                   | 237   | 200   | nd         | nd         | nd         | nd                    | nd    | nd    | 28.06.2020 | 16.07.2021 | 11.06.2022 | 239                   | 256   | nd    |
| FU2         | 23.06.2020 | 02.07.2021 | 02.06.2022 | 234                   | 242   | 211   | nd         | nd         | nd         | nd                    | nd    | nd    | 06.07.2020 | 26.07.2021 | 10.06.2022 | 247                   | 266   | 219   |
| FU3         | 23.06.2020 | 06.07.2021 | 25.05.2022 | 234                   | 246   | 202   | nd         | nd         | nd         | nd                    | nd    | nd    | 13.07.2020 | 31.07.2021 | 27.06.2022 | 254                   | 271   | 235   |
| FU4         | 13.06.2020 | 26.06.2021 | 23.05.2022 | 224                   | 236   | 199   | nd         | nd         | nd         | nd                    | nd    | nd    | 05.07.2020 | nd         | 22.06.2022 | 246                   | nd    | 229   |
| FU5         | 29.06.2020 | 28.06.2021 | 22.05.2022 | 240                   | 238   | 197   | nd         | nd         | nd         | nd                    | nd    | nd    | 05.07.2020 | nd         | 10.06.2022 | 246                   | nd    | 216   |
| OB / 2700 m | 27.05.2020 | 15.06.2021 | 13.05.2022 | 187                   | 197   | 192   | nd         | 21.06.2021 | 25.05.2022 | nd                    | 204   | 203   | 24.06.2020 | 26.06.2021 | 05.06.2022 | 215                   | 208   | 215   |
| OB1         | nd         | 19.06.2021 | 30.05.2022 | nd                    | 201   | 209   | nd         | 23.06.2021 | 02.06.2022 | nd                    | 205   | 212   | 26.06.2020 | 25.06.2021 | 04.06.2022 | 217                   | 207   | 214   |
| OB2         | nd         | 08.06.2021 | 26.04.2022 | nd                    | 190   | 174   | nd         | nd         | 10.05.2022 | nd                    | nd    | 188   | nd         | 27.06.2021 | 06.06.2022 | nd                    | 209   | 215   |
| OB3         | 27.05.2020 | 18.06.2021 | nd         | 187                   | 200   | nd    | nd         | 20.06.2021 | 01.06.2022 | nd                    | 202   | 209   | 22.06.2020 | 26.06.2021 | nd         | 213                   | 208   | nd    |



## b. Pflanzliche Biomasse

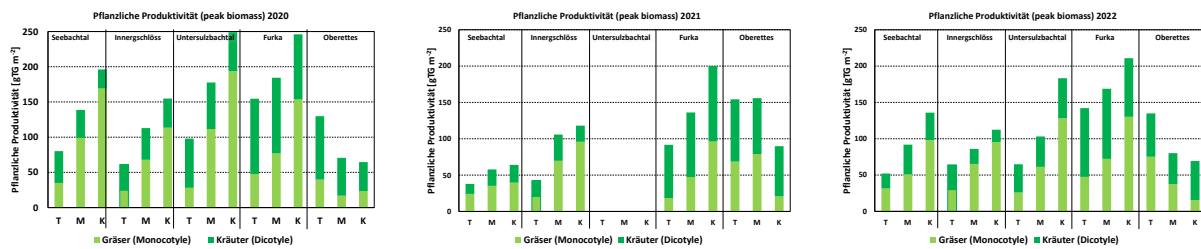


Abbildung 9: Pflanzliche Produktivität (peak biomass) 2020 (links) 2021 (Mitte) und 2022 (rechts). Mittelwert gepoolt über alle K, M und T Felder aller Transekte pro Standort. Aufgrund von schweren Unwettern und einer damit verbundenen Wegsperre war eine zeitgerechte Ernte im Jahr 2021 im Untersulzbachtal nicht möglich.

Die Entwicklung der Biomasse gibt Auskunft über die Wachstumsbedingungen an den jeweiligen Standorten. Abbildung 9 zeigt die Menge der im aktuellen Jahr gebildeten oberirdischen Biomasse, ausgedrückt in g TG pro m<sup>2</sup> (TG = Trockengewicht), für die einzelnen Standorte gepoolt innerhalb der drei charakteristischen Bereiche entlang des Schneeschmelzgradienten ('T' - 'M' - 'K') für 2020 (links) 2021 (Mitte) und 2022 (rechts).

Wie schon in Newesely et al 2019a beschrieben bestätigen auch dies aktuellen die Ergebnisse (mit Ausnahme von Oberettes) unsere Hypothese, dass entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘ die oberirdische Biomasse von 'T' nach 'K' zunimmt. Auffällig sind die sehr hohen Biomassewerte im Jahr 2020 in allen Gebieten mit Ausnahme von Oberettes. Auch in der hier beschriebenen Periode zeigt sich der schon aus der Untersuchungsperiode 17-20 festgestellte Trend, dass die Menge an Biomasse in Oberettes entlang des Gradienten genau umgekehrt verhält als in den anderen Gebieten (Abbildung 10). Aufgrund schwerer Unwetter im oberen Pinzgau und einer damit zusammenhängenden Sperre des Wegs ins Untersulzbachtal im Sommer 2021 konnte die Ernte zum geplanten Zeitpunkt nicht durchgeführt werden. Ein späterer Versuch die Ernte am Ende des auf Grund der Vegetationsentwicklung gerade noch möglichen Zeitfensters nachzuholen, musste, aufgrund der im Gegensatz zum sonnigen Wetter am Talanfang sehr schlechten Witterung (Nebel, starker Regen) am Talschluss, letztendlich aus Sicherheitsgründen aufgegeben werden.

Auf allen Standorten verschob sich das Verhältnis Kräuter zu Gräsern entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘. In 'T' dominierten die Kräuter, in 'K' die Gräser. Für die Veränderungen der jährlichen Biomasseproduktion sind demnach in der „T“-Zonen hauptsächlich die Kräuter, in der „K“-Zonen dagegen die Gräser verantwortlich.

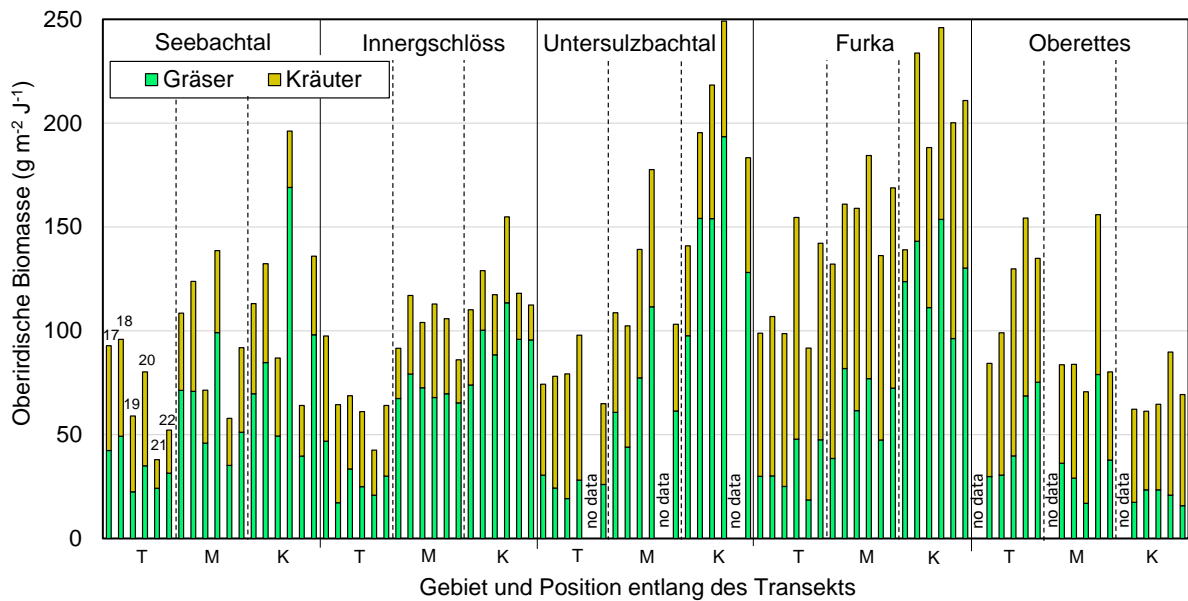


Abbildung 10: Biomassevergleich zwischen den Jahren 2017 und 2022. Bei Oberettes ist eine Abstufung von T nach K nicht erkennbar. Hier überwiegen die Einflüsse durch Jahrhunderte lange intensive Beweidung sowie der Einfluss von Windkanten im H-Bereich. Jahre, in denen keine Ernte erfolgen konnte sind mit 'no data' gekennzeichnet (aus Körner et al. 2022).

### c. Phenocam

Die Ausapertur der Untersuchungsflächen sowie die Entwicklung der Vegetation stellt eine wichtige Zusatzinformation für die Interpretation der gewonnenen Messdaten zur Bodentemperatur als auch zur Biomasse dar. Für die Fragestellung der Entwicklung der Vegetation war es notwendig aus den Bilddaten der Phenocam jene Bereiche auszuwählen und einer Auswertung zuzuführen, die auch den Zonen der Habitatsgunst entsprechen. In der Abbildung 11 sind die jeweiligen für die Auswertung relevanten Zonen aus dem Phenocam-Bild farblich gekennzeichnet



Abbildung 11: Phenocam Bild mit Markierung der Zonen der Habitatsgunst. Links – K, Mitte M, rechts T.

Der Einsatz unter den im Innerschlöss vorherrschenden Bedingungen stößt an die Grenze des technisch Machbaren. Einerseits ist die Abdeckung durch das GSM-Netz häufig gestört oder derart schlecht, dass eine Übertragung der Daten nicht erfolgreich durchführbar ist. Andererseits führt speziell im Hochwinter die z.T. durch Vereisung bzw. Schneebedeckung des Solarpanels sowie die im Dezember und Jänner nur sehr kurze bis völlige fehlende Sonneneinstrahlung aufgrund der Beschattung durch die umliegenden Berge zu massiven Problemen mit der Energieversorgung. Zusätzlich gab es noch Probleme mit dem Datalogger sowie Schäden an den Sensoren zur Erfassung der Vegetationsentwicklung, die aufgrund fehlender Verfügbarkeit beim Hersteller nicht ersetzt werden konnten. Daher liegen nur die Auswertungen der Bilder der Kamera vor. Die Verläufe der „green chromatic coordinate“, die ein Maß für die Vegetationsentwicklung darstellen sind in Abbildung 12 für die Zone K, in Abbildung 13 für Zone M und in Abbildung

14 für Zone T dargestellt. Aufgrund der technischen Probleme ist der phänologische Höhepunkt in der Zone K nicht eindeutig erkennbar. Für die Zonen M und T sind die Zeitpunkte jedoch gut ablesbar. Eine detailliertere Auswertung ist aufgrund der Ausfälle zu Beginn der Wachstumsperiode bzw. während der Ausaperung für das Jahr 2022 nicht möglich. Aktuelle Bilder und Daten können <https://phenocam.nau.edu/webcam/sites/nphntin/> entnommen werden.

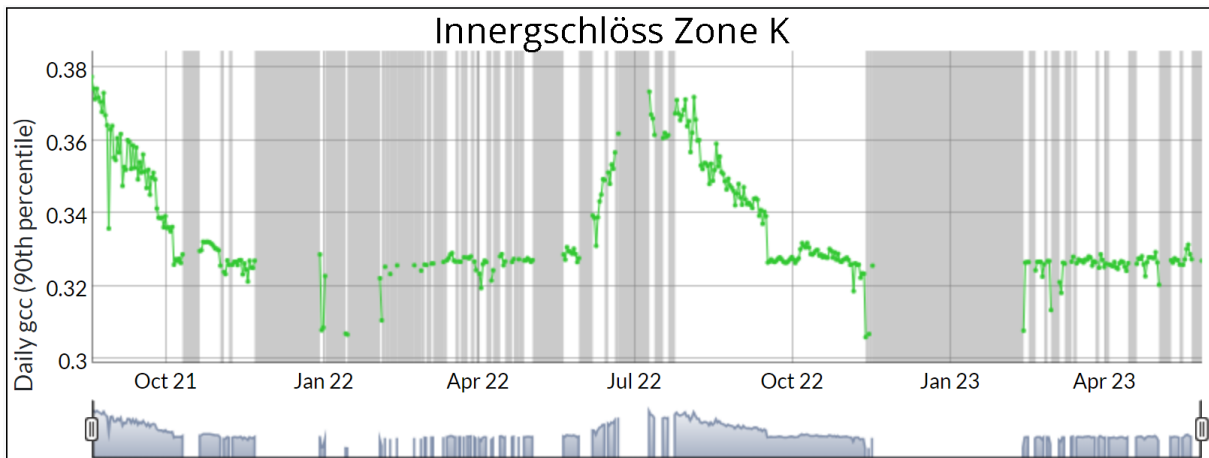


Abbildung 12: Originalabbildung aus der Auswertung der Phenocam Bilder durch das PhenoCam Netzwerk für die Zone K.

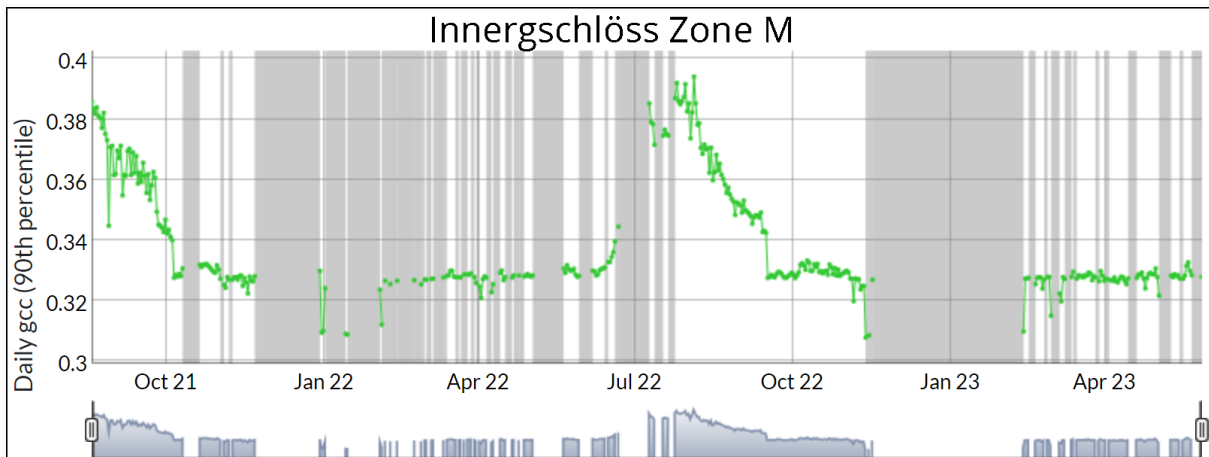


Abbildung 13: Originalabbildung aus der Auswertung der Phenocam Bilder durch das PhenoCam Netzwerk für die Zone M.

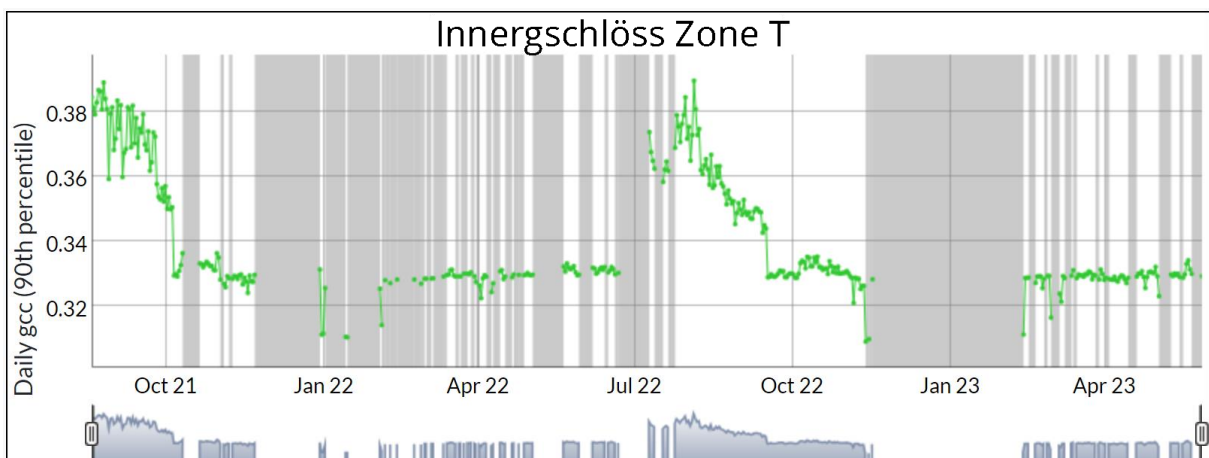


Abbildung 14: Originalabbildung aus der Auswertung der Phenocam Bilder durch das PhenoCam Netzwerk für die Zone T.



# Interpretation und Diskussion

## a. 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).“* Zitiert aus Newesely et al. 2019a.

Für eine klassische meteorologische Standortcharakterisierung werden standgemäß die mesoklimatischen Daten wie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit zugrunde gelegt. Diese Angabe lassen eine Eingliederung in übergeordnete Messnetze zu. Die durch das Mikroklima geprägten Wachstumsbedingungen für die Pflanzen unterscheiden sich aber oftmals deutlich von den mesoklimatisch erfassbaren Werten, so dass es notwendig war, hier einen anderen Ansatz zu wählen. Für die hier gewählte Standortklassifizierung werden daher die für das Wachstum der Pflanzen relevanteren Bodentemperaturen herangezogen. Durch die gleichzeitige und standörtliche Erfassung der mesoklimatischen Daten ist aber eine Verknüpfung der Daten nach WMO Standard (World Meteorological Organization 2012) gegeben.

Das Jahr 2020 galt als eines der wärmsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Starke Unterschiede in der Schneemenge zwischen Nord und Südalpen im Jänner 2020 führten aber auch zu einem deutlichen Unterschied im Ausaperungszeitpunkt. So aperten die Flächen im Untersulzbachtal (Nordalpen) rund ein Monat früher aus als im Innergschlöss (Südalpen). Das Jahr 2021 war dagegen im langjährigen Vergleich zu kühl. Dies zeigt sich nicht nur an der späten Ausaperung, sondern auch an den deutlich niedrigeren Jahresmittelwerten der Lufttemperatur. Gegenüber dem Jahr 2020, in dem die Jahresmitteltemperatur in allen Gebieten über 0°C lag, lag das Jahresmittel der Lufttemperatur 2021 sowohl im Innergschlöss (-0,46°C) als auch in Oberettes (-1,0°C) deutlich unter dem Gefrierpunkt. Erste Daten aus 2022 lassen dagegen wieder ein sehr warmes bis heißes Jahr erwarten.

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. Wie in Newesely et al. 2019 ausführlich beschrieben unterscheiden sich die Bodentemperaturen oftmals deutlich von den Lufttemperaturen und liegen teilweise bis zu 5 K darüber.

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 2020 war dies die Zeitperiode vom 21. Juli bis zum 15. September 2020. Das Ergebnis zeigt, dass die so berechneten Wärmesummen für alle 6 Standorte auf etwa dem gleichen Niveau liegen (Abbildung 15 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, im Jahr 2020 durchaus vergleichbar waren. 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 2020 ist, zeigt der Vergleich mit 2021 (Abbildung 15, rechts). Für das Jahr 2022 liegen erst die Daten bis Anfang August vor (Abbildung 16). Daraus ist zu erkennen, dass die Gradtage für 2022 schon bis Mitte August deutlich über jenen der vorangegangenen Jahre lagen. Dies bestätigt die Besonderheit dieses Jahres



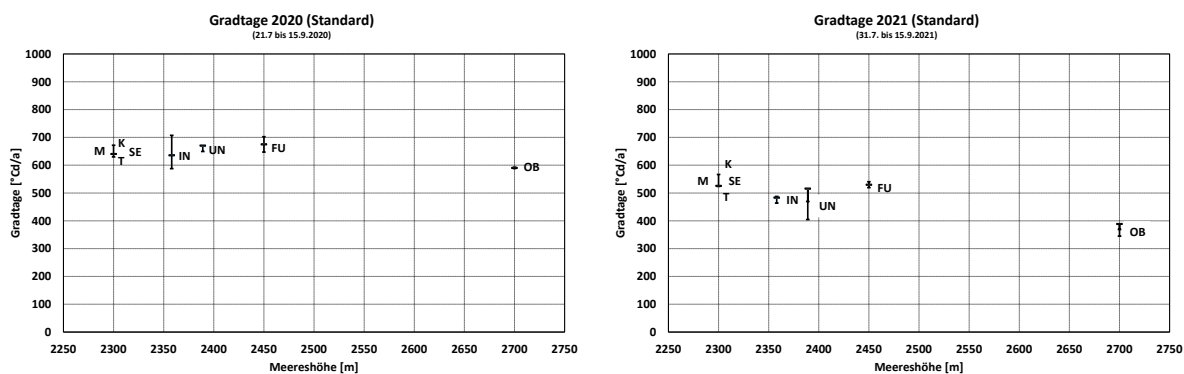


Abbildung 15: Standardisierte Gradtage 2020 und 2021 in [Cd/a] aller Standorte für eine standardisierte Zeitperiode (links 21.07.2020 bis 15.9.2020, rechts 31.7.2021 bis 15.9.2021). Der Beginn der Zeitperiode ergibt sich dadurch, dass alle Transekte an allen Standorten schneefrei sind. K, M und T stehen für Gradienten der ‚Habitatgunst‘ in den Transekten von optimal (K) über einen mittleren Bereich (M) bis pessimal (T)

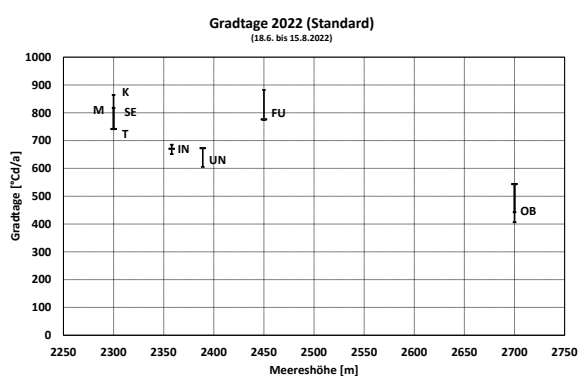


Abbildung 16: Standardisierte Gradtage 2022 in [Cd/a] aller Standorte für eine standardisierte Zeitperiode (18.06.2022 bis 15.8.2022). Der Beginn der Zeitperiode ergibt sich dadurch, dass alle Transekte an allen Standorten schneefrei sind. K, M und T stehen für Gradienten der ‚Habitatgunst‘ in den Transekten von optimal (K) über einen mittleren Bereich (M) bis pessimal (T)

## b. Biomasse

Die Messdaten der pflanzlichen Produktion über nunmehr 6 Untersuchungsjahren zeigen bereits eine starke interannuelle Variabilität, wobei der Trend entlang des Gradienten der ‚Habitatgunst‘ deutlich zu erkennen ist. Die höchste pflanzlichen Produktion findet sich im optimalen Bereich (‘K’) und der geringsten im pessimalen Bereich (‘T’). Ausnahmen bildet hier nur Oberettes, welches einen genau gegenteiligen Trend (Zunahme der Biomasse von optimal zu pessimal) aufweist. Dieser Standort ist durch einen seit Jahrhunderten extremen Beweidungsdruck gekennzeichnet. Ohne Schutzkörbe wird der Rasen auf 2 cm abgegrast. Im Vergleich zu den anderen Standorten bietet Oberettes daher die Möglichkeit die Wechselwirkungen von Klimawandel und extremer Landnutzung langfristig zu untersuchen.

Eine zu frühe Ernte kann zu Fehlern führen. Um den genauen Erntezeitpunkte anhand der Phänologie besser abschätzen zu können, wurde im Innergschlöss eine entsprechende Webcam montieren, die ins internationale PhenoCam-Netzwerk integriert ist und damit zumindest wochenaktuell Daten über die Vegetationsentwicklung liefert.

Anhand der bisher vorhandenen Datenreihe kann eine unmittelbare Korrelation der Biomasseproduktion zur Witterung des aktuellen Jahres nicht schlüssig erklärt werden. Tendenziell erkennt man aber speziell für das Untersulzbachtal und die Furka eine deutliche Zunahme der Biomasse in der Periode 2017-2022. Einen Zusammenhang mit klimatischen Veränderungen lassen diese Daten aber nicht fundiert zu.

Die vorliegenden nun sechsjährigen Ergebnisse zeigen sowohl die Bedeutung eines Langzeitmonitorings als auch die Notwendigkeit langfristig zu messen auf. Körner (2018) weist auf das Problem der zeitlichen Variabilität in Natursystemen hin. Die teilweise großen Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren verdeutlichen anschaulich die Wichtigkeit jährlicher Untersuchungen. So zeigen die Beprobung 2017, 2020 und 2022 im Vergleich zu 2019 und 2021 völlig



konträren Ergebnisse. Körner (2018) zeigt dieses Problem deutlich auf (Abbildung 17). Die für das terrestrische Langzeitmonitoring im NPHT gewählten Modellökosysteme entlang eines Gradienten der Schneeschmelze und damit der Habitatgunst eignen sich daher besonders gut, da es sich dabei um reife Ökosysteme handelt, in denen sich stabile Biozönosen etablieren konnten. Jährliche Schwankungen in der Witterung können daher abgepuffert werden so dass sich diese nicht unmittelbar in den erfassten Messgrößen abbilden.

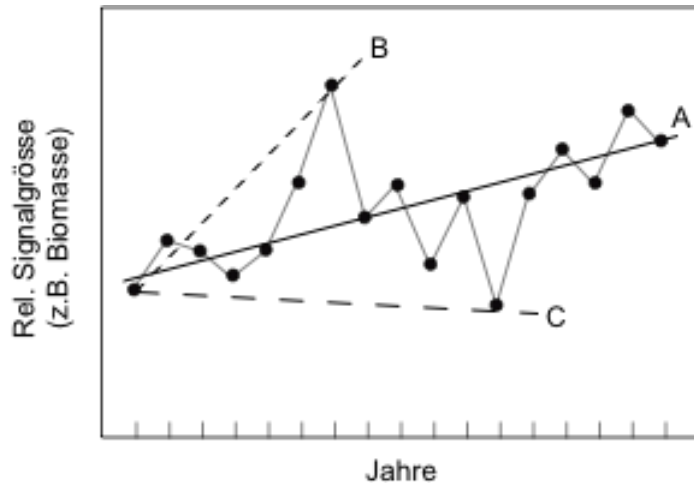


Abbildung 17: Problem der Jahres-Schwankungen von Signalen bei Langzeitbeobachtungen mit großen Beobachtungsintervallen. Schlussfolgerungen B und C weichen stark vom korrekten Trend A ab (aus Körner 2018)

## 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 DI Elisabeth Hainzer, Mag. Katharina Aichhorn, Mag. Florian Jurgeit, Mag. Martin Kurzthaler und Stefan Lerch. Bedanken möchten wir uns auch bei der Österreichischen Forschungsgemeinschaft (FFG). Sie ermöglichte durch ihr Programm „Talente Praktika“ die Einbindung von Thomas Millebner, Markus Michl, Nando Nianias, Paulina Ulseß, Jakob Kapferer, Taissia Wolfauer, und Mohamad Ali Taha in das vorliegende Projekt. Michael Steinwandter, PhD von Eurac Research Bozen-Bolzano: Vielen Dank für Eure tatkräftig Hilfe bei der Probennahme im NPHT.



## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Innergschlöss (2350 m üNN, links), Seebachtal (2300 m üNN, rechts) rot: Tagesmaxima, schwarz: Tagesmittel, Blau: Tagesminima .....  | 5  |
| Abbildung 2: Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum, Untersulzbachtal (2380 m üNN, links), Furka (2460 m üNN, rechts).....   | 5  |
| Abbildung 3: Lufttemperatur Im Untersuchungszeitraum Oberettes (2700 m üNN) .....   | 5  |
| Abbildung 4 (links): Vergleich der Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen allen Standorten vom 1.1.2020 bis 31.12.2020 (links), 1.1.2021 bis 31.12.2021 (rechts). Aufgrund des zeitweisen Ausfalls der Messtation Seebachtal ist eine Mittelwertbildung für diese Station nicht möglich.....  | 6  |
| Abbildung 5 (links): Vergleich der Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen allen Standorten vom 1.1.2022 bis zur Ernte am 18.8.2022. Aufgrund des zeitweisen Ausfalls der Messtation ist eine Mittelwertbildung für das Seebachtal nicht möglich. ....   | 6  |
| Abbildung 6: Mittlere Bodentemperatur während der Wachstumsperiode gegen den Höhengradienten der Untersuchungsflächen für die Jahre 2017-2021. ....   | 9  |
| Abbildung 7: Gradstunden ( $T_{\geq 5}$ ) in [°CH] aller Standorte (Seebachtal SE, Innergschlöss IN, Untersulzbach UN, Furka FU, Oberettes OB). $GH_{\geq 5}$ 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 2020 (links), 2021 (Mitte) und 2022 (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. .... | 10 |
| Abbildung 8: Anzahl der Tage mit mittlerer Bodentemperatur über $5^{\circ}\text{C}$ gegen den Höhengradienten der Untersuchungsflächen für die Jahre 2017-2021. ....  | 12 |
| Abbildung 9: Pflanzliche Produktivität (peak biomass) 2020 (links) 2021 (Mitte) und 2022 (rechts). Mittelwert gepoolt über alle K, M und T Felder aller Transekte pro Standort. Aufgrund von schweren Unwettern und einer damit verbunden Wegsperre war eine zeitgerechte Ernte im Jahr 2021 im Untersulzbachtal nicht möglich.....   | 13 |
| Abbildung 10: Biomassevergleich zwischen den Jahren 2017 und 2022. Bei Oberettes ist eine Abstufung von T nach K nicht erkennbar. Hier überwiegen die Einflüsse durch Jahrhunderte lange intensive Beweidung sowie der Einfluss von Windkanten im H-Bereich. Jahre, in denen keine Ernte erfolgen konnte sind mir ‚no data‘ gekennzeichnet (aus Körner et al. 2022). ....   | 14 |
| Abbildung 11: Phaenocam Bild mit Markierung der Zonen der Habitatsgunst. Links – K, Mitte M, rechts T.  | 14 |
| Abbildung 12: Originalabbildung aus der Auswertung der Phenocam Bilder durch das PhenoCam Netzwerk für die Zone K. ....   | 15 |
| Abbildung 13: Originalabbildung aus der Auswertung der Phenocam Bilder durch das PhenoCam Netzwerk für die Zone M.....  | 15 |
| Abbildung 14: Originalabbildung aus der Auswertung der Phenocam Bilder durch das PhenoCam Netzwerk für die Zone T. ....   | 15 |
| Abbildung 15: Standardisierte Gradtage 2020 und 2021 in [Cd/a] aller Standorte für eine standardisierte Zeitperiode (links 21.07.2020 bis 15.9.2020, rechts 31.7.2021 bis 15.9.2021). Der Beginn der Zeitperiode ergibt sich dadurch, dass alle Transekte an allen Standorten schneefrei sind. K, M und T stehen für Gradienten der ‚Habitatsgunst‘ in den Transekten von optimal (K) über einen mittleren Bereich (M) bis pessimal (T) .....   | 17 |
| Abbildung 16: Standardisierte Gradtage 2022 in [Cd/a] aller Standorte für eine standardisierte Zeitperiode (18.06.2022 bis <b>15.8.2022</b> ). Der Beginn der Zeitperiode ergibt sich dadurch, dass alle Transekte an allen Standorten schneefrei sind. K, M und T stehen für Gradienten der ‚Habitatsgunst‘ in den Transekten von optimal (K) über einen mittleren Bereich (M) bis pessimal (T).....   | 17 |
| Abbildung 17: 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) .....  | 18 |
| Abbildung 18: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....   | 23 |





|  |    |
|--|----|
| Abbildung 19: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....    | 23 |
| Abbildung 20: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....    | 24 |
| Abbildung 21: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....    | 24 |
| Abbildung 22: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....    | 25 |
| Abbildung 23: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Seebachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....       | 25 |
| Abbildung 24: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Seebachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....       | 26 |
| Abbildung 25: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Seebachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....       | 26 |
| Abbildung 26: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau ..... | 27 |
| Abbildung 27: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau ..... | 27 |
| Abbildung 28: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau ..... | 28 |
| Abbildung 29: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau ..... | 28 |
| Abbildung 30: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau ..... | 29 |
| Abbildung 31: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 6 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau ..... | 29 |
| Abbildung 32: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....            | 30 |
| Abbildung 33: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....            | 30 |
| Abbildung 34: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....            | 31 |
| Abbildung 35: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....            | 31 |
| Abbildung 36: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....            | 32 |
| Abbildung 37: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Oberettes für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....        | 32 |
| Abbildung 38: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Oberettes für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....        | 33 |
| Abbildung 39: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Oberettes für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau .....        | 33 |





# Literaturverzeichnis

## Literaturverzeichnis

- 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
- 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 (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, Tappeiner, U, Newesely, C, Wittmann, H, Eberl, T, Kaiser, R, Meyer, E, Grube, M, Fernandez Mendoza, F, Füreder, L, Niedrist, G H, Daim, A, Kellerer-Pirklbauer, A, Wickham, S, Petermann, J, Berninger, U, Hackänder, K, Niedrist, G, Seeber, J, Steinwandter, M (2020) Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen -Synthese der Startphase 2016-2018, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. ISBN-Online: 978-3-7001-8748-6, doi: 10.1553/ GCP\_LZM\_NPHT\_Synthese
- Körner, C., U.-G. Berninger, A. Daim, T. Eberl, F. F. Mendoza, L. Füreder, M. Grube, E. Hainzer, R. Kaiser, E. Meyer, C. Newesely, G. Niedrist, G. H. Niedrist, J. S. Petermann, J. Seeber, U. Tappeiner and S. Wickham (2022). "Long-term monitoring of high-elevation terrestrial and aquatic ecosystems in the Alps – a five-year synthesis." *eco.mont (Journal on Protected Mountain Areas Research)* 14(2): 48-69.
- Newesely C, Niedrist G, Tappeiner U, Körner C (2019a) Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2016-2019. - Modul 01: Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und pflanzliche Produktivität. Endbericht 2019. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern. [http://www.parc.at/npht/mmd\\_fullentry.php?docu\\_id=37874](http://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=37874)
- Newesely C, Tappeiner U, Körner C (2019b) Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 01: Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und pflanzliche Produktivität. Methoden-Handbuch. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. ISBN-Online: 978-3-7001-8749-3, doi: 10.1553/GCP\_LZM\_NPHT\_Modul01
- Scherrer D, Körner C (2011) Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming. *J. Biogeogr.* 38:406-416
- 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
- 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](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf) [accessed 17. 3. 2019]



# Anhang

## a. Standardgradtage

Tabelle 7: Standardisierte Gradtage 2020 und 2021 in [Cd/a] aller Standorte für eine standardisierte Zeitperiode (links 21.07.2020 bis 15.9.2020, rechts 31.7.2021 bis 15.9.2021). 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). (IN = Innerschlöss, SE = Seebachtal, UN = Untersulzbachtal, FU = Furka, OB = Oberettes)

| 2020               | Standard Gradtage<br>(Alle Transekte komplett schneefrei) |              |              |            | 2021               | Standard Gradtage<br>(Alle Transekte komplett schneefrei) |              |              |            |
|--------------------|---|--------------|--------------|------------|--------------------|---|--------------|--------------|------------|
|                    | K   | M            | T            | Mittelwert |                    | K   | M            | T            | Mittelwert |
| <b>IN / 2358m</b>  | <b>707.5</b>  | <b>635.4</b> | <b>587.5</b> | <b>647</b> | <b>IN / 2358m</b>  | <b>487.8</b>  | <b>483.8</b> | <b>463.8</b> | <b>480</b> |
| IN1                | 705.4   | 322.4        | 292.9        |            | IN1                | 487.0   | 497.1        | 438.0        |            |
| IN2                | 661.3   | 677.1        | 626.8        |            | IN2                | 447.2   | 449.5        | 418.5        |            |
| IN3                | 728.3   | 676.9        | nd           |            | IN3                | 520.4   | 460.3        | nd           |            |
| IN4                | 727.0   | 743.0        | 768.1        |            | IN4                | 513.1   | nd           | 534.9        |            |
| IN5                | 715.3   | 757.8        | 662.3        |            | IN5                | 471.5   | 528.1        | nd           |            |
| <b>SE / 2300m</b>  | <b>671.8</b>  | <b>640.5</b> | <b>629.9</b> | <b>648</b> | <b>SE / 2300m</b>  | <b>566.9</b>  | <b>526.0</b> | <b>523.4</b> | <b>539</b> |
| SE1                | 749.0   | nd           | 669.6        |            | SE1                | 418.5   | 378.7        | 372.8        |            |
| SE2                | 590.7   | 675.1        | 586.3        |            | SE2                | 413.4   | 439.2        | 385.5        |            |
| SE3                | 675.6   | 605.9        | 634.0        |            | SE3                | 868.7   | 760.0        | 811.9        |            |
| <b>UN / 2389m</b>  | <b>669.1</b>  | <b>670.7</b> | <b>649.4</b> | <b>663</b> | <b>UN / 2389m</b>  | <b>470.1</b>  | <b>515.9</b> | <b>420.6</b> | <b>469</b> |
| UN1                | 734.9   | 704.7        | 668.3        |            | UN1                | 531.7   | 508.9        | nd           |            |
| UN2                | 710.4   | nd           | 679.4        |            | UN2                | 500.6   | nd           | 475.4        |            |
| UN3                | 650.3   | 698.9        | 693.2        |            | UN3                | 448.4   | 698.9        | 693.2        |            |
| UN4                | 632.1   | 674.1        | 629.9        |            | UN4                | 443.1   | 479.9        | 65.7         |            |
| UN5                | 619.2   | 619.4        | 576.4        |            | UN5                | 423.6   | 419.1        | 383.0        |            |
| UN6                | 668.0   | 656.2        | nd           |            | UN6                | 473.2   | 472.8        | 485.6        |            |
| <b>FU / 2450 m</b> | <b>708.2</b>  | <b>nd</b>    | <b>647.0</b> | <b>678</b> | <b>FU / 2450 m</b> | <b>541.4</b>  | <b>nd</b>    | <b>519.4</b> | <b>533</b> |
| FU1                | 730.7   | nd           | 662.1        |            | FU1                | 558.5   | nd           | 516.7        |            |
| FU2                | 680.1   | nd           | 722.9        |            | FU2                | 538.2   | nd           | 551.2        |            |
| FU3                | 667.2   | nd           | 668.9        |            | FU3                | 500.9   | nd           | 490.4        |            |
| FU4                | 744.0   | nd           | nd           |            | FU4                | 578.1   | nd           | nd           |            |
| FU5                | 691.0   | nd           | 534.3        |            | FU5                | 527.9   | nd           | nd           |            |
| <b>OB / 2700 m</b> | <b>587.9</b>  | <b>102.5</b> | <b>592.7</b> | <b>469</b> | <b>OB / 2700 m</b> | <b>369.0</b>  | <b>388.7</b> | <b>344.6</b> | <b>367</b> |
| OB1                | nd  | nd           | 589.3        |            | OB1                | 368.2   | 374.6        | 316.1        |            |
| OB2                | nd  | nd           | nd           |            | OB2                | 369.8   | nd           | 373.2        |            |
| OB3                | 587.9   | 102.5        | 596.1        |            | OB3                | nd  | 402.8        | nd           |            |

b. Bodentemperaturverläufe

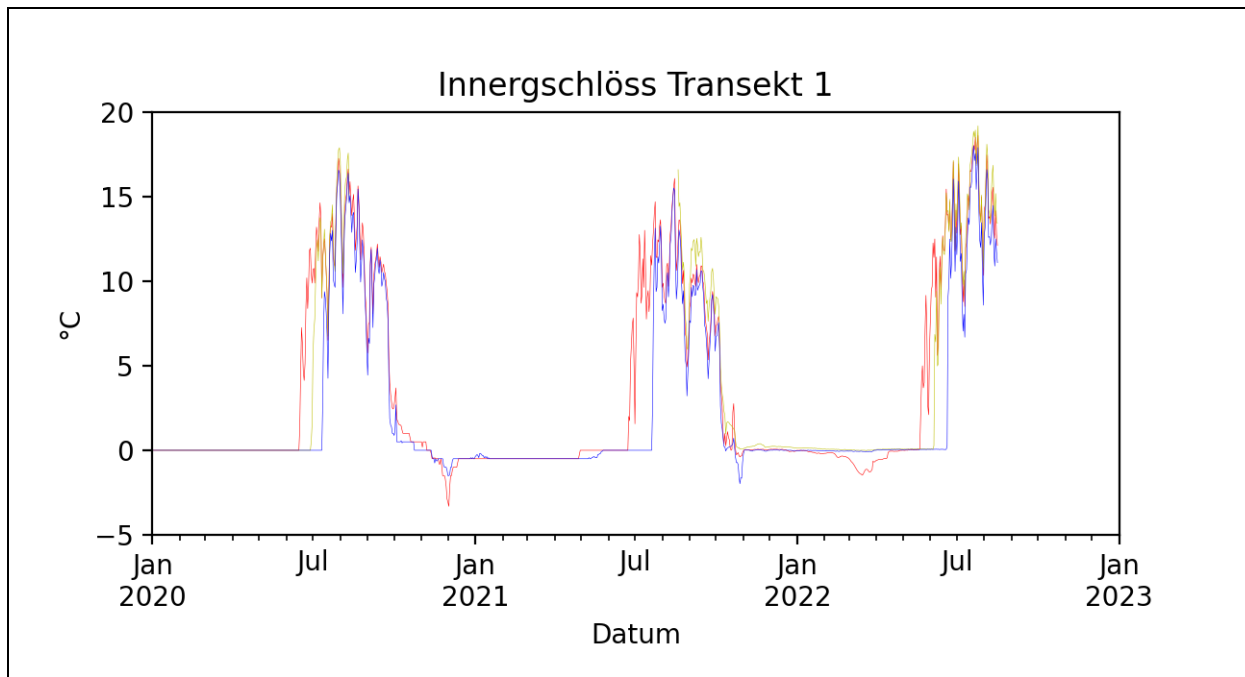


Abbildung 18: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

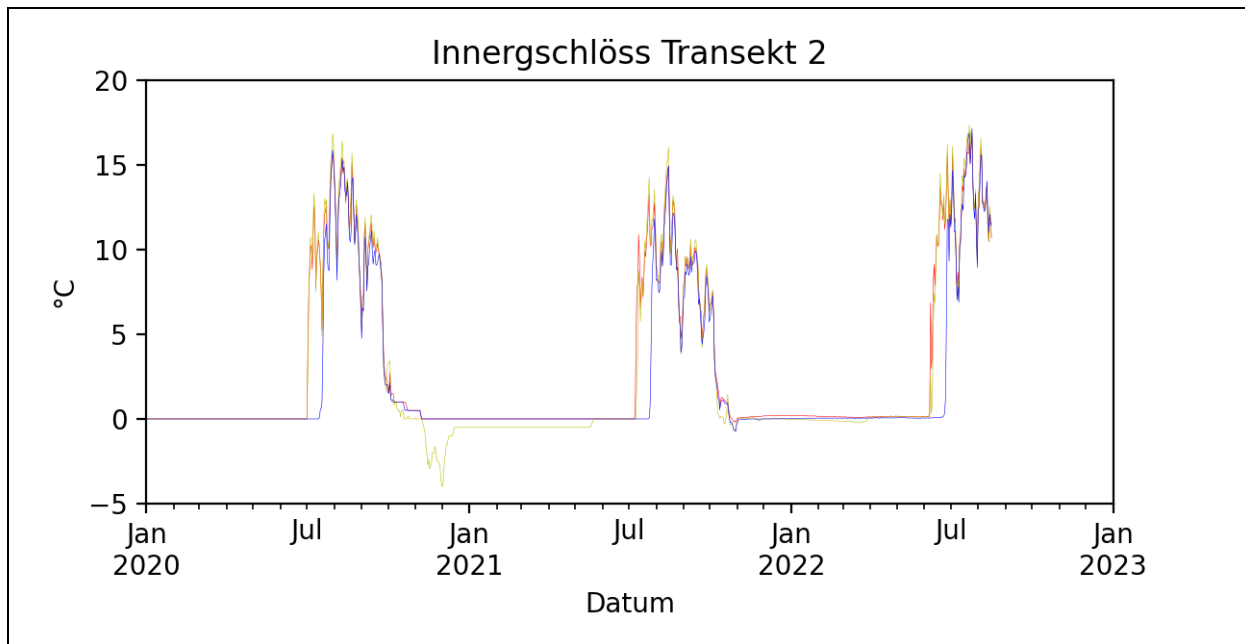


Abbildung 19: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

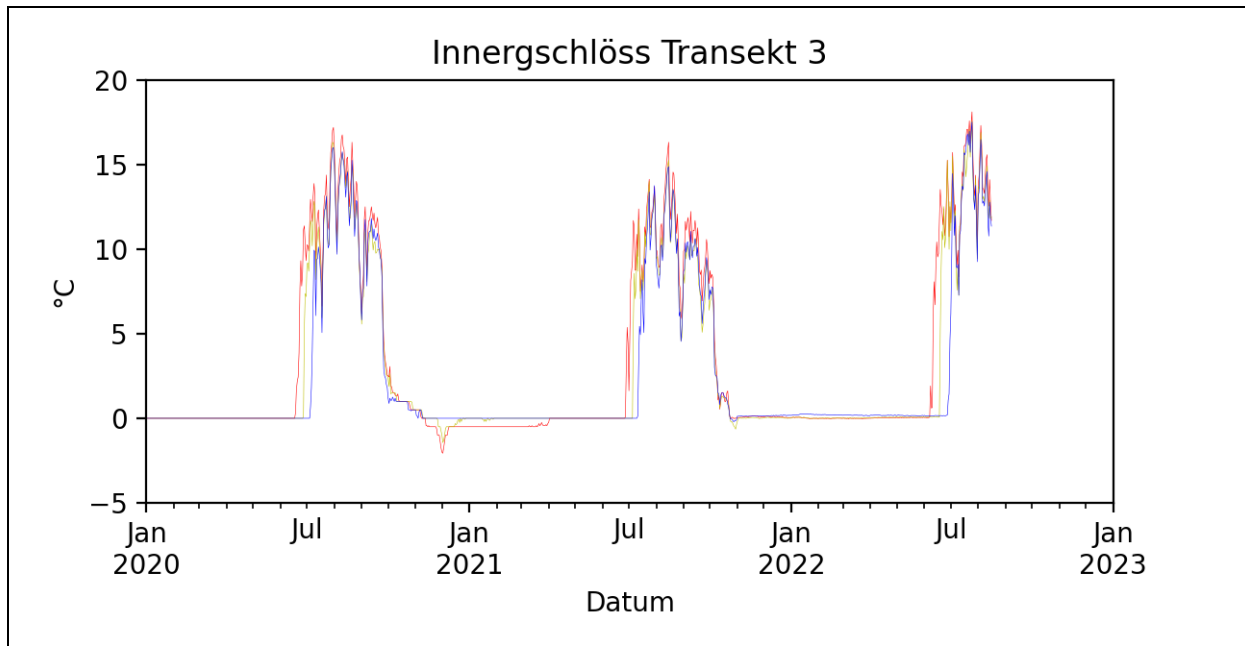


Abbildung 20: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Innerschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

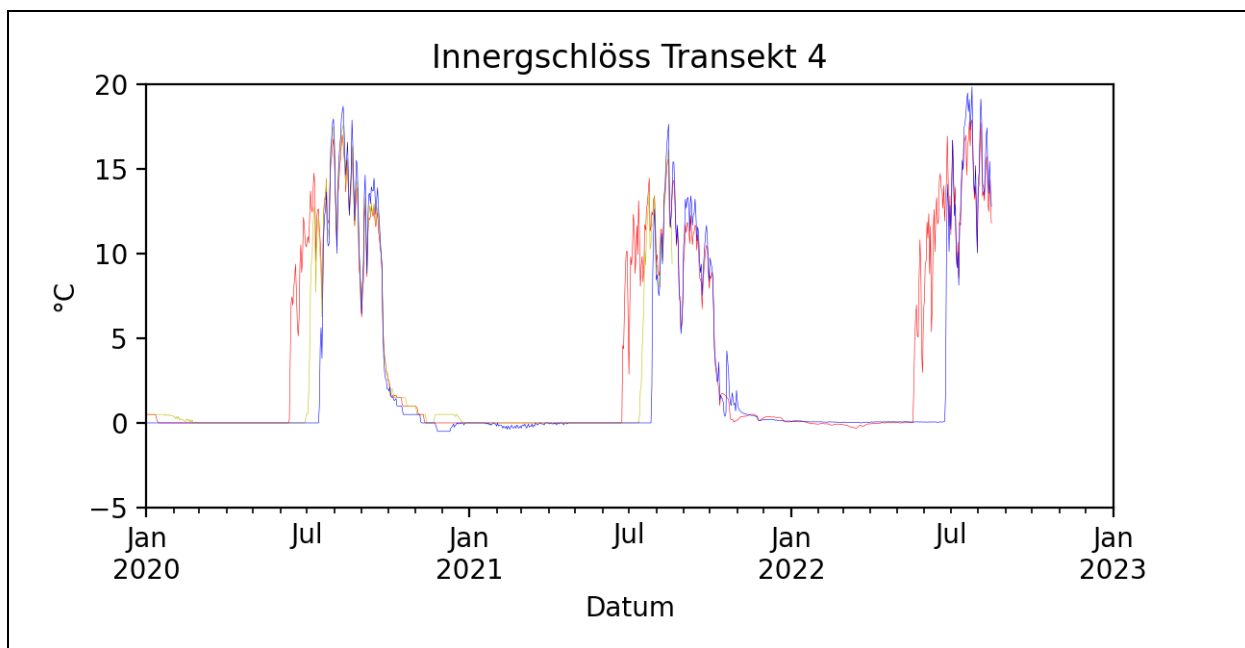


Abbildung 21: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Innerschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau



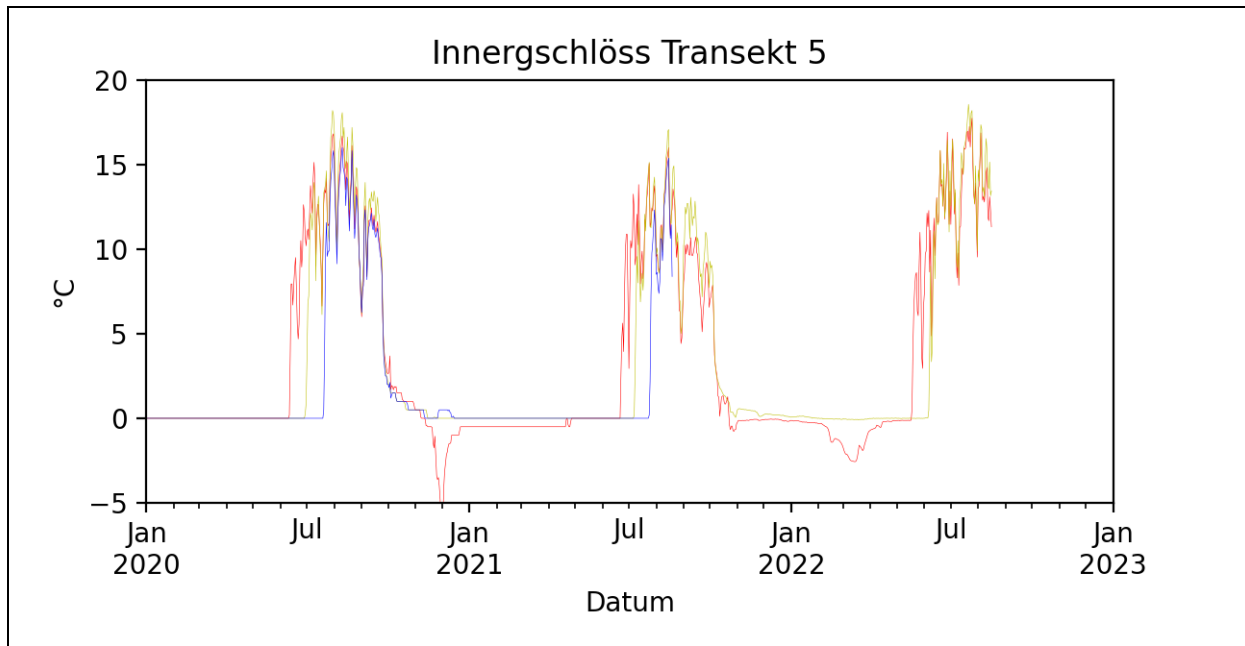


Abbildung 22: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Innergschlöss für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

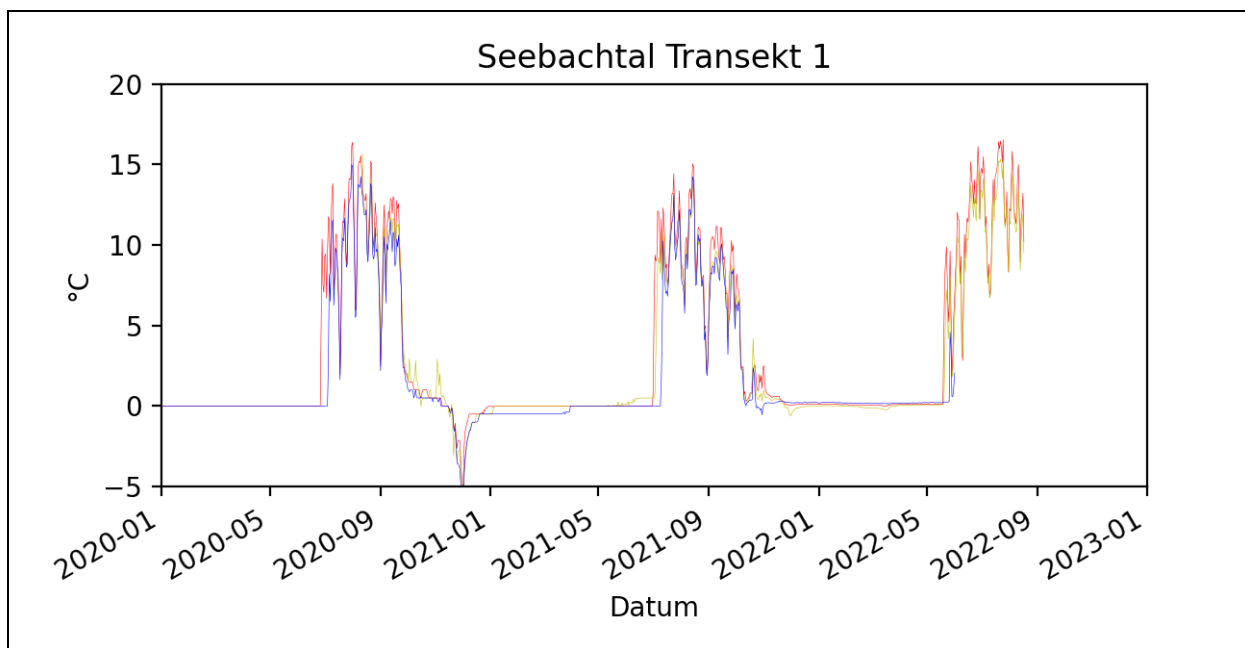


Abbildung 23: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Seebachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

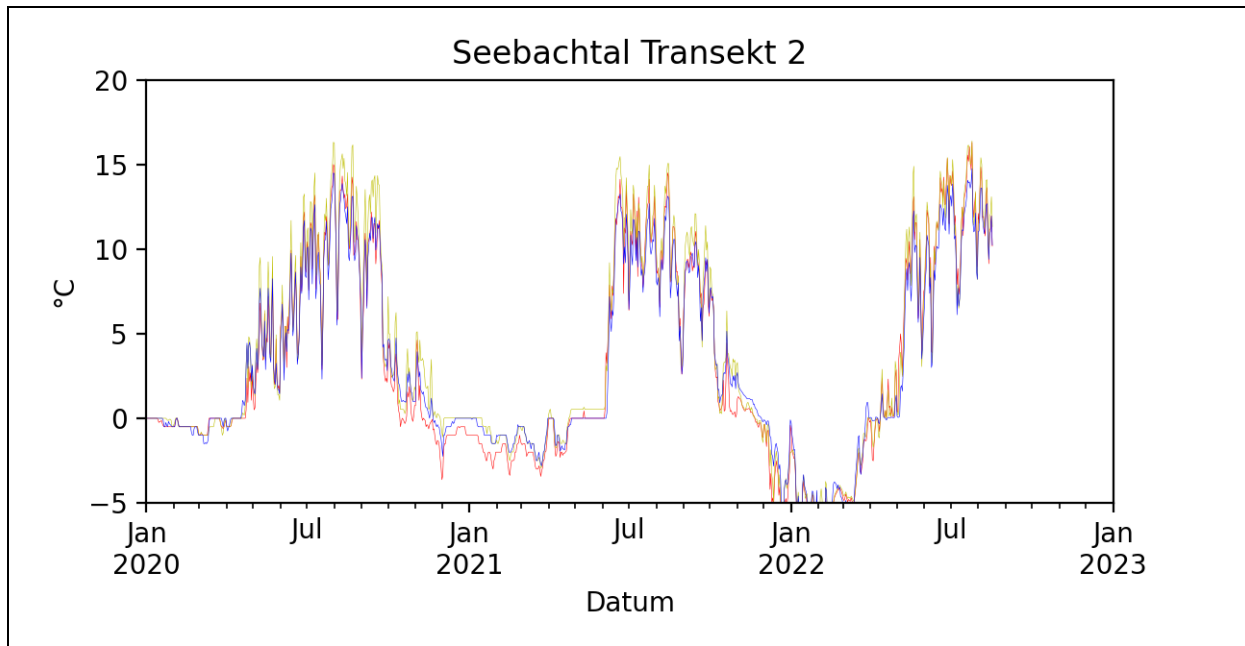


Abbildung 24: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Seebachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

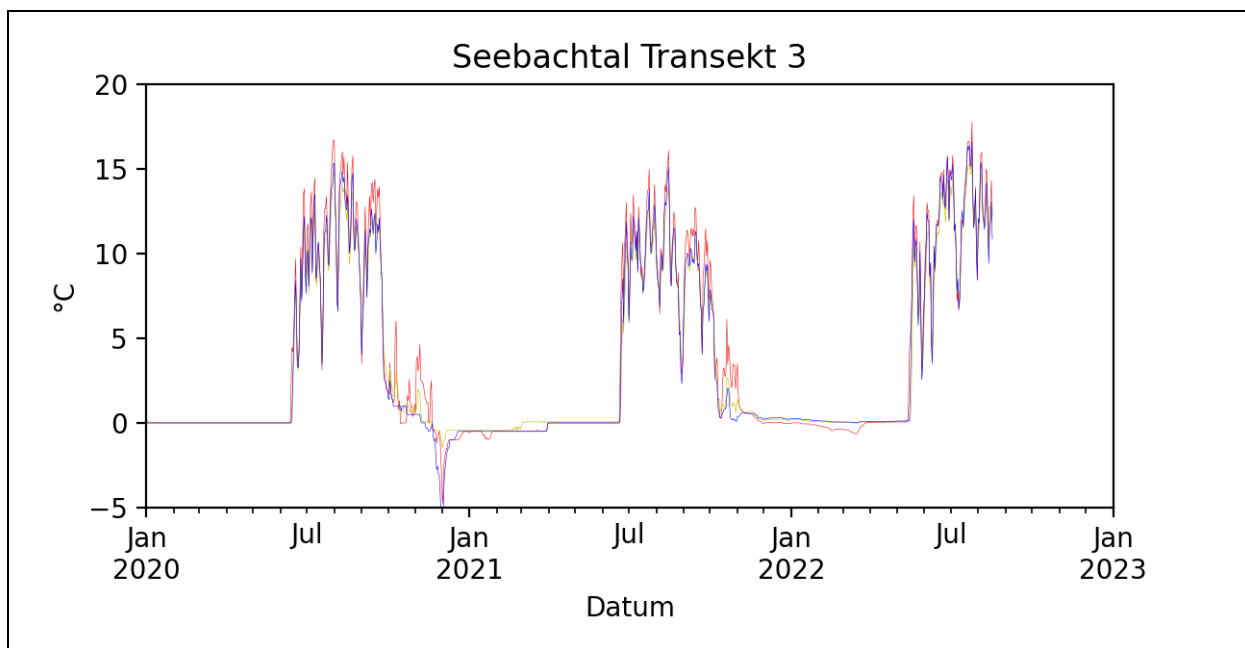


Abbildung 25: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Seebachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

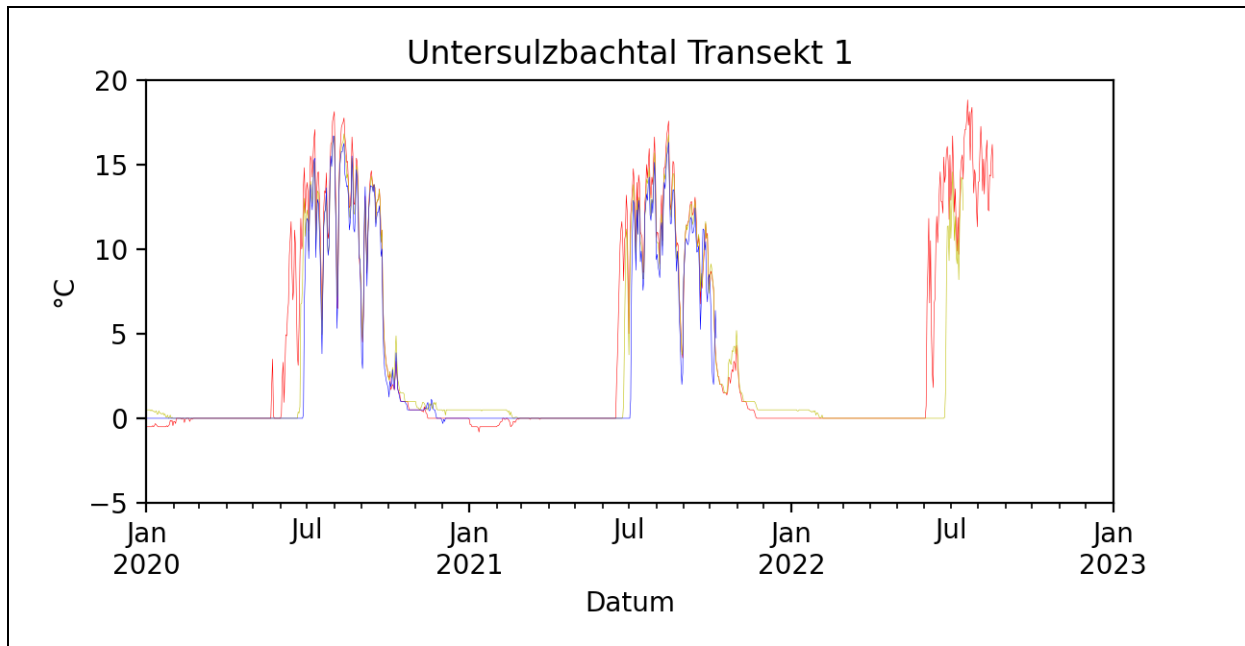


Abbildung 26: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

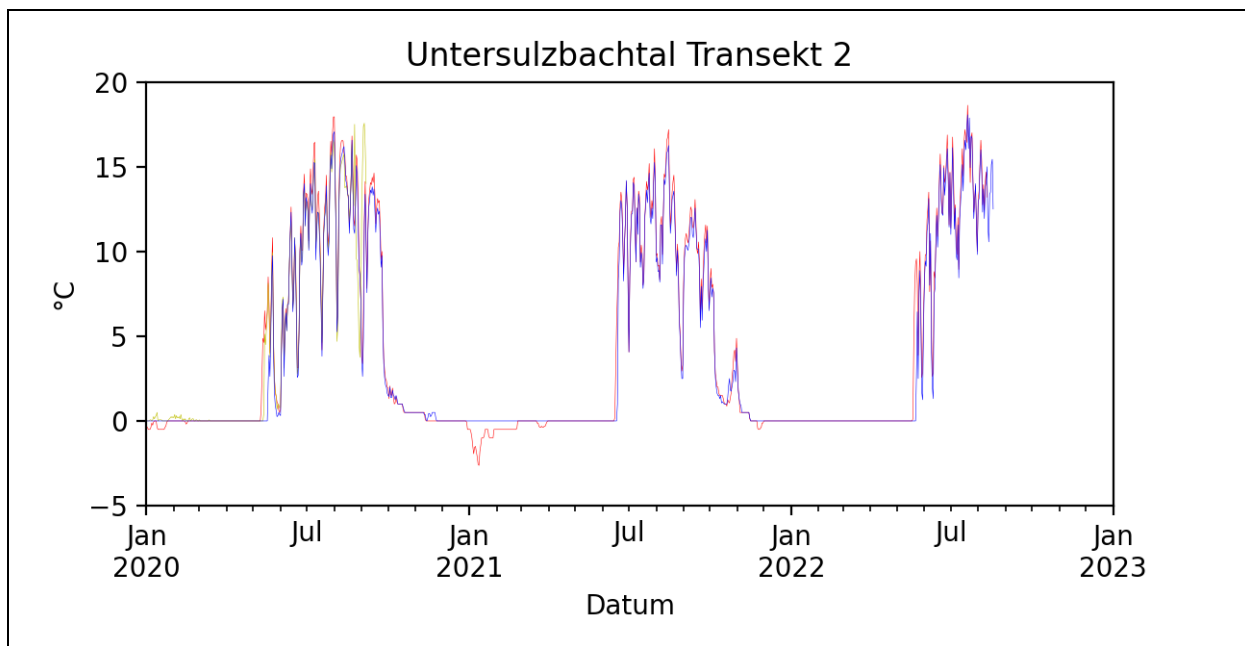


Abbildung 27: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

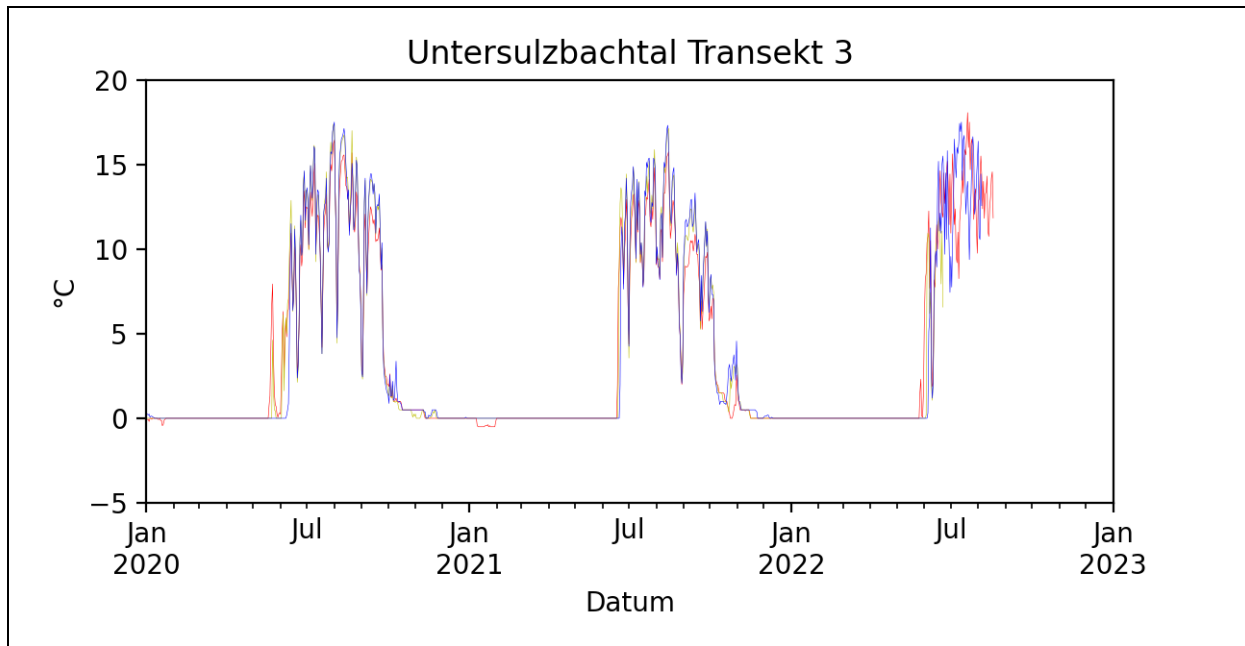


Abbildung 28: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

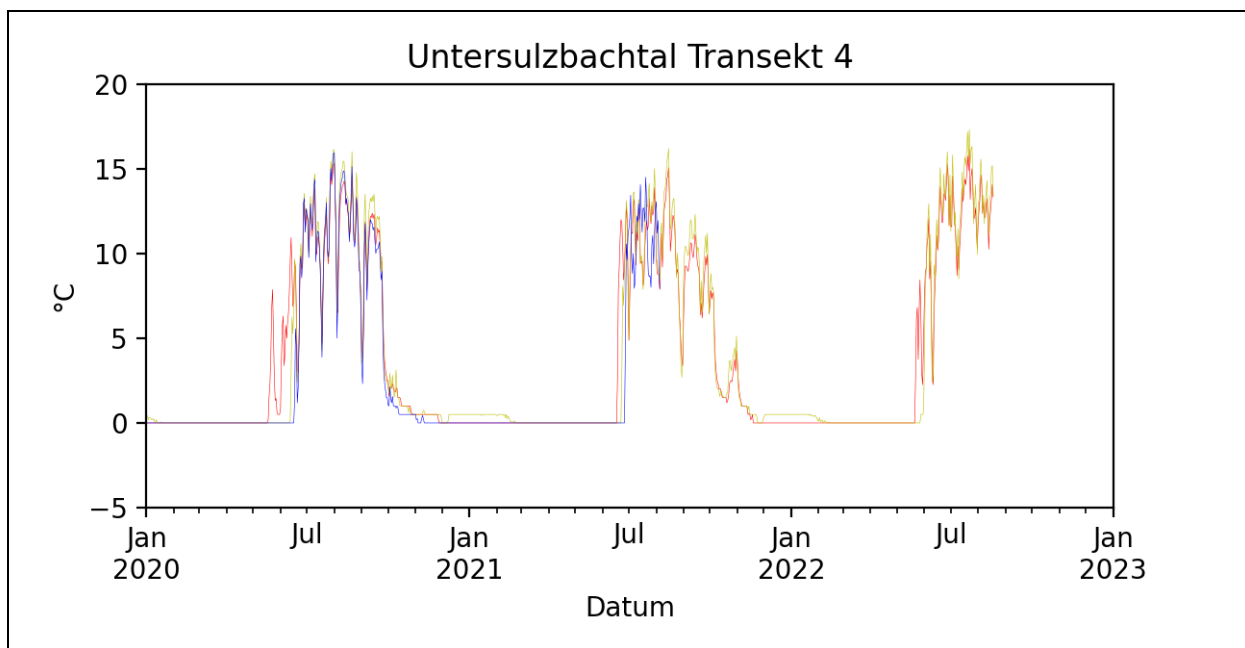


Abbildung 29: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

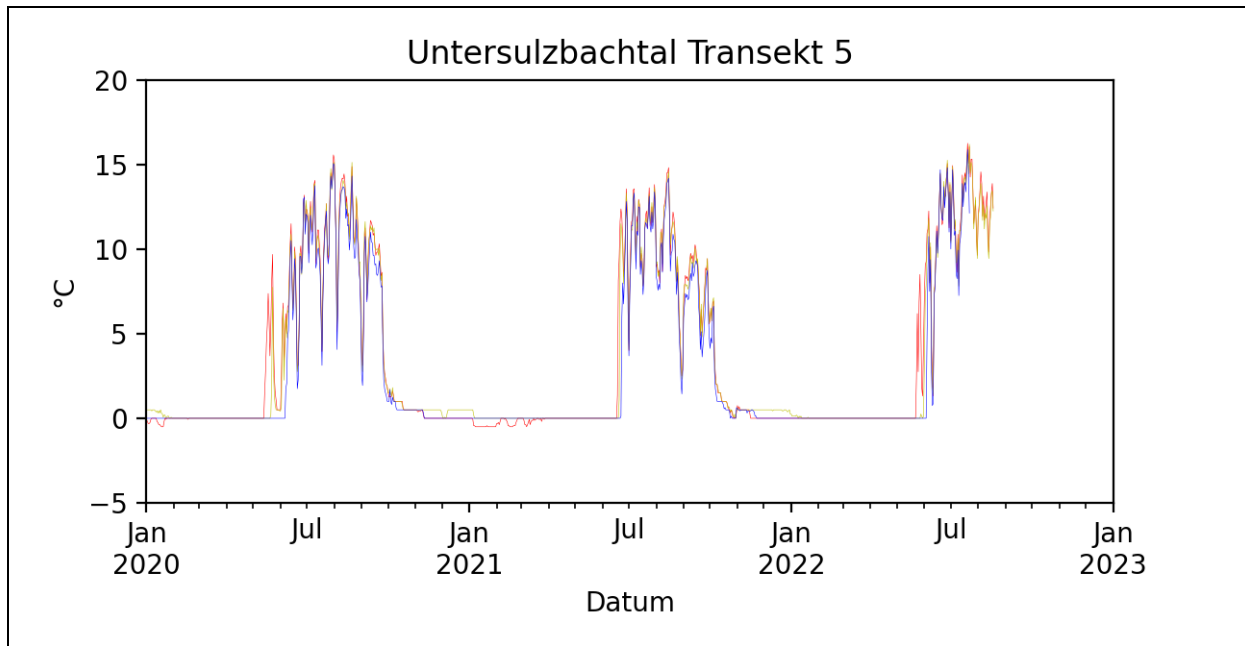


Abbildung 30: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

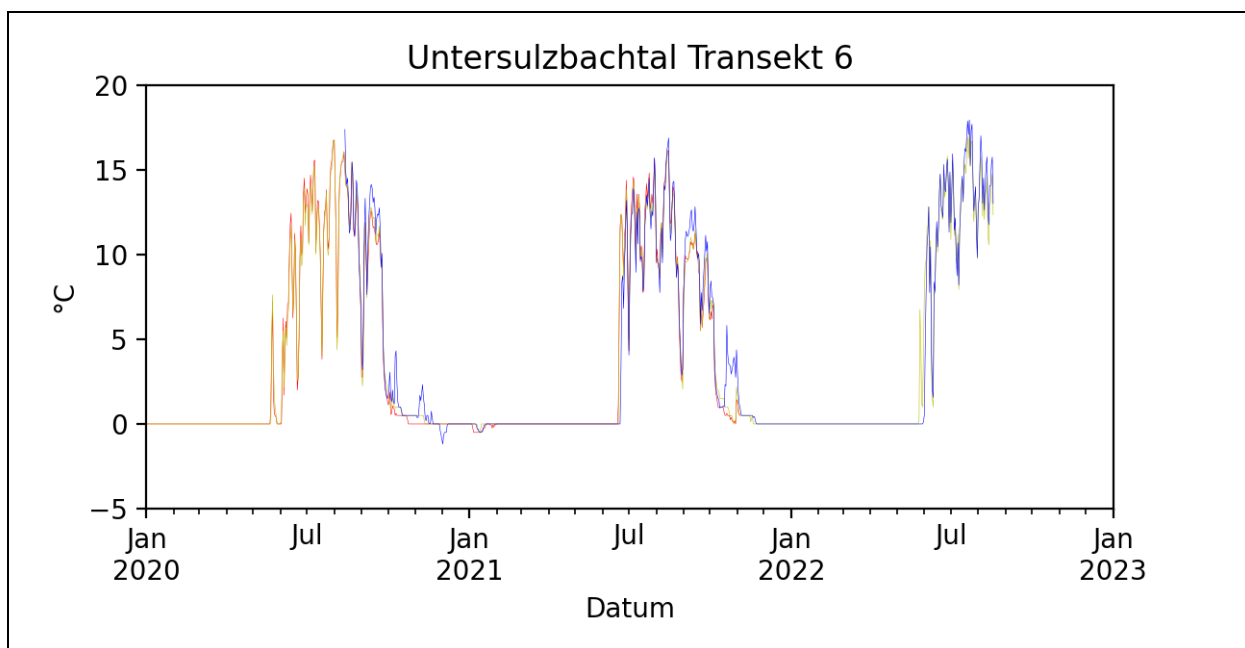


Abbildung 31: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 6 im Untersulzbachtal für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

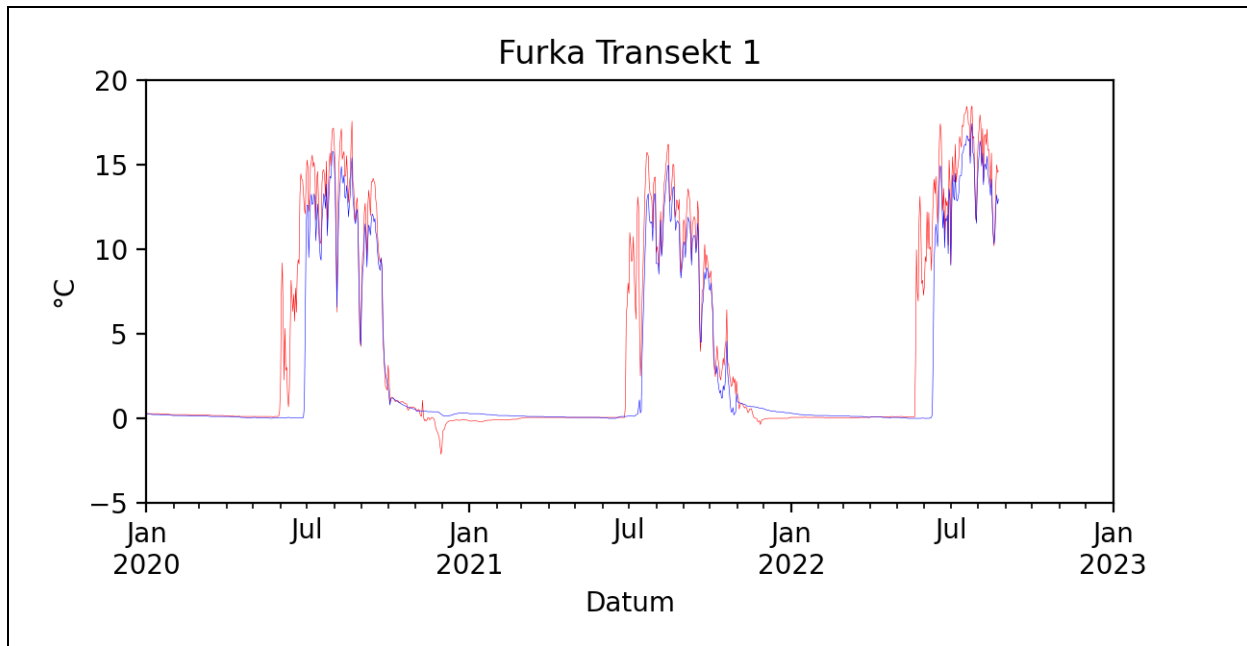


Abbildung 32: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

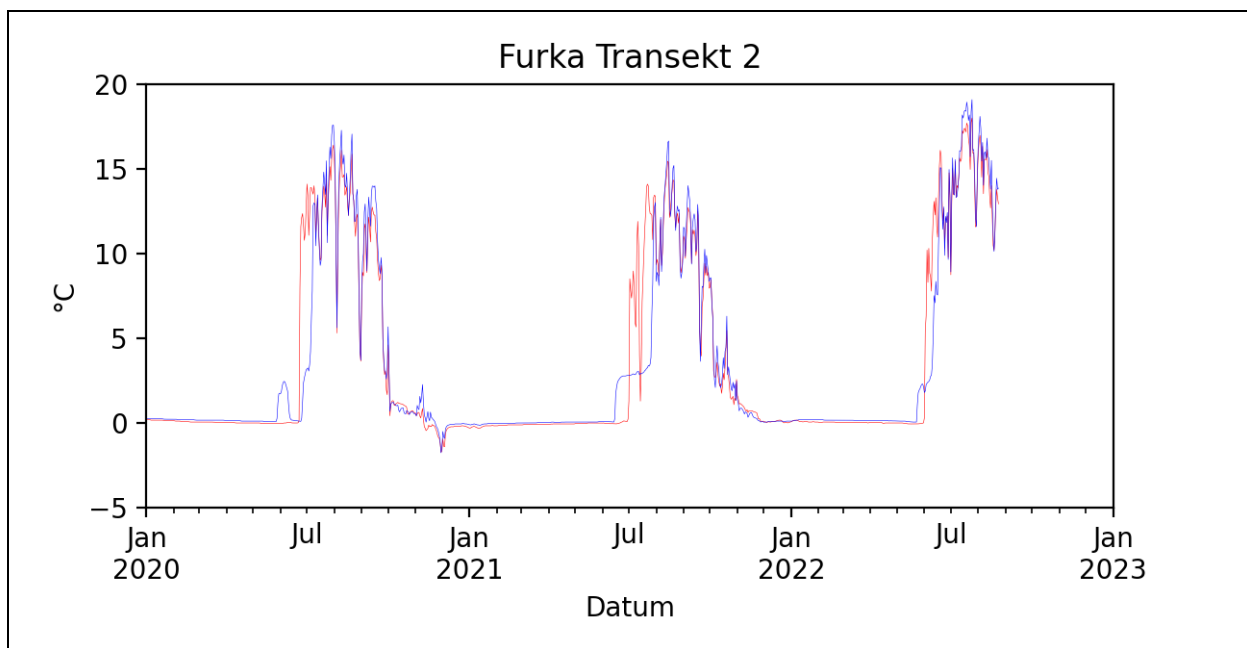


Abbildung 33: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

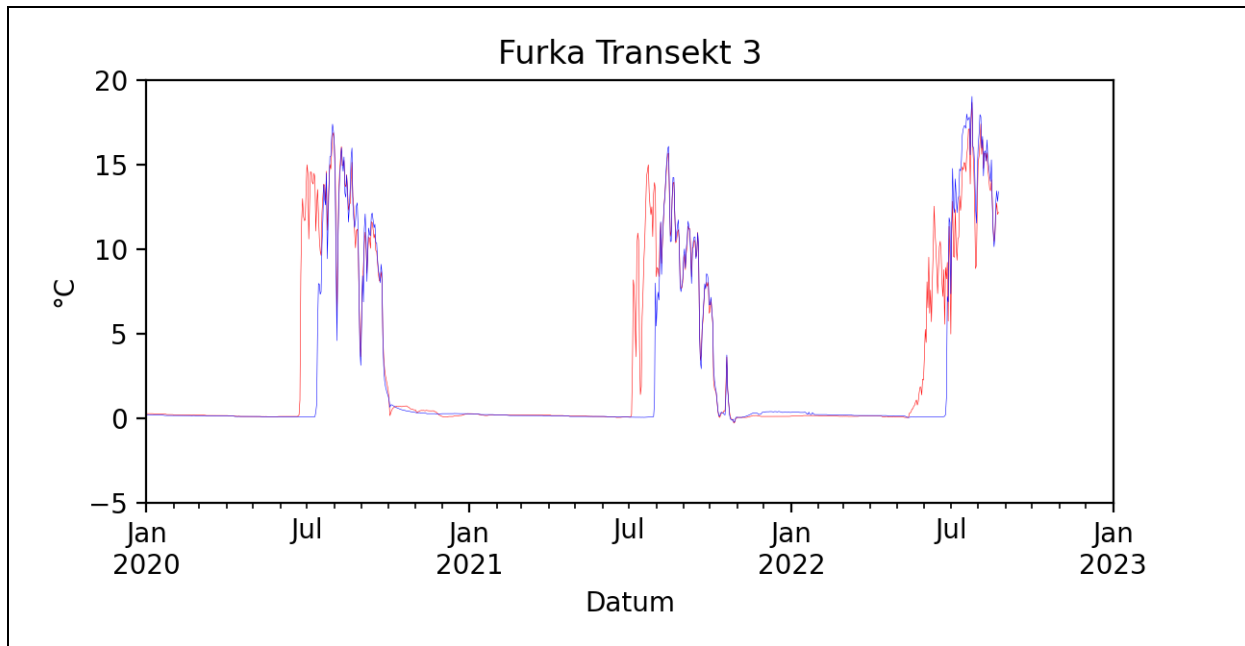


Abbildung 34: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

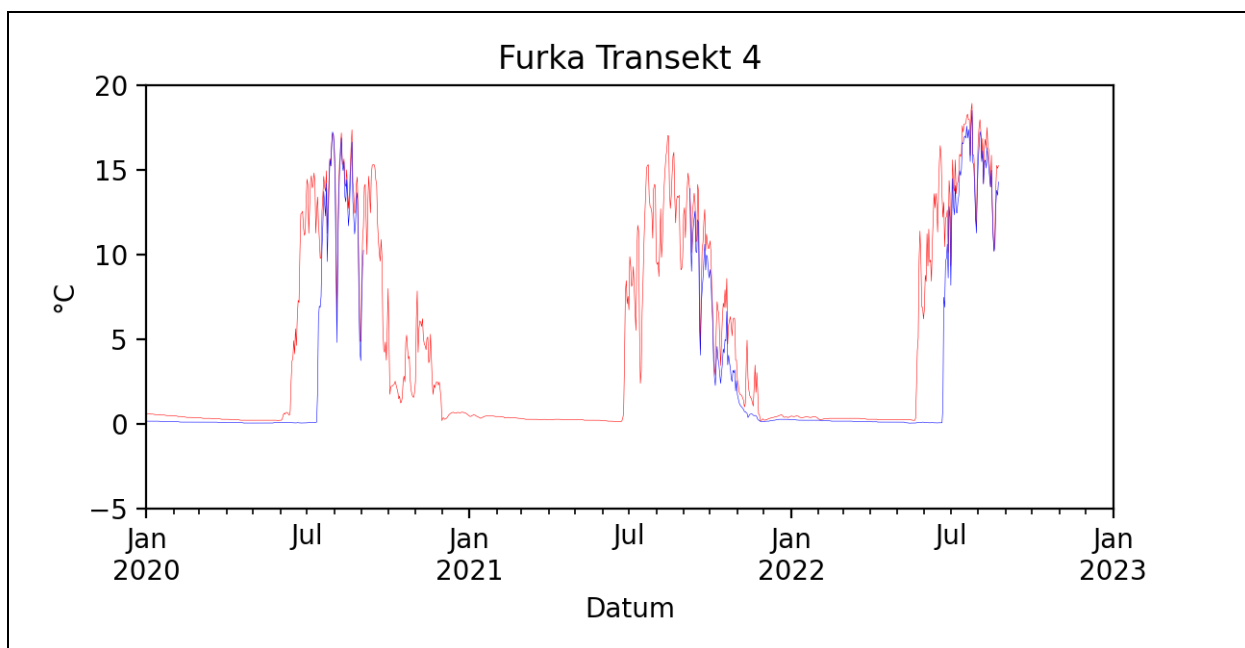


Abbildung 35: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 4 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

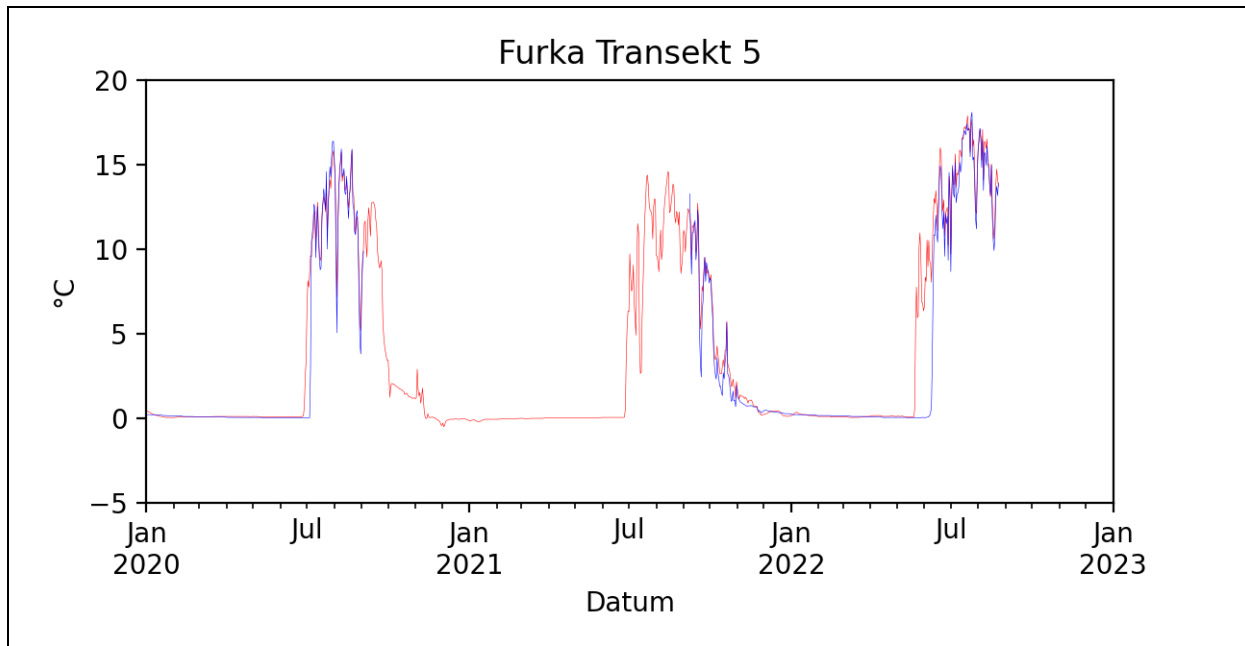


Abbildung 36: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 5 im Furka für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

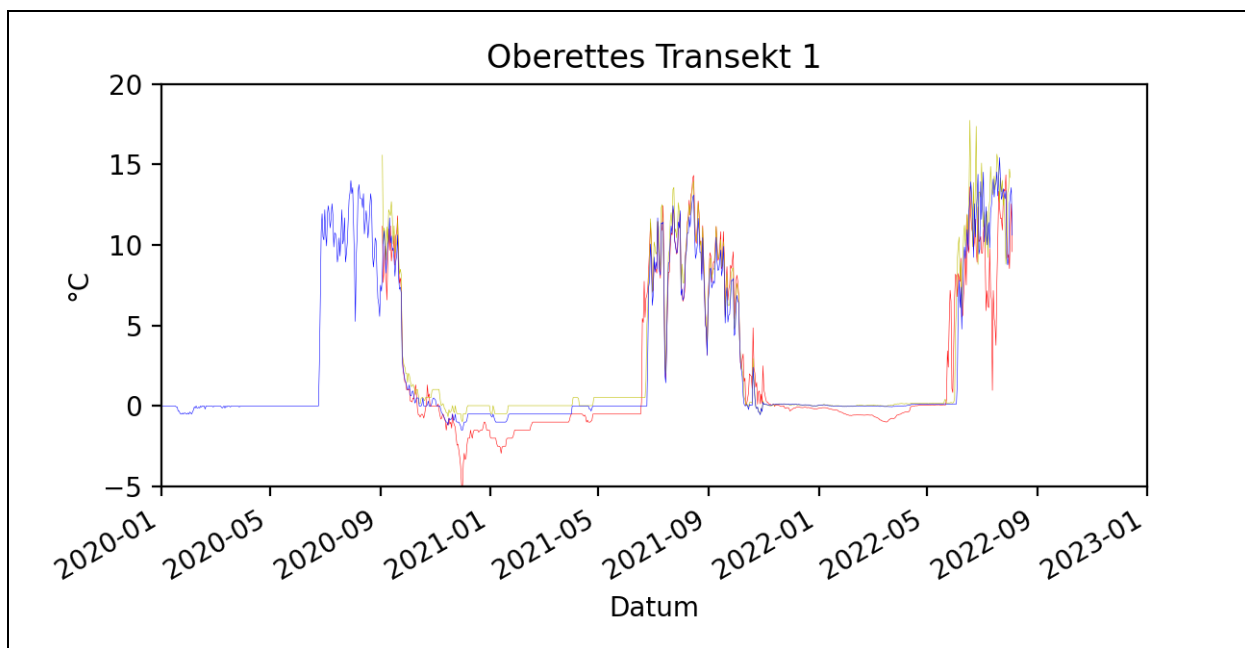


Abbildung 37: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 1 im Oberettes für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau



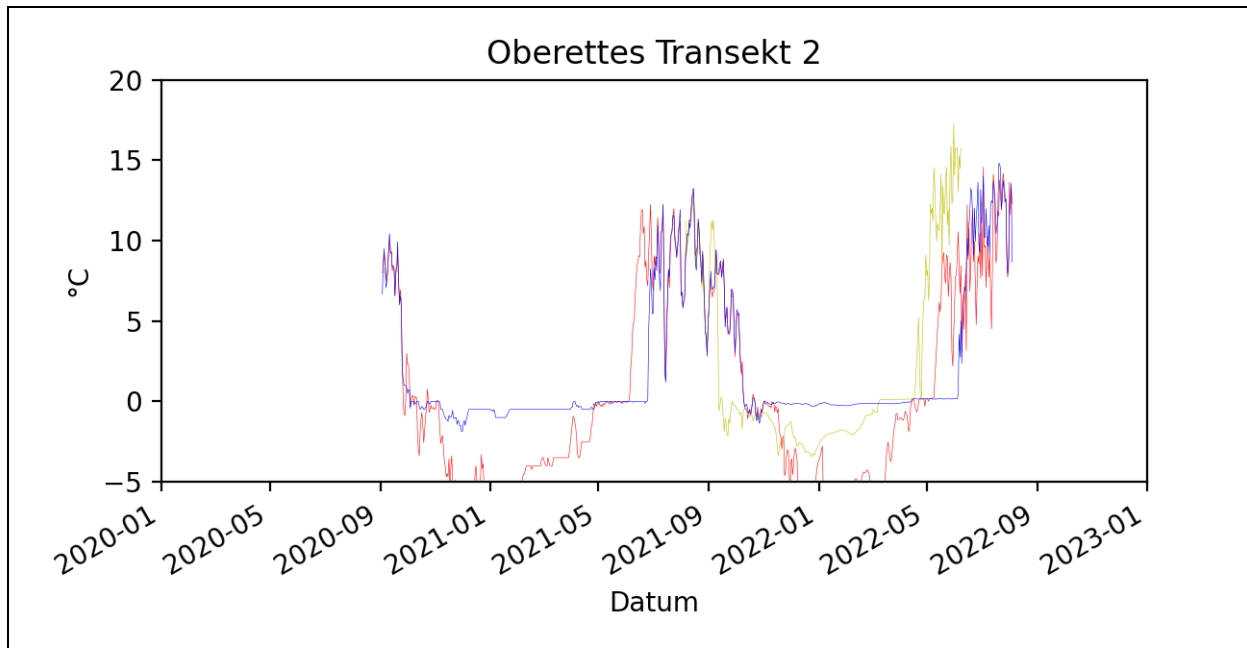


Abbildung 38: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 2 im Oberettes für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau

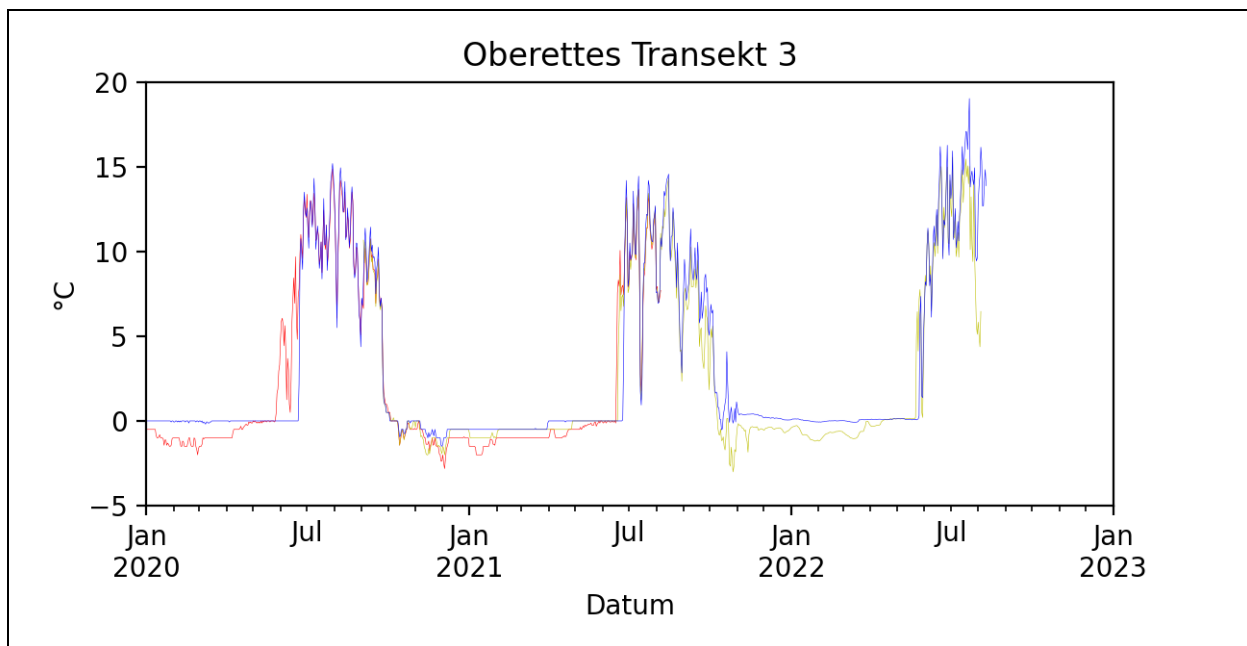


Abbildung 39: Detaillierter Temperaturverlauf der Bodentemperatur für den Transekt 3 im Oberettes für die Jahre 2020 bis 2023. H: rot, M: gelb, T: blau



**Medieninhaber und Herausgeber, Verleger:**

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Matri

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

