



Fakultät für Umwelt und Gestaltung

## **Bachelorthesis**

im Studiengang Landschaftsplanung und Naturschutz

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering (B.Eng.)

**Saisonale Streifgebiete und temperaturabhängige Höhennutzung des Alpensteinbockes  
(*Capra ibex ibex*) mit Daten des Schweizerischen Nationalparks**

vorgelegt von:

**Ilka Schneider**

Ausgabedatum: 01.03.2026

Abgabedatum: 01.07.2026

8. Semester

Erstgutachter: Prof. Dr. Florian Klopfer

Zweitgutachterin: Prof. Dr. Mirijam Gaertner

## Zusammenfassung

Das Verhalten von Säugetieren ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Der abiotische Umweltfaktor Temperatur bestimmt maßgeblich, wo sich Tiere aufhalten können. In der vorliegenden Arbeit wurde die saisonale Raumnutzung von besenderten Alpensteinböcken (*Capra ibex ibex*) analysiert, sowie eine Korrelation zwischen der Temperatur und der Aufenthaltshöhe der weiblichen und männlichen Tiere aufgezeigt. Da die Tiere an kalte Bedingungen angepasst sind und ihre Reaktion auf Wärme bisher wenig untersucht wurde, sollen die Ergebnisse dieser Arbeit das Verständnis ihrer thermischen Anpassung erweitern. Das Ziel der Arbeit ist es, die Sommer- und Winterstreifgebiete der 29 Tiere visuell darzustellen und einen Größenvergleich zwischen den Gebieten und zwischen den Geschlechtern zu errechnen. Die Streifgebiete werden mittels Autokorrelierter Kerndichteschätzung (Autocorrelated kernel density estimation (AKDE)) berechnet. AKDE gilt als aktuelle Methode für die Berechnung von Streifgebieten und ist im R-Paket *ctmm* inbegriffen. Da AKDE bisher nicht für diese Huftierart eingesetzt wurde, wird diese Methode in diese Arbeit erstmals angewendet. Die Streifgebietsgrößen werden mit einem geometrischen Mittelwert errechnet und in Saison und Geschlecht untergliedert. Die Korrelation verläuft mittels Running-Mean in R und ergibt jährliche Grafiken, sowie eine Übersicht von Sommer und Winter über die 13 Jahre. Männliche Tiere nutzen größere Streifgebiete als die weiblichen Tiere. Die Größen der Streifgebiete beträgt im Sommer 554 ha (Konfidenzintervall: 374 – 819 ha) für Geißen und 991 ha (Konfidenzintervall: 661 – 1485 ha) für die Böcke. Im Winter 53,3 ha (Konfidenzintervall: 37,7 – 84,2) für Geißen und 688 ha (Konfidenzintervall: 421 – 1126 ha) für die Böcke. Im Winter reduzieren beide Geschlechter die Größe des Gebiets im Vergleich zum Sommer, wobei Geißen viel kleinere Gebiete nutzen (um den Faktor ~10 kleiner, Böcke um den Faktor ~1,4) und die Böcke eine höhere individuelle Variation zeigen. Im Winter ist keine Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe ersichtbar. Im Sommer reagieren die Tiere auf ansteigende Temperaturen mit einer Höhenverschiebung in kühlere und höhere Lagen. Männliche Tiere reagieren dabei stärker. Die Ergebnisse legen nahe, dass Alpensteinböcke (*Capra ibex ibex*) sichtbare Verhaltensunterschiede zwischen den Geschlechtern aufweisen. Beide Geschlechter reagieren allerdings sensibel auf ansteigende Temperaturen im Sommer. Dadurch sind sie besonders auf alpine und subalpine Gebiete angewiesen. Dieser Aspekt und die Größe der Streifgebiete sollte bei künftigen Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden, damit ausreichend große Habitate zur Verfügung stehen, da die Ausweichmöglichkeiten der Tiere im begrenzten Alpenbogen eingeschränkt sind.

Stichwörter: Alpensteinbock, *Capra ibex*, Schweizerischer Nationalpark, Streifgebiet, Home Range, Temperatur

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                 |             |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>                                     | <b>I</b>    |
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>                              | <b>III</b>  |
| <b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>                                 | <b>V</b>    |
| <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>                              | <b>VI</b>   |
| <b>EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>                           | <b>VII</b>  |
| <b>DANKSAGUNG .....</b>                                         | <b>VIII</b> |
| <b>1 EINLEITUNG .....</b>                                       | <b>1</b>    |
| 1.1    AUSGANGSLAGE UND PROBLEMSTELLUNG.....                    | 1           |
| 1.2    ZIELSETZUNG UND METHODISCHES VORGEHEN.....               | 2           |
| 1.3    AUFBAU DER ARBEIT.....                                   | 2           |
| <b>2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND STAND DER FORSCHUNG .....</b>  | <b>3</b>    |
| 2.1    ALPENSTEINBOCK.....                                      | 3           |
| 2.1.1 <i>Systematik und Verbreitung</i> .....                   | 3           |
| 2.1.2 <i>Lebensraum und Habitatansprüche</i> .....              | 5           |
| 2.1.3 <i>Anthropogene und natürliche Einflussfaktoren</i> ..... | 9           |
| 2.2    KONZEPT HOME RANGE / STREIFGEBIET .....                  | 10          |
| 2.2.1 <i>Definition</i> .....                                   | 10          |
| 2.2.2 <i>Schätzmethoden Streifgebiet (MCP, KDE, AKDE)</i> ..... | 11          |
| 2.3    STATISTISCHE DATENAUSWERTUNG MIT R .....                 | 13          |
| 2.4    VERGLEICH MIT BISHERIGEN STUDIEN .....                   | 13          |
| 2.4.1 <i>Streifgebiete</i> .....                                | 13          |
| 2.4.2 <i>Höhenutzung</i> .....                                  | 15          |
| <b>3 MATERIALIEN UND METHODIK.....</b>                          | <b>17</b>   |
| 3.1    UNTERSUCHUNGSGEBIET .....                                | 17          |
| 3.2    DATENGRUNDLAGE.....                                      | 18          |
| 3.3    DATENAUFBEREITUNG .....                                  | 18          |
| 3.4    STATISTISCHE AUSWERTUNG IN R .....                       | 19          |
| 3.4.1 <i>Saisonale Streifgebiete Sommer und Winter</i> .....    | 19          |
| 3.4.2 <i>Berechnung Streifgebiete</i> .....                     | 20          |
| 3.4.3 <i>Berechnung Streifgebiet Größe und Verhältnis</i> ..... | 22          |
| 3.4.4 <i>Korrelation zwischen Temperatur und Höhe</i> .....     | 23          |
| 3.5    GESPRÄCH MIT EXPERTINNEN .....                           | 24          |
| 3.6    VISUALISIERUNG UND DARSTELLUNG IN GIS .....              | 24          |
| <b>4 ERGEBNISSE .....</b>                                       | <b>26</b>   |
| 4.1    SOMMER- UND WINTERSTREIFGEBIETE.....                     | 26          |
| 4.2    KORRELATION ZWISCHEN TEMPERATUR UND HÖHE .....           | 28          |
| <b>5 DISKUSSION .....</b>                                       | <b>43</b>   |

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1      | INTERPRETATION DER SOMMER- UND WINTERSTREIFGEBIETE .....               | 43        |
| 5.2      | INTERPRETATION DER KORRELATION ZWISCHEN TEMPERATUR UND HÖHE .....      | 47        |
| 5.3      | EINSCHRÄNKUNGEN UND AUFTRETENDE SCHWIERIGKEITEN .....                  | 49        |
| 5.4      | AUSBlick AUF WEITERE FORSCHUNG.....                                    | 50        |
| <b>6</b> | <b>FAZIT .....</b>                                                     | <b>51</b> |
| <b>7</b> | <b>KENNTLICHMACHUNG VON KI .....</b>                                   | <b>52</b> |
| <b>8</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>                                      | <b>53</b> |
| <b>9</b> | <b>ANHANG .....</b>                                                    | <b>64</b> |
| 9.1      | TABELLE ALLER STREIF- UND KERNGEBIETE .....                            | 64        |
| 9.2      | VARIOGRAMM.....                                                        | 67        |
| 9.3      | R CODE ZUR BERECHNUNG DER STREIFGEBIETE MITTELS AKDE.....              | 78        |
| 9.4      | R-CODE ZUR KORRELATIONSANALYSE DER AUFENTHALTSHÖHE UND TEMPERATUR..... | 90        |
| 9.5      | KARTEN DER STREIFGEBIETE .....                                         | 97        |



## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abbildung 1</b> Variogramm ID 30194 (weibliches Tier) Wintersaison 2007/08 (eigene Darstellung) .....                                                                                                                                  | 21 |
| <b>Abbildung 2</b> Variogramm ID 30195 (männliches Tier) Wintersaison 2007/08 (eigene Darstellung) .....                                                                                                                                  | 21 |
| <b>Abbildung 3</b> Korrelation zwischen genutzter Höhe der Tiere und der Temperatur für Sommer (Juni bis August) und Winter (Dezember bis Februar) mit den gesamten Daten von 2007 bis 2019 (eigene Darstellung) .....                    | 29 |
| <b>Abbildung 4</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2007. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) .....  | 30 |
| <b>Abbildung 5</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2009. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) .....  | 31 |
| <b>Abbildung 6</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2009. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) .....  | 32 |
| <b>Abbildung 7</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2010. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) .....  | 33 |
| <b>Abbildung 8</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2011. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) .....  | 34 |
| <b>Abbildung 9</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2012. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) .....  | 35 |
| <b>Abbildung 10</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2013. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) ..... | 36 |
| <b>Abbildung 11</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2014. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) ..... | 37 |
| <b>Abbildung 12</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2015. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) ..... | 38 |
| <b>Abbildung 13</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2016. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) ..... | 39 |

|                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abbildung 14</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2017. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) ..... | 40 |
| <b>Abbildung 15</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2018. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) ..... | 41 |
| <b>Abbildung 16</b> Verhältnis zwischen Temperatur (in grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2019. In Grün die Höhe der Weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der Männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung) ..... | 42 |
| <b>Abbildung 17</b> Jahresübersicht 2016 mit der Temperaturlinien in Grau, den besenderten Geißen in grün und den Böcken in orange dargestellt (eigene Darstellung) .....                                                                 | 48 |
| <b>Abbildung 18</b> Jahresübersicht 2011 mit der Temperaturlinien in Grau, den besenderten Geißen in grün und den Böcken in orange dargestellt (eigene Darstellung) .....                                                                 | 48 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabelle 1</b> Übersicht Methoden zur Berechnung von Streifgebieten nach Jahr, Methode, Autor und Kürzel sortiert (eigene Darstellung) .....                                             | 11 |
| <b>Tabelle 2</b> Vergleichende Studien nach Namen der Studien, genutzte Methode, Geschlecht der Tiere, Saison, Größe der Gebiete in ha und Anmerkungen gelistet (eigene Darstellung) ..... | 14 |
| <b>Tabelle 3</b> Definition Sommer- und Wintersaison (eigene Darstellung).....                                                                                                             | 20 |
| <b>Tabelle 4</b> Übersicht der verschiedenen Sommer- und Wintersaisons mit jeweilig dazu verwendetem HEX-Code (eigene Darstellung) .....                                                   | 24 |
| <b>Tabelle 5</b> Übersicht der Jahre, Anzahl GPS-Messungen, besenderten Tiere aufgeteilt in männliche und weibliche Tiere (eigene Darstellung) .....                                       | 26 |
| <b>Tabelle 6</b> Streifgebiete (AKDE) nach Geschlecht, Saison, Geometrischen Mittelwert, unterem und oberem Konfidenzintervall unterteilt (eigene Darstellung) .....                       | 28 |
| <b>Tabelle 7</b> Übersicht zur Kenntlichmachung von genutzter KI (eigene Darstellung) .....                                                                                                | 52 |
| <b>Tabelle 8</b> Übersicht aller Streif- und Kerngebiete nach ID (Individuum), Saison, Streifgebiet 95 % und Kerngebiet 50 % (eigene Darstellung) .....                                    | 64 |

## **Abkürzungsverzeichnis**

|                 |                                                                               |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| ±               | Plusminuszeichen                                                              |
| °C              | Grad Celsius                                                                  |
| AKDE            | Autocorrelated kernel density estimation, Autokorrelierte Kerndichteschätzung |
| CO <sup>2</sup> | Kohlenstoffdioxid                                                             |
| ctmm            | Continuous-Time Movement Modeling                                             |
| engl.           | Englisch                                                                      |
| f               | Female, weibliches Tier                                                       |
| GPNP            | Gran Paradiso National Park                                                   |
| GPS             | Global Positioning System                                                     |
| ID              | Identität                                                                     |
| IID             | Independent and identical Distribution                                        |
| IUCN            | International Union for Conservation of Nature and Natural Resources          |
| KDE             | Kernel density estimation, Kerndichteschätzung                                |
| LSCV            | Least Squares Cross Validation                                                |
| m               | Male, männliches Tier                                                         |
| m               | Meter, steht im gesamten Text für Meter über Normalnull                       |
| MCP             | Minimum Convex Polygon                                                        |
| n. Chr.         | nach Christus                                                                 |
| p               | Signifikanzwert                                                               |
| r <sub>s</sub>  | Spearman-Rangkorrelationskoeffizient                                          |
| SD              | Standardabweichung                                                            |
| SNP             | Schweizerischer Nationalpark                                                  |
| UD              | Utilization Distribution                                                      |

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich versichere hiermit ehrenwörtlich:

1. dass ich meine schriftliche Prüfungsleistung selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die Angegebenen verwendet habe,
2. dass ich weiß, dass ich stets zu wissenschaftlicher Redlichkeit verpflichtet bin und die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis eingehalten habe - das schließt auch die ggf. durch die Prüfer\*innen für meine Arbeit weiterführenden Auflagen zur Umsetzung der guten wissenschaftlichen Praxis (z.B. der Umgang/die Nutzung KI-gestützter Werkzeuge) ein.
3. dass ich insbesondere die Übernahme wörtlicher Zitate sowie die Verwendung oder Verarbeitung von Gedanken Dritter an den entsprechenden Stellen eindeutig gekennzeichnet habe.

Mir ist bewusst, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung zur Folge haben kann, dass ich von der Ableistung weiterer Prüfungsleistungen nach § 15 Abs. 3 sowie § 17 Abs. 1 der Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen – Allgemeiner Teil für Bachelor- und Masterstudiengänge in der jeweils geltenden Fassung ausgeschlossen werden bzw. ausgeschlossen sein kann und dadurch unter Umständen den Prüfungsanspruch im Studiengang endgültig verliere.

Nürtingen den 01.07.2026

(Ort, Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift)

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, welche mich während der Erstellung dieser Arbeit unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Herr Klopfer und Frau Gaertner für die Betreuung der Arbeit sowie die hilfreichen Hinweise im Laufe des Prozesses.

Ebenso möchte ich mich herzlich beim Schweizerischen Nationalpark für die Bereitstellung der Daten bedanken, welche die Grundlage der Arbeit bilden. Ohne diesen Zugang wäre die vorliegende Untersuchung in dieser Form nicht möglich gewesen. Danke auch an Pia Anderwald, welche die Koordination rund um die Bereitstellung der Daten übernommen hat. Diese zuverlässige Zusammenarbeit hat den ganzen Ablauf erleichtert.

Abschließend möchte ich mich bei Adeline Bonaglia und Stefanie Gubler für die Gespräche, das konstruktive Feedback und die wertvollen Anregungen bedanken. Diese haben die Arbeit geformt und weitergebracht.

## 1 Einleitung

Das räumliche Verhalten von Säugetieren wird von Umweltfaktoren wie der Nahrungsverfügbarkeit, der Populationsdichte und klimatischen Bedingungen beeinflusst (Larter & Gates, 1994). Eine Schwankung der Faktoren verändert demnach auch das Verhalten der Tiere. Besonders im Alpenraum sind grade große Veränderungen zu sehen, da sich die Klimaerwärmung in dieser Region zweimal so stark äußert wie im Durchschnitt der restlichen Nordhalbkugel (Gobiet et al., 2014; Jäger, 2021; Marchand et al., 2025). An Kälte angepasste Huftiere wie der Alpensteinbock (*Capra ibex ibex*), reagieren sensibel auf verändernde Umweltfaktoren und haben Schwierigkeiten sich anzupassen (Brivio et al., 2024; Ratti & Habermehl, 1977; Schaumberger et al., 2005).

### 1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Steinböcke weisen eine große sexuelle Trennung auf (Grignolio, Rossi, Bassano, et al., 2007; Parrini et al., 2009; Viana et al., 2018). So leben die Geschlechter das Jahr über getrennt und kommen lediglich zur Paarung im Dezember und Januar zusammen (Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020; Hindenlang & Nievergelt, 1995; Parrini et al., 2009). Weibliche Tiere, die Geißen, bilden eigene Gruppen und ziehen die Jungtiere ohne Beteiligung der Böcke auf (Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020; Parrini et al., 2009). Im Winter halten sich Geißen und Böcke (männliche Tiere) in niedrigeren Lagen auf und sind durch den Schnee in der Bewegung gebremst (Grignolio et al., 2004; Jacobson et al., 2004; Parrini et al., 2009). Im Sommer nutzen sie höhere und kühlere Lagen, welche anhand des Vegetationsangebotes geeignet sind (Büntgen et al., 2017; Parrini et al., 2009; Ratti, 1994). Die Ökologie der Tiere führt zu gut erkennbaren Sommer- und Winterstreifgebieten, zwischen denen die Tiere saisonal migrieren. Die Größe dieser Streifgebiete variiert je nach Saison, Geschlecht und Individuum (Grignolio et al., 2004; Parrini et al., 2003; Scillitani, Sturaro, Monaco, et al., 2012). Innerhalb einer Saison zeigen die Tiere zudem kleinere, kurzfristige Höhenbewegungen, die eine Anpassung an Hitze sind. Alpensteinböcke reagieren sensibel auf Temperaturschwankungen und ziehen sich grade im Sommer bei Hitze in kühlere Lagen zurück (Büntgen et al., 2017; Parrini et al., 2009).

Obwohl das Raumnutzungsverhalten von Steinböcken im Gran Paradiso Nationalpark, im Marmolada Massiv und im SNP mittels Kerndichteschätzer (KDE) gut dokumentiert ist, fehlen vergleichbare Daten für den Schweizer Nationalpark mit der Autokorrelierten Kerndichte (AKDE) Methode (Grignolio et al., 2004; Parrini et al., 2003; Scillitani, Sturaro, Menzano, et al., 2012; Viana et al., 2018). AKDE berücksichtigt im Gegensatz zu KDE die Autokorrelation der Daten und gibt die Raumnutzung genauer an (Noonan et al., 2019). Ältere Methoden unterschätzen den Raumbedarf der Tiere und haben den Standard für das Management der Tierart lange verzerrt (Noonan et al., 2019).

Der Alpenraum erwärmt sich zunehmend, gleichzeitig schreitet die Fragmentierung geeigneter Habitate voran (Gobiet et al., 2014; Jäger, 2021; Marchand et al., 2025). Für die hitzesensible Art wie den Alpensteinbock ist daher ein besseres Verständnis seiner Raumnutzung und Reaktion auf Klimaveränderungen notwendig.

### **1.2 Zielsetzung und Methodisches Vorgehen**

Ziel dieser Arbeit ist es mittels GPS-Telemetriedaten die Raumnutzung von Alpensteinböcken (*Capra ibex ibex*) im Schweizerischen Nationalpark und angrenzenden Tälern zu analysieren. Folgende Fragen stehen dabei im Vordergrund:

1. Wo befinden sich die Sommer- und Wintereinstandsgebiete der besenderten Alpensteinböcke im Schweizer Nationalpark?
2. Wie ist der geschlechterspezifische Größenvergleich der Streifgebiete zwischen Sommer und Winter?
3. Welche Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe der Tiere gibt es?

Dazu wurden die GPS-Daten von N = 31 Individuen über einen Zeitraum von 13 Jahren mittels AKDE (Autokorrelierter Kerndichteschätzung) und einem zentriert gleitenden Mittelwert (Running Mean) in R ausgewertet und in QGIS dargestellt.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Die folgende Arbeit gliedert sich wie folgt: Kapitel 2 behandelt die theoretischen Grundlagen und den Stand der Forschung, Kapitel 3 erläutert die Methodik, Kapitel 4 stellt die Ergebnisse dar, Kapitel 5 diskutiert die Befunde und Kapitel 6 zieht ein Fazit. In Kapitel 7 stehen Infos zur Kenntlichmachung von KI, in Kapitel 8 wird die verwendete Literatur aufgelistet und in Kapitel 9, dem Anhang, die Tabelle aller Streif- und Kerngebiete, das Variogramm je Tier und Saison, die erstellten R-Codes und die Karten der Gebiete aufgeführt.



## 2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung

Im Folgenden werden allgemeine Informationen zum Thema Alpensteinbock, dem Konzept der Streifgebiete und zugehöriger Methoden, wie der Auswertung von Daten in R, erläutert.

### 2.1 Alpensteinbock

Der Alpensteinbock ist das Symboltier der Alpen. Im weiteren Verlauf wird auf seine Systematik und Verbreitung, auf den Lebensraum und auf anthropogene und natürliche Einflussfaktoren der Alpensteinböcke eingegangen.

#### 2.1.1 Systematik und Verbreitung

Alpensteinböcke gehören zur Art *Capra Linnaeus*, 1758 und *Capra* steht im Latein für Ziege, und *ibex* für eine Art Ziege. Die Tiere sind derzeit im Alpenbogen in Zentraleuropa endemisch (Parrini et al., 2009). Der Alpensteinbock stammt ursprünglich aus Asien. Heutige Steinböcke sind kleiner als ihre eiszeitlichen Vorfahren, wobei moderne Männchen in etwa die Körpermaße fossiler Weibchen aus der Würm-Eiszeit erreichen (Parrini et al., 2009). Die Vorfahren des Steinbocks wanderten vor rund 300 000 Jahren, während der Riss-Periode von Zentralasien nach Europa. Gegenwärtig sind mehrere Unterarten, wie der Nubische Steinbock (*Capra ibex nubiana*) oder der Asiatische oder Sibirische Steinbock (*Capra ibex sibirica*) bekannt (Apollonio et al., 2010; Cregut-Bonnoure, 2007).

Durch seine Herkunft und seiner langen evolutionären Geschichte ist der Steinbock gut an kalte Bedingungen angepasst (Ratti & Habermehl, 1977). Die männlichen Tiere werden Bock und die weiblichen Tiere Geißen genannt, Jungtiere sind Kitze (Parrini et al., 2009).

Im Mittelalter wurden dem Alpensteinbock und seinen Körperteilen medizinische Heilkräfte zugeschrieben. Die Anwendung in vielen Volksmedizin führte seit 1500 n. Chr. zu einer starken Bejagung der im Hochgebirge lebenden Huftierart, welche zu einem kontinuierlichen Rückgang der Individuen, bis fast zur Ausrottung, führte. Einzig am Gran Paradiso überlebten in einem königlichen italienischen Jagdgebiet einige hundert Individuen (Apollonio et al., 2010; Parrini et al., 2009; Stüwe & Nievergelt, 1991; von Heintze & Seikel, 2006). In der Schweiz war der Alpensteinbock 1809 ausgestorben. Eine offizielle Anfrage, den Alpensteinbock wieder in der Schweiz einzuführen, wurde Anfang des 20. Jahrhunderts von den italienischen Behörden abgelehnt. Schmuggler brachten 1906 einige Jungtiere in die Schweiz und drei Jahre später war die Reproduktion in einem Zoo ein Erfolg. 1911 wurde eine Kolonie in Graubünden gegründet. Zwischen 1914 und 1928 wurden drei weitere Kolonien gegründet (Apollonio et al., 2010; Giacometti, 1991; Ratti, 1994; Stüwe & Nievergelt, 1991). Da sich die Tiere nicht über weite Bergkämme ausbreiteten, wurden sie gefangen und in andern Gebieten eingeführt (Apollonio et al., 2010). Schmuggler brachten Tiere in verschiedenste Länder (Giacometti, 1991). Seit Mitte des 20. Jahrhunderts werden neue Populationen meistens über Relokation

anderer Tiere eingeführt (Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020; Stüwe & Nievergelt, 1991). Generell steigt die Anzahl an Individuen stetig (Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020). Im Jahr 2023 lebten schätzungsweise 53 000 Individuen in der Freiheit und die IUCN stuft die Art als „Least Concern“ (IUCN, 2023) ein. Heutzutage werden Steinböcke in der Schweiz und in Österreich gejagt um die Populationsgrößen zu regulieren (Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020). Doch die Tiere stehen vor zwei neuen Herausforderungen: der Zerstörung von Lebensraum und der geringen genetischen Variabilität (Stüwe & Nievergelt, 1991). Dies kann zu Schwierigkeiten in der Anpassung, vor allem im Zuge der Klimaerwärmung führen.

### Genetik

Durch den starken Populationsrückgang verläuft die genetische Geschichte der Ibex durch viele Populationsengpässe. Die Erholung der Bestände bestand aus dem erfolgreichen Schutz der letzten Population, der Zucht von Tieren in Gefangenschaft, der Wiedereinführung dieser Tiere in ursprüngliche Lebensräume und der Umsiedlung von erfolgreichen Populationen in unbewohnte Standorte (Stüwe & Nievergelt, 1991). Laut Stüwe & Scribner (1989) und anderen Quellen stammen alle heutzutage lebenden Tiere von circa 100 Individuen aus dem Gran Paradiso Nationalpark ab (Stüwe & Scribner, 1989; von Heintze & Seikel, 2006). Die aktuell vorkommenden Steinbockpopulationen leben voneinander getrennt (Chauveau et al., 2024). Die räumliche Trennung bedingt, dass es keinen genetischen Austausch zu anderen Populationen gibt. Die geringe genetische Diversität der Populationen kann sich als Problem in der Anpassung der Art herausstellen; konkrete Folgen sind noch nicht absehbar (Giacometti, 1991). Dieser Flaschenhalseffekt (Biebach & Keller, 2009) kann den Steinbock im Zuge des Klimawandels vor ein Problem stellen, denn „eine genetische Diversität wird auch bei Wildtieren im Alpenraum erforderlich sein, um Anpassungen an geänderte Lebensraumfaktoren zu schaffen“ (Deutz & Gasteiner, 2024).

### Morphologie

Der Alpensteinbock kann im erwachsenen Alter eine Körperlänge von 150 cm und eine Widerristhöhe von 65 bis 93 cm erreichen. Die Hörner des Alpensteinbocks wachsen ein Leben lang und können 75 bis 102 cm bei den Männchen und bis 35 cm bei den Weibchen lang werden. Das Körpergewicht der Tiere zeigt einen ausgeprägten Geschlechtsdimorphismus, also starke Unterschiede, auf. Männliche Tiere wiegen zwischen 70 und 120 kg, weibliche zwischen 40 und 50 kg. Das Höchstgewicht erreichen die Tiere im November vor der Brunft und das Minimalgewicht Ende des Winters im April. Der Alpensteinbock trägt ein saisonal wechselndes Fell, das sich in der Farbe zwischen Sommer und Winter unterscheidet. Im Winter ist das Winterfell der Tiere gräulich, färbt sich von Mai bis Juni haselnussbraun und im August und September dunkelbraun. Geißen haben im Sommer rötlicheres oder goldbraunes Fell. Männliche Tiere haben kurze Bärte am Kinn, welche bis 10 bis 15 cm lang werden können (Parrini et al., 2009; von Heintze & Seikel, 2006).

### 2.1.2 Lebensraum und Habitatansprüche

Der Alpensteinbock hält sich zwischen 1500 und 3000 m oberhalb der Baumgrenze auf (Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020; von Heintze & Seikel, 2006). Die Tiere bevorzugen alpine Rasen und felsiges Gelände (Grignolio et al., 2004; Grignolio, Rossi, Bassano, et al., 2007). Steinböcke weisen eine große Standorttreue auf, wenn das Gebiet gute Eigenschaften aufweist (Greßmann, 2004). Steinböcke sind physiologisch an das Leben im Hochgebirge unter kalten Bedingungen angepasst (Brivio et al., 2024; Schaumberger et al., 2005). Dabei nutzen Tiere vor allem felsiges Gelände (Brambilla, Bassano, et al., 2020; Eisank et al., 2013; Schaumberger et al., 2005), welche Schutz und Rückzugsmöglichkeiten vor Prädatoren (siehe 2.1.3 Anthropogene und natürliche Einflussfaktoren) bieten (Brambilla, Bassano, et al., 2020; Grignolio, Rossi, Bassano, et al., 2007). Solche Gebiete sind im Winter durch die Erwärmung der Steine schneller schneefrei. Felsige Bereiche werden von den Tieren deshalb in der kalten Saison genutzt, denn die Schneehöhe limitiert die Bewegungsfreiheit der Tiere merklich (Greßmann, 2004). Die Tiere bevorzugen außerdem steile, südexponierte Hänge, da der Schnee dort schneller schmilzt. Bei drohender Gefahr ziehen sich die Tiere in felsiges Gelände zurück (Brambilla, Bassano, et al., 2020; Chauveau et al., 2024; Eisank et al., 2013; Schaumberger et al., 2005). Im Herbst wandern die Tiere weiter in niedrigere Lagen. Dort nutzen sie vermehrt alpine Rasen, die zwar weniger Schutz als felsiges Gelände, dafür mehr Nahrung bieten (Eisank et al., 2013).

#### Nahrung

Der Großteil der Nahrung des Steinbockes besteht mit 60 % aus Gräsern, zu 38 % aus Kräutern und zu 2 % aus Laub. Der Verzehr von Laub und Rinden, insbesondere der von jungen Bäumen, nimmt vor allem im Winter und Frühling zu, da die Vegetation unter einer dicken Schneeschicht liegt (Parrini et al., 2009). Auch Flechten und Moose gehören zur Nahrungsquelle des Steinbockes (Lohmann, 2006). Da er ein Raufutterfresser ist, verbringt er wenige aber dafür lange Perioden mit Futteraufnahme (Brambilla, Bassano, et al., 2020) und legt dazwischen Pausen zum wiederkauen ein (von Heintze & Seikel, 2006). Im Frühling äsen die Tiere noch in den Mittags- und Nachmittagsstunden, während sie im Sommer nur noch in den frühen Morgen- und den späten Abendstunden aktiv sind (Hofmann & Nievergelt, 1972; von Heintze & Seikel, 2006). Steinböcke verbringen die kühleren Vormittage und Nachmittage mit Nahrungssuche (Georgii, 1979; Lohmann, 2006), die wärmeren Mittagsstunden ruhend (Aublet et al., 2009; Mysterud, 1998). Im Sommer und an wärmeren Tagen verbringen die Tiere weniger Zeit mit Nahrungssuche als an kühleren Tagen (Aublet et al., 2009; Parrini et al., 2009). Durch überlappende Nahrungsansprüche mit domestizierten Schafen und Ziegen kann es zu Konkurrenz um Flächen kommen (Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020). Eine Studie zeigt zudem auf, dass der Steinbock auf andere Flächen ausweicht, wenn Schafe aufgetrieben werden (Eisank et al., 2013). Im Durchschnitt verbringt ein männliches Tier 50,9 % des Tages

mit Nahrungsaufnahme, 38,1 % mit Ruhen, 4,8 % mit Stehen, 2,4 % mit bewegen und 3,8 % mit anderem Verhalten (Aublet et al., 2009; Mysterud, 1998).

### Sozialverhalten und Reproduktion

Alpensteinböcke sind eine Huftierart welche polygyn mit ausgeprägtem sexuellem Dimorphismus lebt (Eisank et al., 2013; Grignolio, Rossi, Bassano, et al., 2007; Hindenlang & Nievergelt, 1995). Die Tiere sind an sich gesellig und leben in kleinen Gruppen gleichen Geschlechtes zusammen (Parrini et al., 2009; Viana et al., 2018). Weibliche und männliche Tiere sind das Jahr über getrennt und nur während der Brunft und Paarung im Dezember und Januar zusammen (Brambilla, Bassano, et al., 2020; Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020; Hindenlang & Nievergelt, 1995; Parrini et al., 2009). Brunft und Paarung sind hormonell und von der Länge der Tage abhängig (Deutz & Gasteiner, 2024), dauert in der Regel aber sechs Wochen (Parrini et al., 2009). Beide Geschlechter formen größere Gruppen, während sich bei den Männchen Gruppen jüngerer Tiere bilden und ältere Böcke separate Gebiete nutzen (Parrini et al., 2009; von Heintze & Seikel, 2006). Die geschlechtliche Trennung ist auch von der Population abhängig. In neu eingeführten Populationen können sich eher Gruppen mit gemischten Geschlechtern bilden (Couturier, 1963; Parrini et al., 2009).

Bei männlichen Steinböcken basiert das Sozialsystem auf einer Rangordnung. Diese beruht auf vergangenen Begegnungen und der Hornlänge. Die Hornlänge spiegelt das Alter der Tiere wieder, da die Hörner ein Leben lang wachsen (Nievergelt, 1966). Die Rangordnung wird durch Begegnungen über das Jahr hinweg festgelegt, wodurch es während der Brunft im Dezember und Januar zu keinen größeren Kämpfen kommt (Parrini et al., 2009). Der Dominante Bock umwirbt die Geiß, zieht seine Oberlippe zurück und spielt mit der Zunge (von Heintze & Seikel, 2006). Die Rangordnung wird über den Sommer hinweg durch spielerische Kämpfe festgelegt. Die Tiere richten sich auf ihre Hinterläufe auf und schlagen ihre Hörner gegeneinander um den andern abzudrängen (von Heintze & Seikel, 2006). Männliche Steinböcke zeigen zwei Arten von Aggressivität, die Direkte und die Indirekte. Alle Formen aggressiven Verhaltens treten meistens außerhalb der Brunftzeit auf. Bei indirekter Aggressivität laufen zwei Steinböcke parallel zueinander oder heben ihre Köpfe, um die Körpergröße optisch zu betonen. Direkte Aggressivität ist das Berühren des Anderen mit den Hörnern, das Aufrichten auf die Hinterhufe und das Niederfahren der Hörner auf einen Gegner. Solche Zusammenstöße treten meist zwischen gleichaltrigen Tieren auf und erfordern ein hohes Maß an Synchronisation (Nievergelt, 1966; Parrini et al., 2009). Während der Paarung weisen Böcke zwei Strategien auf: Das Bewachen und Verteidigen („Tending“), was von älteren und stärkeren Böcken gemacht wird. Und das Verfolgen („Coursing“), das bei jüngeren und schwächeren Böcken beobachtet wird, wenn die Weibchen davonlaufen. Im Vergleich zu anderen Huftierarten führt diese energiesparendere Taktik des „Coursing“ zu einer höheren Überlebensrate bei Steinböcken (Willisch & Neuhaus, 2009). Junge Tiere stehen in der Hierarchie weit unten. Subadulte Böcke erreichen die soziale Geschlechtsreife im Alter von 9

Jahren (Brambilla et al., 2022). Eine andere Quelle gibt an, dass dieser Zeitpunkt bei den Böcken ab dem sechsten Lebensjahr beginnt (von Heintze & Seikel, 2006). In den Jahren davor fangen die Tiere an ein verändertes Raumnutzungsverhalten zu zeigen, da sie vermehrt durch die Landschaft ziehen (A. Bognalia & S. Gubler, persönliche Kommunikation, 21. Mai 2026).

Die physische Geschlechtsreife erreichen beide Geschlechter mit bereits 2 bis 3 Jahren schon erheblich früher. Der Zeitpunkt der Erstgeburt bei den Weibchen variiert je nach Populationsdichte. Bei neuen Populationen liegt er bei zwei Jahren, während die Erstgeburt bei dichteren Populationen zwischen drei und vier Jahren liegen kann. Ab einem Alter von drei Jahren reproduzieren sich 87 % der Geißen jährlich bis zu einem Alter von 15 Jahren (Loison et al., 2002). Die Trächtigkeitsdauer liegt bei  $167 \pm 3$  Tagen (Parrini et al., 2009). Weibchen gebären die Kitze spät im Frühling, was gut mit dem Beginn der Vegetationsperiode übereinstimmt (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007; Pettorelli et al., 2007; von Heintze & Seikel, 2006). Eine trächtige Geiß verlässt die Herde kurz vor der Geburt. Sie gebärt das Kitz in steilem, felsigem Gelände, welches Schutz vor Prädatoren und menschlichen Störungen bietet. Jungtiere bleiben das erste Jahr bei den Geißen (Brambilla, Bassano, et al., 2020; Parrini et al., 2009; von Heintze & Seikel, 2006). Heiße Sommer verlangsamen das Wachstum von Kitzen (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007) was auf Hitzesensibilität hindeutet. Mildere Winter führen dazu, dass die ein- bis zweijährigen Jungtiere höhere Überlebenschancen haben (Ratti, 1994). Männliche Tiere werden bis zu 16 Jahre und weibliche bis zu 19 Jahre alt. Im Durchschnitt liegt das Alter bei 8 Jahren, da viele Kitze jung sterben (Chauveau et al., 2025; Parrini et al., 2009; Toïgo et al., 2007).

### Saisonale Streifgebiete (Sommer/Winter)

Die Huftierart zeigt eine ausgeprägte saisonale Änderung im Verhalten (Apollonio et al., 2013). Daraus lassen sich Gebiete erkennen, welche von den Tieren vorwiegend genutzt werden. Dies sind die sogenannten Streifgebiete. Da die Tiere im Frühling und Herbst zwischen den Sommer- und Winterstreifgebiete migrieren (Chauveau et al., 2024), sind diese Streifgebiete räumlich am stärksten ausgeprägt. Zumal Steinböcke die gleichen Gebiete immer wieder nutzen (Greßmann, 2004), wenn diese Eigenschaften wie gutes Nahrungsangebot und felsige Bereiche aufweisen (Parrini et al., 2003). Geißen und Böcke verbringen, bis auf die Brunft, das Jahr über getrennt (Eisank et al., 2013; Hindenlang & Nievergelt, 1995; Parrini et al., 2009). Alpensteinböcke sind an kalte Bedingungen angepasst (Brivio et al., 2024; Ratti & Habermehl, 1977; Schaumberger et al., 2005). Wenn es ihnen zu warm wird, reagieren sie mit einer Verschiebung in höhere Lagen. Die Faktoren Temperatur und Futterangebot sind Hauptfaktoren, die die jährlichen vertikalen Wanderungen der Huftierart beeinflussen. (Chauveau et al., 2025; Hofmann & Nievergelt, 1972; Nievergelt, 1966). Beide Geschlechter passen ihre Aufenthaltshöhe an Nahrungsverfügbarkeit und Wetterbedingungen an (Chauveau et al., 2025; Hofmann & Nievergelt, 1972). Dadurch lassen sich bei Steinböcken klar abgrenzbare Sommer- und Winterstreifgebiete beobachten.

Im Frühling, wenn die Schneedecke kleiner wird, folgen sie dem ersten „Green-up“ der Vegetation in höhere Gebiete (Chauveau et al., 2025). Die Tiere können ihre Bewegungen an die Pflanzenphänologie anpassen (Büntgen et al., 2017) und wandern im Verlauf des Sommers bis auf 3.300m (Parrini et al., 2003). Sie suchen in der warmen Jahreszeit vermehrt schattige Nordseiten oder Altschneefelder auf (Büntgen et al., 2017) und bevorzugen die alpine und subalpine Stufe (Ratti, 1994). Im Jahresverlauf halten sich weibliche Tiere im Frühling in höheren Bereichen auf als männliche Tiere. Die Böcke wandern dann im Sommer in höhere Gebiete im Vergleich zu den Geißen (Anderwald et al., 2024; Büntgen et al., 2017; Herfindal et al., 2019; Mason et al., 2017a; Nievergelt, 1966; Parrini et al., 2003; Viana et al., 2018). Männliche Tiere sind vom Körperbau größer und produzieren mehr Wärme, weshalb sie im Sommer, wenn es wärmer wird, in höhere, kühle Lagen ausweichen. Die Höhenbewegung im Sommer ist eine Anpassungsstrategie an Hitze. Schwerere Tiere wandern bei der gleichen Erwärmung höher als leichte Tiere. Männliche Tiere wandern zum Beispiel am späten Morgen in ein höheres Gebiet und am Nachmittag wieder in ein niedrigeres. Dabei können sie täglich bis zu 800 Meter Höhe überwinden (Aublet et al., 2009). Weibliche Tiere bekommen im Juni die Kitze und kümmern sich um den Nachwuchs. Sie sind deswegen mehr vom steilen, felsigen Gelände abhängig als männliche Tiere (Grignolio et al., 2004). Wenn sie fliehen, ziehen sie sich in diese Gebiete zurück, welche mehr Schutz vor Prädatoren bieten. Säugende Mütter nutzen Gebiete welche halb so groß sein können, wie die von nicht säugende Weibchen (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007; Neuhaus & Ruckstuhl, 2002). Auch Streifgebiete der ursprünglichen Population im Gran Paradiso Nationalpark sind kleiner als jene von ausgesetzten neueren Populationen (Parrini et al., 2003).

Die Rückwanderung von den Sommer- in die Winterstreifgebiete hängt mit mehreren Faktoren zusammen. Einerseits sind es die kühleren Temperaturen (Hofmann & Nievergelt, 1972) und andererseits die ersten Schneefällen und die Bildung einer Schneedecke (Chauveau et al., 2025). Zu der schneereichen Zeit im Winter halten sich die Tiere in niedrigeren Lagen um 1.800m auf (Parrini et al., 2003; von Heintze & Seikel, 2006). Im Winter werden weiterhin steile Gebiete aufgesucht, da dort der Schnee schneller wegschmilzt (Scillitani, Sturaro, Monaco, et al., 2012). Schnee hat eine große Auswirkung auf das Verhalten der Tiere und auf die Population (Jacobson et al., 2004). Eine hohe Schneedecke schränkt die Bewegungsfähigkeit der Tiere ein, wodurch sie kleinere Streifgebiete aufweisen wie im Sommer (Grignolio et al., 2004; Jacobson et al., 2004; Parrini et al., 2003). Streifgebiete der Steinböcke sind jedoch auch immer von saisonalen Bedingungen sowie individuelle Variationen abhängig (Börger et al., 2008).

### 2.1.3 Anthropogene und natürliche Einflussfaktoren

#### Klimawandel

Der Klimawandel schreitet in den Alpen 2 bis 3-mal schneller voran als irgendwo anders (Marchand et al., 2025). Seit dem 20. Jahrhundert wurde ein Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen um 1,5°C aufgezeichnet (Rebetez & Reinhard, 2008). Das Verhalten der im Gebirge vorkommenden Arten wird sich anpassen müssen (Marchand et al., 2025) - die Wanderung in höhere Gebiete wird jetzt schon bei verschiedenen Arten beobachtet (Jäger, 2021). Hitzesensible Huftiere wie der Alpensteinbock wandern im Sommer vertikal in kühlere Gebiete (Aublet et al., 2009). Doch um den steigenden Temperaturen der Klimaveränderung zu entkommen, brauchen Steinböcke auch langfristig kühlere Gebiete (Brivio et al., 2024; Chauveau et al., 2025; Mason et al., 2017a). Kältere Bereiche, wie Gletscher und Altschneefelder, haben in den letzten Jahren stark abgenommen (Spandau & Wilde, 2008) und die Tiere verlagern ihre Aktivitätsphasen, trotz des Prädatoren-Risikos, vermehrt in die kühleren Abendstunden (Brivio et al., 2024). Wie im Kapitel 2.1.1 Systematik und Verbreitung im Bereich Genetik erwähnt, weisen die Steinböcke eine geringe genetische Vielfalt auf. Dies kann im Zuge der Anpassung an den Klimawandel Schwierigkeiten bereiten. Es gibt allerdings noch keine Aussagen dazu, ob ein potenziell zweites Aussterben der Art bevorsteht (Giacometti, 1991). Aktuell ist zu sehen, dass männliche Tiere weniger Körpermasse verlieren, wenn der Frühling früher beginnt, da sie weniger von den Fettreserven zehren und Futter früher verfügbar ist. Durch die Veränderung der Körpermassendynamik könnte es sein, dass Böcke früher fortpflanzungsfähig werden (Brambilla et al., 2024).

#### Prädatoren und Krankheiten

Prädatoren der Huftiere sind vorwiegend große Beutegreifer wie Luchs (*Lynx lynx*), Wolf (*Canis lupus*) und Braunbär (*Ursus arctos*). Da diese in weiten Teilen des Alpenraumes zurückgedrängt wurden, ist ihr Einfluss auf die Steinbockpopulationen heutzutage gering (Amos et al., 2007; Brivio et al., 2024). Steinböcke sterben an Altersschwäche, an Verhungern und an Krankheiten. Durch längere Hörner und den größeren Körper sind männliche Tiere weniger anfällig von Prädatoren gerissen zu werden (Brivio et al., 2024). Heutzutage werden Populationen durch Krankheiten dezimiert (Deutz & Gasteiner, 2024; Schaumberger et al., 2005). Das Ausbrechen der sehr ansteckenden Augeninfektion Keratokonjunktivitis (IKC) kommt bei Hausschafen, Hausziegen und auch in Steinbockkolonien vor und wird durch den Erreger der Gamsblindheit (*Mycoplasma conjunctivae*) verursacht (Giacometti et al., 2002; Parrini et al., 2009). Auch die meist tödlich verlaufende Hautkrankheit Räude ist eine Gefahr für den Steinbock (Amos et al., 2007). Die Gefahr der Verbreitung auf andere Alpensteinbockkolonien ist eher gering, da diese durch tiefe Täler und auch menschliche Infrastruktur getrennt sind. Ein Problem der Huftierart kann die geringe genetische Diversität sein, denn alle heute lebenden Tiere stammen von wenigen hundert Individuen ab (Giacometti, 1991). Natürliche Bedrohungen wie Lawinen

führen zu einzelnen toten Tieren, aber keinen großen Schwankungen in der Population (Jacobson et al., 2004). Der Alpensteinbock wird als nicht gefährdet (Least Concern) der IUCN Roten Liste eingestuft. Der Bestand hat sich von wenigen 100 Individuen auf über 50 000 Tiere im Alpenbogen erholt. Tiere in großen Populationen, mit über 50 Individuen dürfen in Schweiz, Österreich, Liechtenstein und Slowenien zur Regulierung der Bestände bejagt werden (IUCN, 2023).

### Schlagschäden

Verbiss, sowie das Reiben des Gehörnes an Bäumen, führt zu Schäden an Aufforstungsprojekten, die dem Lawinenschutz dienen. Überweidung von alpinen Weiden kann deren landwirtschaftlichen Wert beeinflussen (Stüwe & Nievergelt, 1991), wobei Steinböcke Gebiete meiden, auf denen domestizierte Tiere grasen (Eisank et al., 2013). Vermehrte Trittbelastung kann zu Bodenerosion in sensiblen Gebieten führen (Hofmann & Nievergelt, 1972). Das Aussetzen von Steinböcken in Gebieten mit hohem Waldanteil kann die Waldentwicklung beeinträchtigen (Giacometti, 1991), denn durch die Nutzung des Waldes als Futter kommt es zu Schlag- und Verbissschäden (Amos et al., 2007; Schaumberger et al., 2005).

### Tourismus

Je dichter das Wegenetz im Lebensraum der Steinböcke ist, desto stärker sind die negativen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Tiere (Eisank et al., 2013). Wenn Menschen den Tieren zu nahe kommen, bauen diese mehr Distanz auf. Das Mitführen von Hunden, sowie der Nutzung von Drohnen oder Gleitschirmfliegern, verstärken das Fluchtverhalten der Tiere (Ingold, 2005). Gerade ältere Alpensteinböcke halten sich näher an Wanderwegen auf als jüngere Böcke (Grignolio, Rossi, Bassano, et al., 2007).

## **2.2 Konzept Home Range / Streifgebiet**

### **2.2.1 Definition**

Der Begriff Home Range, im Deutschen Streifgebiet, wurde im Englischen von H. Burt 1943 geprägt. Home Ranges sind „*the area traversed by the individual in its normal activities of food gathering, mating, and caring for young. Occasional sallies outside the area, perhaps exploratory in nature, should not be considered*“ (Burt, 1943). Streifgebiete sind demnach die Bereiche, welche bei Aktivitäten wie Äsung, Paarung und Jungtieraufzucht genutzt werden (Burt, 1943), sowie Bereiche welche ein Individuum im Alltag regelmäßig aufsucht (Börger et al., 2008). Wenn Gebiete geeignet sind, werden diese immer wieder von Tieren genutzt (Börger et al., 2008; Großmann, 2004). Das biologische Konzept Streifgebiet unterscheidet sich vom Konzept des Territoriums (Hayne, 1949). Ein Territorium kann ein kleiner Teil des Streifgebietes sein. Die Territorien werden zum Beispiel mit Geruchsmarkierungen oder aggressivem Verhalten verteidigt (Boitani & Fuller, 2000; Börger et al., 2008). Diese



theoretische Definition bildet die Grundlage für die später entwickelten Schätzmethoden zur Berechnung der Streifgebiete.

### 2.2.2 Schätzmethoden Streifgebiet (MCP, KDE, AKDE)

Das Konzept des Streifgebietes (engl. Home Range) wurde später durch statistische Methoden präzisiert. Wenn ein Tier Anzeichen für einen festen Standort zeigt, ist es sinnvoll dies mit verschiedenen Methoden genauer zu analysieren. Wenn es keine Anzeichen für Standorttreue zeigt, sind Streifgebietsverfahren nicht geeignet, um Aussagen über das Verhalten des Tieres treffen zu können (Noonan et al., 2019). Hier ist eine Übersicht über eine Auswahl möglicher Methoden mit Jahr, Methodenname, dem Autor und dem Kürzel (siehe Tabelle), welche entwickelt wurden. Man sieht, dass sich die Methoden über die Zeit immer stärker an statistische Eigenschaften und an Bewegungsdaten angepasst haben. Im Weiteren wird wegen des großen Umfangs nur auf MCP, KDE und AKDE genauer eingegangen.

*Tabelle 1 Übersicht Methoden zur Berechnung von Streifgebieten nach Jahr, Methode, Autor und Kürzel sortiert (eigene Darstellung)*

| <b>Jahr</b> | <b>Methode</b>                 | <b>Autor</b>                | <b>Kürzel</b> |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1943        | Definition Home Range          | Burt                        | –             |
| 1947–1949   | Minimum Convex Polygon         | Mohr; Hayne                 | MCP           |
| 1969        | Bivariate Normal Ellipse       | Jennrich & Turner           | BNE           |
| 1980        | Harmonic Mean Estimator        | Dixon & Chapman             | HME           |
| 1989        | Kernel Density Estimation      | Worton                      | KDE           |
| 2004/2007   | Local Convex Hull              | Getz & Wilmers; Getz et al. | LoCoH         |
| 2007        | Brownian Bridge Movement Model | Horne et al.                | BBMM          |
| 2012        | Dynamic BBMM                   | Kranstauber et al.          | dBBMM         |
| 2015/2017   | Autocorrelated KDE             | Fleming et al.              | AKDE          |

Das Minimum Convex Polygon (MCP) beschreibt die Methode, welche das kleinste mögliche Streifgebiet erzeugt (Hayne, 1949). MCP ist ein geometrischer Ansatz, welcher kein zugrunde liegendes Wahrscheinlichkeitsmodell hat (Fleming et al., 2015). Dabei können alle oder X % der Datenpunkte verwendet werden (Noonan et al., 2019). Das Ergebnis hängt jedoch stark von der Anzahl an Datenpunkten ab, gerade bei kleinen Stichproben (Börger et al., 2006; Worton, 1987). Dabei können unvorhersehbare Ergebnisse erzeugt werden, welche stark

stichprobenabhängig sind. MCP wird von einigen Studien als ineffizient bewertet (Börger et al., 2006), gilt jedoch bei kleinen Datenmengen als robuster im Vergleich zu KDE (Mayer et al., 2019). MCP ist mit dem im R-Paket *adehabitat* erzeugbar (Noonan et al., 2019).

Kerndichteschätzung, englisch Kernel Density Estimation (KDE) wurde für die mathematische Statistik entwickelt. KDE wird eingesetzt, um eine Verteilung aus Daten zu schätzen ohne ein festes parametrisches Modell, wie Normalverteilung zu benutzen. Jedem Datenpunkt werden Kernel-Funktionen (oft Gauß-Kurven) zugewiesen und aufsummiert. Rosenblatt führte 1956 den ersten Kerndichteschätzer ein (Rosenblatt, 1956) und Parzen gab 1962 der Methode eine theoretisch saubere Grundlage (Parzen, 1962). 1989 wurde die Kerndichteschätzung (KDE) in der Ökologie eingeführt (Worton, 1989). Worton (1989) beschreibt, dass jedem Punkt eine Kerndichtefunktion zugewiesen wird. Die verschiedenen Punkte mit KDE überlagern sich und ergeben eine kontinuierliche Dichtekarte. Diese Dichtekarte gibt die zweidimensionale Aufenthaltsverteilung an. Sie wird im Englischen utilization distribution function (UD) genannt (Worton, 1987). Konturlinien, sogenannte Isoplethen, definieren meist mit 95 % den gesamten Streifbereich und mit 50 % den Kernbereich (Worton, 1989). Der Smoothing-Parameter  $h$ , also die Bandbreite, muss eingestellt werden und ist ein kritischer und subjektiver Teil der Arbeit. Im R-Paket *adehabitatHR* ist dies unter der Auswahl  $h\_ref$  (Referenzbandbreite), LSCV (Least Squares Cross-Validation) einstellbar. Die verbreitete LSCV-Methode zur Auswahl der Bandbreitenwahl unterglättet die Streifgebiete gerade bei autokorrelierten GPS-Datensätzen (Fieberg, 2007). Dadurch entstehen verzerrte Gebiete (Fieberg, 2007; Fleming et al., 2015). Klassische KDE unterliegen der Annahme, dass unabhängige Datenpunkte vorliegen (Fieberg, 2007). Tierbewegungsdaten sind jedoch, gerade bei moderneren und regelmäßigen Aufzeichnungen, meistens autokorreliert und damit abhängig (Fleming et al., 2015).

MCP und KDE gehen also von unabhängigen und identisch verteilten (independently and identically distributed (IID)) Daten aus (Silva et al., 2022). Da klassische KDE nicht für die Verwendung von Tierbewegungsdaten entwickelt wurden, stellte 2015 Fleming et al. AKDE, Autocorrelated Kernel Density Estimation, die Autokorrelierte Kerndichteschätzung, vor. Diese Weiterentwicklung der KDE berücksichtigt die Autokorrelation von GPS-Datensätzen (Fleming et al., 2015). Autokorrelation bedeutet, dass die Daten eines Individuums mit den Daten aus der Vergangenheit korreliert sind und dies auch in Zukunft sein werden. Dabei geht es um die Position, die Geschwindigkeit oder die Beschleunigung eines Individuums. Da Bewegungen von Tieren einen kontinuierlichen Prozess darstellen, sind die daraus resultierenden Daten in der Regel autokorreliert (Fleming et al., 2015; Rooney et al., 1998). Autokorrelation nimmt ab, je weiter die Beobachtungszeiträume auseinander liegen (Fleming et al., 2015). Doch manche Studien zeigen, dass auch mit nur einem Punkt pro Woche (Rooney et al., 1998) oder 8 Punkten pro Jahr die Daten voneinander abhängig sind (McNay et al., 1994). Autokorrelation der Daten variiert je nach Länge der Untersuchung und Abstand der gemessenen Punkte (Hansteen et al., 1997). Das Streifgebiet wird, wie bei klassischen KDEs auch, mit 95 % aller

Aufenthaltsstandorten definiert. Jedoch wird bei AKDE, um die Tierbewegungen besser zu berechnen, verschiedene Zeitreihenmodelle verwendet. Dadurch wird ein angepasster Kernel-Schätzer berechnet, welcher nicht durch die Autokorrelation verzerrt wird (Fleming et al., 2015). Doch bei schlecht angepassten Bewegungsmodellen oder bei kleinen Stichproben kann AKDE Gebiete auch verzerren (Silva et al., 2022). Eine sorgfältige Modellselektion und ausreichende Datenmengen sind wichtig (Silva et al., 2022). Streifgebiete, welche mit AKDE berechnet wurden, sehen im Vergleich zur KDE-Methode größer aus. Das liegt daran, dass bei AKDE mithilfe des verwendeten Bewegungsmodells auch Bereiche berücksichtigt werden, in denen das Individuum zwar nicht gemessen wurde, aber sich aufgrund der individuellen Bewegungstendenzen langfristig dort aufhalten könnte. Denn ein Streifgebiet (vgl. Definition nach Burt, 1943) besteht nicht nur aus den gemessenen Datenpunkten, sondern es werden langfristige Raumnutzungsangewohnheiten der Tiere berücksichtigt (Fleming et al., 2015). AKDE ist mit dem R-Paket *ctmm* anwendbar (Fleming & Calabrese, 2017, 2026).

### 2.3 Statistische Datenauswertung mit R

Für die Auswertung von Tierbewegungsdaten haben sich in R verschiedene Packages etabliert, die jeweils unterschiedliche Aspekte abdecken. R ist eine frei verfügbare Programmiersprache, welche sich besonders für statistische Analysen eignet. Freiwillige können R weiterentwickeln und eigene Pakete mit verschiedenen Funktionen bereitstellen (Crawley, 2012). Das R-Paket *adehabitat* ermöglicht MCP- und KDE-Habitatanalysen (Calenge, 2006) und zählt zu den älteren, aber weitverbreiteten Paketen. Inzwischen wird *adehabitat* vermehrt durch *adehabitatHR* und *ctmm* ersetzt. Das R-Paket *ctmm* analysiert GPS-Daten als kontinuierlichen stochastischen Prozess und berechnet darauf basierend die Streifgebiete mittels AKDE. Es gilt aktuell als zentrales Werkzeug für diese Art der Analyse (Calabrese et al., 2016). Klassische und oft verwendete KDE unterschätzt bei hochauflösenden GPS-Daten die Streifgebiete systematisch, weshalb AKDE mit dem R-Paket *ctmm* der aktuelle Standard ist (Silva et al., 2022).

### 2.4 Vergleich mit bisherigen Studien

Die folgenden Studien werden aufgezeigt um vergleichbare Größen von Streifgebieten, Definitionen von Saisonen oder Ergebnisse zu Höhennutzung heranzuziehen.

#### 2.4.1 Streifgebiete

Studien, die das Raumnutzungsverhalten von Alpensteinböcken untersuchen, verwenden Verfahren wie KDE, MCP oder Cluster-Schätzung. Diese Zahlen liefern erste Einblicke in das Größenverhältnis zwischen weiblichen und männlichen Tieren und zwischen den Sommer- und Wintersaisonen. Andere Studien weisen darauf hin, dass die Verwendung von autokorrelierten Daten bei Methoden wie KDE und MCP die Streifgebiete unterschätzt

(Fleming et al., 2015; Noonan et al., 2019; Silva et al., 2022). Vergleichende Studien über die Raumnutzung der Huftiere mit AKDE gibt es noch nicht. Beim Vergleich der Ergebnisse im Diskussionsabschnitt (siehe Kapitel 5.1 Interpretation der Sommer- und Winterstreifgebiete) sollte dies berücksichtigt werden. Tabelle (siehe Tabelle 2) fasst die Streifgebietsgrößen der genannten Studien nach Methode, Geschlecht und Saison zusammen.

*Tabelle 2 Vergleichende Studien nach Namen der Studien, genutzte Methode, Geschlecht der Tiere, Saison, Größe der Gebiete in ha und Anmerkungen gelistet (eigene Darstellung)*

| Studie                                     | Methode               | Geschlecht              | Saison | Größe (ha)                                                   | Anmerkung                                                      |
|--------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Parrini et al., 2003                       | KDE 95 %              | Männlich                | Jahr   | 430 – 467 ± 52,4 – 130,1<br>(variiert je Jahr 1995 bis 1997) | Durchschnittliche Jahres Werte                                 |
| Parrini et al., 2003                       | KDE 95 %              | Männlich                | Sommer | 175 – 300                                                    | Aus Grafik abgelesene Werte                                    |
| Parrini et al., 2003                       | KDE 95 %              | Männlich                | Winter | 50 - 75                                                      | Aus Grafik abgelesene Werte                                    |
| Grignolio et al., 2004                     | KDE 95 %              | Weiblich                | Sommer | 147,4 - 263,0 ± 91,8 – 42,7                                  | (variiert je Jahr 2000 bis 2002)                               |
| Grignolio et al., 2004                     | KDE 95 %              | Weiblich                | Winter | 35,8 – 95,2 ± 13,4 – 32,7                                    | (variiert je Jahr 2000 bis 2002)                               |
| Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007 | KDE 95 %              | Weiblich, mit Jungtier  | Sommer | ~71–161                                                      | (variiert je Jahr 2002–2004)                                   |
| Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007 | KDE 95 %              | Weiblich, ohne Jungtier | Sommer | ~197–237                                                     | (variiert je Jahr 2002–2004)                                   |
| Scillitani, Sturaro, Monaco, et al., 2012  | MPC, Cluster-Schätzer | Männlich                | Jahr   | 194,0<br>(Unterschied 11,9-1612,0 ha)                        | Hohe individuelle Variation durch neue umgesiedelte Population |

Die Studie von Parrini et al., 2003 untersucht das räumliche Verhalten erwachsener männlicher Steinböcke im Gran Paradiso National Park. Sommer wird von Juni bis August und Winter von Dezember bis Februar definiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die natürlich vorkommende Population kleinere Streifgebiete als die wiederangesiedelten Populationen nutzt und dass die Tiere im Sommer größere Streifgebiete als im Winter beanspruchen. Im Winter ist die Bewegung der Tiere durch den Schnee eingeschränkt (Parrini et al., 2003).

Die Studie von Grignolio et al. (2004) untersucht die Raumnutzung weiblicher Steinböcke in Verbindung mit Klimabedingungen und dem Alter. Die Ergebnisse zeigen, dass die natürlich vorkommende Population kleinere Streifgebiete nutzt als wiedereingeführte und umgesiedelte Populationen. Das räumliche Verhalten wurde von den klimatischen Bedingungen beeinflusst, insbesondere war die Schneedecke im Winter und die Temperatur im Sommer ein wichtiger Faktor (Grignolio et al., 2004).

Die Studie von Grignolio et al. (2007) beschäftigt sich mit dem Einfluss des Jungtiers auf die Raumnutzung und Habitatwahl weiblicher Alpensteinböcke. Sommer wird dabei von Juni bis August und Winter von Dezember bis Februar definiert. Die Streifgebiete von Geißen mit Jungtieren sind kleiner als die nicht tragender Weibchen. Die Gebiete säugender Weibchen können halb so groß sein wie die nicht-säugender Weibchen (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007).

In der Studie von Scillitani et al. (2012) werden Faktoren untersucht, welche die Streifgebietsgröße männlicher Steinböcke beeinflussen. Sommer wird dabei von Juni bis August und Winter von Dezember bis Februar definiert. Eine Saison zählt als vollständig, wenn es mindestens 10 GPS-Lokationen pro Saison gibt. Neu umgesiedelte Steinböcke nutzen größere Streifgebiete als die ursprüngliche Population am Gran Paradiso (Scillitani, Sturaro, Monaco, et al., 2012).

### **2.4.2 Höhennutzung**

Die durchschnittliche Höhe von erwachsenen männlichen Tieren liegt im Sommer bei 2150 m und im Winter bei 2700 m (Parrini et al., 2003). Herfindal et al. (2019) untersuchen, wie sich Klima, Konkurrenz und Wetterbedingungen auf die vertikale Verteilung und Habitatnutzung von Steinböcken auswirken. Die Ergebnisse zeigen, dass Wetterbedingungen die Landschaftsnutzung der Tiere maßgeblich verändern. Diese Wetterbedingungen können kurz- oder langfristig sein. Aufgrund seiner Ökologie ist zu erwarten, dass der Steinbock besonders im Frühling und Sommer auf Temperaturveränderungen reagiert. Er nutzt ab Frühling bis Herbst höhere Lagen und im Winter tiefere Lagen. In der Studie wurde mit einer Gaußschen Fehlerstruktur die Höhennutzung der Steinböcke modelliert. Die Höhenlage und Habitatnutzung weisen große Schwankungen im Jahresverlauf auf. Dabei gibt es auch einen Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Tieren. Die Böcke halten sich im Winter leicht über den Geißen auf (~ 2300 m), haben dann eine stärkere Abwärtsbewegung im

Frühjahr (auf ~ 2200 m), bevor sie im Sommer in leicht höhere Gebiete als die weiblichen Tiere wandern (~ 2600 m). Weibliche Tiere halten sich im Winter im Vergleich in niedrigeren Lagen auf (~ 2270 m), weisen keine Abwärtsbewegung im Frühling auf und sind im Sommer in deutlich höheren Gebieten als im Winter (~ 2570 m) aber leicht unterhalb der Böcke. Beide Geschlechter reagieren auf Wetter und Klima, besonders während der Sommersaison, und passen ihre Höhenlage entsprechend der Temperatur an (Herfindal et al., 2019). Frühere Studien zeigen dieses Muster auch bei anderen alpinen Huftieren auf. Steinböcke vermeiden Hitze, indem sie in höhere und kühlere Lagen wandern (Herfindal et al., 2019; Mason et al., 2017b). Auch intra- und interspezifische Konkurrenz beeinflusst das Verhalten von Huftieren (Ferretti et al., 2011; Herfindal et al., 2019; Mason et al., 2017a). Diese dokumentierten Zusammenhänge zwischen Temperatur und Höhennutzung bilden die theoretische Grundlage für die in diese Arbeit untersuchte Korrelation zwischen Aufenthaltshöhe und Temperatur bei den Alpensteinböcken.

### 3 Materialien und Methodik

Im folgenden Kapitel wird das Untersuchungsgebiet beschrieben, die Datengrundlage und Datenaufbereitung, sowie die methodische Auswertung und Berechnung der Streifgebiete und der Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe in R.

#### 3.1 Untersuchungsgebiet

Der Schweizer Nationalpark (SNP) liegt zentral im Alpenbogen (46.65° N, 10.17° E). Die Untersuchung erfolgte von besenderten Alpensteinböcken vorwiegend im Bereich des Schweizer Nationalparks. Da sich die Tiere nicht an strenge Parkgrenzen halten, ist das Untersuchungsgebiet nicht eindeutig abgrenzbar. Das Val Trupchun und angrenzende Täler gilt jedoch als Kerngebiet der besenderten Population. Der SNP liegt im Kanton Graubünden und grenzt an den italienischen Nationalpark Stilfserjoch, Parco Nazionale dello Stelvio an. Die Schweizer Seite des Parks ist 170km<sup>2</sup> groß. Er wurde 1914 gegründet und ist damit der älteste Nationalpark der Alpen (Schweizerischer Nationalpark, 2026a). Heute wird der SNP von der internationalen Naturschutzunion IUCN als Reservat der Kategorie 1a (höchste Schutzklasse, Wildnisgebiet) eingestuft (Sekretariat Schweizer IUCN Komitee, 2026). Seit 2021 ist der SNP zudem auf der Grünen Liste der IUCN gelistet, welche vorbildliches Management, gute Naturschutzarbeit und den Verzicht auf menschliche Eingriffe in natürliche Prozesse auszeichnet (©IUCN, 2026). Das Betreten im Winter ist nicht gestattet. Auch Hunde dürfen nicht in das Gebiet gebracht werden. Es gibt ein vorgegebenes Wegenetz von 100 Kilometer Länge und ausgewiesene Rastplätze welche nicht verlassen werden dürfen (Schweizerischer Nationalpark, 2026a).

In den anfänglichen Jahren fehlten Huftierarten wie Alpensteinbock und Hirsch in dem Gebiet komplett. Dieser wildtierarme Zustand änderte sich erst über die Jahre hinweg. Zwischen 1920 und 1934 wurden Alpensteinböcke wieder in dem Gebiet eingeführt und siedelten sich erfolgreich an (Hofmann & Nievergelt, 1972). Mittlerweile ist das Tal für die Koexistenz von verschiedenen Huftieren wie Gämse (*Rupicapra rupicapra*), Rothirsch (*Cervus elaphus*) und Alpensteinböcken (*capra ibex ibex*) bekannt (Schweiger et al., 2015). Natürlich vorkommende Prädatoren der Huftiere wie der Wolf (*Canis lupus*), der Braunbär (*Ursus arctos*) und der Luchs (*Lynx lynx*) fehlten lange in dem Gebiet (Hofmann & Nievergelt, 1972) und die Populationen der Huftiere konnten dadurch zunehmen. Braunbär und Wolf sind mittlerweile auf natürliche Weise wieder eingewandert (Schweizerischer Nationalpark, 2026b). Im gesamten Park erfolgt keine Bejagung der Tierbestände (Anderwald et al., 2024).

Der gesamte Parkt geht von circa 1 380 m (Clemgia/Scuol) bis 3 173 m (Piz Pisoc) südlich von Scuol. Das Tal Trupchun geht von circa 1 700 m bei Varusch am nordwestlichen Ende des Tales bis circa 3 100 m bei Piz Chaschauna im Süden an der Grenze zu Italien. Die Vegetation besteht zu 28 % aus Wald, 21 % alpine Matten und zu 51 % vegetationsfreiem Geröll und Fels

(Anderwald et al., 2024; Schweizerischer Nationalpark, 2026a). Die Vegetationsperiode im Tal geht von Mai bis Mitte September (Schweiger et al., 2015). Die Baumgrenze liegt zwischen 2 100 und 2 200 m (Menzinger, 2018).

Über den Zeitraum der vorhandenen Daten (2007 bis 2019) war die durchschnittliche Wintertemperatur bei -7,45 °C und die durchschnittliche Sommertemperatur bei 10,47 °C. Der tägliche Niederschlag liegt im Winter bei 1,22 mm und bei 3,49 mm im Sommer. Die Werte werden an der Station Buffalora auf 1.968 m, direkt außerhalb der Schutzgebietsgrenzen gemessen (Herfindal et al., 2019; MeteoSwiss, 2026).

### 3.2 Datengrundlage

Die bereitgestellten Daten vom Schweizerischen Nationalpark umfassen die GPS-Daten mit dem Dateiname *ibex\_gps\_snp*. In der Datei sind unter anderem die Tier-ID, die x und y-Werte im WGS 84 und im LV 95 System, sowie die Höhe ü. NN enthalten. In einer weiteren Datei, *template\_deployment\_ibex\_gps\_snp* sind die Tier-ID, das Geburtsjahr, das Geschlecht, der Startzeitpunkt, das Enddatum sowie der sogenannte End Development Code dokumentiert, der den Grund für das Ende der Besenderung angibt. Die Datenerhebung mittels GPS führte der Schweizer Nationalpark aus. Hierzu wurden von 15.05.2007 bis 21.06.2019 17 Steinböcke und 14 Steingeißen betäubt und besendert. Das GPS-Aufzeichnungsintervall, wie oft ein Punkt erfasst wurde, variiert je Tier. Einige GPS-Halsbänder sendeten achtmal am Tag, andere stündlich, in seltenen Fällen alle zehn Minuten. Über den Zeitraum wurden 189 363 Datensätze erfasst.

Von der Wetterstation Buffalora stehen online die historischen Werte seit 1917 *ogd-smn\_buf\_d\_historical* und stündliche Messwerte in den zwei Dateien *ogd-smn\_buf\_h\_historical\_2000-2009* und *ogd-smn\_buf\_h\_historical\_2010-2019* zur Verfügung. Die Temperaturdaten wurden bei der Station Buffalora direkt außerhalb des Schweizer Nationalparkes erfasst.

### 3.3 Datenaufbereitung

Die ersten Aufbereitungen der Daten erfolgen in Excel, da die Daten darüber bereitgestellt werden. Dies beinhaltet die Anpassung des Datumsformates von zum Beispiel 2009-07-06T15:07:21Z auf getrennte Spalten im Format 06.07.2009 und 15:07. Die GPS-Daten wurden zusätzlich im WGS 84 System von zum Beispiel 10.082.716.796.965 zu 10,082716797 und im LV 95 System von 28.025.045.388.153 zu 2,802504539 geändert. Dabei verändert die Formel `=NUMBERVALUE(LEFT(CONCAT(TEXT(M54;"#####");"0000");15))/10000000000000` den Datensatz so, dass Nachkommastellen entfernt werden.



Mit der Formel `=VLOOKUP(J54;'ogd-smn_buf_d_historical'!$B:$E;2)` wurden die GPS-Punkte der einzelnen Tiere mit *tre200h0*, welche die Lufttemperatur 2 m über dem Boden im Stundenmittel angibt, verknüpft.

Die Daten enthalten Ausreißer, welche sich dadurch äußern, dass Höhendaten der GPS-Sender Werte wie 7471, 71, -80 und -20000 anzeigten. Im Rahmen der Datenbereinigung werden GPS-Punkte, welche außerhalb des Höhenbereiches von 1 700 m bis 3 200 m liegen, entfernt. Die Zahlen geben die natürlichen Grenzen der Täler an und die restlichen Werte werden als Messfehler gesehen.

### 3.4 Statistische Auswertung in R

Veröffentliche Artikel, wie der von Silva et al. (2022), werden herangezogen, um Hinweise auf Verarbeitungsarten der GPS-Daten zu bekommen. Die statistische Auswertung der GPS-Punkte wird in R vorgenommen. Da zu Beginn der Arbeit keine Kenntnisse in R vorhanden waren, wurde zusätzlich zur Literaturrecherche die KI Claude unterstützend beim Schreiben des R-Codes am 25.03.2026, 30.03.2026 und 08.04.2026 genutzt. Sowie bei der Erstellung des R-Codes für die Berechnung der Korrelation zwischen Temperatur und Höhe am 07.04.2026, 19.04.2026 und 21.05.2026.

#### 3.4.1 Saisonale Streifgebiete Sommer und Winter

Die Alpensteinböcke sind vorwiegend in den Sommersaisons in höheren Lagen und im Winter in tieferen Gebieten. Durch diese saisonale Anpassung migrieren sie im Frühling und im Herbst. Im Sommer und im Winter sind die Tiere in saisonalen Streifgebieten relativ lokal. Im Vergleich zum Frühjahr und Herbst zeigen die Steinböcke zu der Zeit sesshaftes Verhalten, wodurch sich diese Zeiten eignen, um Aussagen über ihre Kerngebiete und saisonale Streifgebiete zu treffen.

Die Definition der Jahreszeiten erfolgte durch Literaturrecherche anderer Studien. Dabei wurden Suchbegriffe wie „*capra ibex*“, „Home Range“ und „Analyse Streifgebiete“ in Suchmaschinen wie Google Scholar eingegeben, um Studien zu finden. Mittels der dort genannten Quellen konnten andere Studien, oder Primärquellen gefunden werden. Eine Studie welche im Val Trupchun über die vertikal Verschiebung der Steinböcke (Herfindal et al., 2019) berichtet, bezeichnet Sommer von Anfang Juni bis Ende August und Winter von Anfang Dezember bis Ende März. Die Studie begründet, dass bis Mitte April meistens noch Schnee liegt, jedoch mit hoher räumlichen Variabilität (Herfindal et al., 2019). Die Studie zu Faktoren, welche die Streifgebietgröße von männlichen Steinböcken beeinflusst (Scillitani, Sturaro, Monaco, et al., 2012), sowie das räumliche Verhalten von männlichen Steinböcken (Parrini et al., 2003), bezeichnen die Sommersaison von Anfang Juni bis Ende August und den Winter von Anfang Dezember bis Ende Februar. Die Studien dienen als Definitionsgrundlage der Saisonsen.

Damit die gleiche zeitliche Länge der Saisonen gegeben ist, umfassen beide Saisonen in der folgenden Untersuchung drei Monate. Damit sind die beiden Saisonen hinsichtlich ihrer Länge besser vergleichbar. Sommer ist demnach von 01.06. bis 31.08. und Winter von 01.12. bis 29.02. des nächsten Jahres.

*Tabelle 3 Definition Sommer- und Wintersaison (eigene Darstellung)*

| <b>Sommer</b>   | <b>Winter</b>      |
|-----------------|--------------------|
| 01.06. – 31.08. | 01.12. – 28/29.02. |

Nach Chan et al. (2022), welche das Streifverhalten asiatischer Elefanten untersuchen, gilt eine Saison als vollständig, wenn an 60 aufeinanderfolgenden Tagen ein GPS-Punkt vorliegt. Damit keine zu kleinen Datenreihen (Silva et al., 2022) zur Berechnung verwendet werden, wurde definiert, dass an mindestens 60 Tagen in einer Saison ein GPS-Punkt vorliegen muss, damit die Saison als gültig gilt. Dieser methodische Transfer von einer anderen Tierart wird gewählt, denn eine Studie über Steinböcke von Scillitani, Sturaro, Monaco, et al. (2012) gibt an, dass mindestens 10 GPS-Punkte vorliegen müssen, damit eine Saison als gültig zählt. Bei den zeitlich hochaufgelösten Daten des SNP ist diese Grenze zu niedrig angesetzt, weshalb auf Studien zu andern Säugetierarten zurückgegriffen wird.

### 3.4.2 Berechnung Streifgebiete

Die Berechnung der saisonalen Streif- und Kerngebiete der Alpensteinböcke erfolgte nach der von Fleming et al. (2015) und Silva et al. (2022) beschriebenen Methodik mittels Autokorrelierter Kerndichteschätzung Autocorrelated Kernel Density Estimation (AKDE). Alle Analysen wurden in R (Version 4.5.2, R Core Team 2025) unter Verwendung der Pakete *ctmm* (Calabrese et al., 2016), *readxl*, *lubridate*, *dplyr*, *sf* und *ggplot2* durchgeführt. Der vollständige R-Code befindet sich im Anhang.

Die aufbereiteten GPS-Daten wurden als *xlsx*-Datei eingelesen. Die für die AKDE-Berechnung benötigten Spalten, Tier-ID, Zeitstempel sowie x- und y-Koordinaten im Schweizer Landeskoordinatensystem LV95 (EPSG:2056), wurden extrahiert. Die ursprünglich getrennten Felder Datum und Uhrzeit wurden zu einem vollständigen POSIXct-Zeitstempel (Zeitzone: Europe/Zurich) zusammengeführt. Anschließend wurden die Koordinaten vom Schweizer Referenzsystem LV95 in das geographische Koordinatensystem WGS84 (EPSG:4326) transformiert, da das R-Paket *ctmm* dieses als Eingabeformat erfordert. Messpunkte außerhalb des geographisch plausiblen Bereichs der Schweiz (Länge: 5.9°–10.6° E, Breite: 45.8°–47.9° N) wurden als räumliche Ausreißer identifiziert und aus dem Datensatz entfernt.

Die Datensätze wurden anschließend nach definierten saisonalen Zeitfenstern gefiltert. Als Sommer wurden die Monate Juni bis August (01.06.–31.08.), als Winter die Monate Dezember

bis Februar des Folgejahres (01.12.–28./29.02.) definiert. Diese Abgrenzung orientiert sich an den klimatisch und biologisch charakteristischen Phasen im alpinen Raum. Um eine hinreichende Datengrundlage für eine statistisch belastbare Schätzung zu gewährleisten, wurden ausschließlich Saisonsen berücksichtigt, in denen GPS-Ortungen an mindestens 60 verschiedenen Tagen vorlagen. Saisonsen mit geringerer Datendichte wurden von der Analyse ausgeschlossen.

AKDE berücksichtigt die zeitliche Korrelation der Datensätze. Zeitliche Abhängigkeit der Daten kommt vor allem dann vor, wenn stündlich gemessen wird; bei vier Messungen am Tag kann der Abstand bereits über der Dekorrelationszeit liegen. Aus diesem Grund wurde im R-Code mit *ctmm* gearbeitet und ein Abschnitt eingefügt, welche mit *ctmm.select()* Modelle mit und ohne Autokorrelation vergleicht. Die Ausgabe wurde pro Tier als Variogramm dargestellt (siehe Anhang Variogramm), welches visuell anzeigt, ob ein Tier autokorrelierte Daten aufweist.

Für jede valide Saison wurde ein Telemetrie-Objekt im Movebank-Format erstellt und mittels Variogramm visuell diagnostiziert (Silva et al., 2022). Das Variogramm bildet die mittlere quadratische Verschiebung in Abhängigkeit vom Zeitintervall ab und erlaubt die Beurteilung, ob ein Tier in der betreffenden Saison ein stabiles Streifgebiet aufsuchte (range residency) oder ob es sich in einer gerichteten Migration befand. Ein Variogramm mit steilem Start und deutlichem Plateau zeigt Standorttreue und damit die Eignung für eine Streifgebietsschätzung an, da sich das Tier vorwiegend in einem begrenzten Gebiet aufgehalten hat.

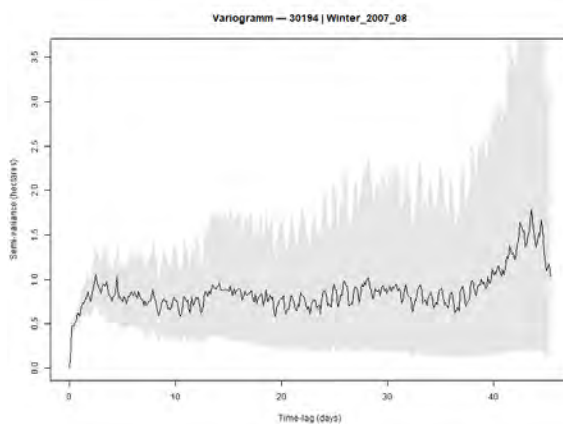


Abbildung 1 Variogramm ID 30194 (weibliches Tier)  
Wintersaison 2007/08 (eigene Darstellung)

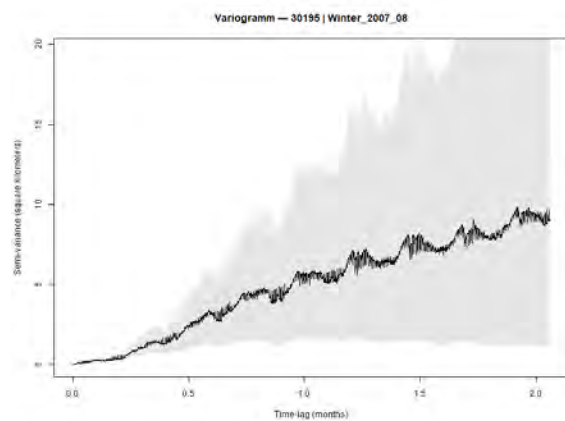


Abbildung 2 Variogramm ID 30195 (männliches Tier)  
Wintersaison 2007/08 (eigene Darstellung)

Ein kontinuierlich ansteigendes Variogramm weist auf potenzielle Migration hin, wodurch die AKDE-Schätzung statistisch unzuverlässig ist und die Interpretation der Streifgebiete vorsichtig erfolgen soll (Silva et al., 2022). Je nach Bewegungscharakteristik wird ein passendes Bewegungsmodell gewählt. Die Modellauswahl der Funktion berücksichtigt die Position und Geschwindigkeit des Individuums. *ctmm.select()* schätzt zunächst ein kontinuierliches Bewegungsmodell. Dieses Modell beschreibt nicht nur wo sich das Tier aufgehalten hat,

sondern auch, wie es sich statistisch durch den Raum bewegt, hinsichtlich der Heimatgebietstreue, Persistenz und Geschwindigkeit. Das Modell extrapoliert Aufenthaltswahrscheinlichkeiten auch in Bereiche, welche das Tier aufgrund seines Bewegungsverhaltens statistisch erreichen würde, selbst wenn dort kein GPS-Punkt gemessen wurde. Deswegen ergibt AKDE im Vergleich zur KDE größere und realistischere Streifgebiete (Anand et al., 2025; Fleming et al., 2015; Fleming & Calabrese, 2017; Silva et al., 2022; Viana et al., 2018). Wählt die Funktion *ctmm.select()* ein unabhängiges und identisch verteiltes (IID) Bewegungsmodell aus, wird R eine Warnmeldung ausgeben, dass es sich bei dem analysierten Datensatz um eine Berechnung mittels KDE handelt. Auf Basis des selektierten Bewegungsmodells wird die Streifgebietsgröße mit der Funktion *akde()* berechnet, welche die systematische Überschätzung der Streifgebietsflächen durch Gaußsche Referenzfunktionen korrigiert. Im Folgenden werden zwei verschiedene Isoplethe aus derselben Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (UD = Utilization Distribution) extrahiert, um eine bessere visuelle Differenzierung und Flächenanalyse zu ermöglichen. Die UD ist eine kontinuierliche zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsfläche über dem Raum, der Parameter *level.UD* schneidet diese Fläche bei einem bestimmten Wahrscheinlichkeitsniveau ab. Beide Konturen wurden aus derselben AKDE-UD extrahiert, einmal mit *level.UD* = 0.95 (Saisonales Streifgebiet) und einmal mit *level.UD* = 0.50 (Kerngebiet) (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007; Viana et al., 2018). Die 95-%-Linie umschließt das Gebiet, in dem sich das Tier mit 95%iger Wahrscheinlichkeit aufhalten wird wenn es nochmal beobachtet wird. Beide Isoplethen sowie die verwendeten GPS-Punkte werden anschließend zurück in das Schweizer Landeskoordinatensystem LV 95 (EPSG:2056) transformiert und als Shapefile in QGIS exportiert.

### 3.4.3 Berechnung Streifgebiet Größe und Verhältnis

Zur Analyse saisonaler Unterschiede in den Streif- und Kerngebieten des Steinwildes wurden die berechneten Flächenwerte in einer Excel-Tabelle (HR\_Groesse.xlsx) zusammengeführt. Die Tabelle enthält für jedes Individuum (ID) und jedes Geschlecht (sex) den saisonalen Flächenwert in Hektar. Dieser wird unterschieden nach Streifgebiet (95 %-Kontur) und Kerngebiet (50 %-Kontur) sowie nach Sommer- und Wintersaison. Da der arithmetische Mittelwert empfindlich gegenüber Ausreißern ist, wird bei dieser Auswertung der geometrische Mittelwert verwendet. Dieser repräsentiert große Unterschiede der Flächengröße besser. Die Konfidenzintervalle geben den Unsicherheitsbereich, in dem der wahre Wert liegt, an, dieser umfasst den geometrischen Mittelwert der Gebiete an.

Die Auswertung der Zahlen erfolgt in R (Version 4.5.2) unter Verwendung der Pakete *readxl*, *tidyverse*, *lme4*, *lmerTest* und *emmeans* (Bates et al., 2015; Searle et al., 1980). Vor der Auswertung wurden Ausreißer entfernt. Als Ausreißer gelten die Winterdaten von ID 30195. Dieser Bock zeigt in dem betreffenden Jahr migrierendes Verhalten, was sich durch ein verhältnisgroßes Winterstreifgebiet, sowie eine stetig ansteigende Kurve im Variogramm zeigt

(siehe Anhang Variogramm). Die Verteilung der Rohdaten und der bereinigten Daten wird visuell mit Boxplots dargestellt. Dabei sind die Daten der Geißen grün (#2E8B57) und die der Böcke orange (#E07B00). Kerngebiete sind mit einem Kreissymbol und Streifgebiete mit einem Dreiecksymbol dargestellt. Der vollständige R-Code zur Durchführung der Berechnung ist in Anhang 9.3 R Code zur Berechnung der Streifgebiete mittels AKDE einsehbar.

### 3.4.4 Korrelation zwischen Temperatur und Höhe

Um die Korrelation zwischen der Aufenthaltshöhe und der Temperatur zu untersuchen, werden GPS-Daten der Alpensteinböcke (*ibex\_gps\_snp*) mit stündlichen Temperaturdaten der MeteoSwiss-Station Buffalora (*ogd-smn\_buf\_h\_historical\_2000–2009* und *ogd-smn\_buf\_h\_historical\_2010–2019*) verknüpft. Die Verknüpfung erfolgt, wie in Kapitel 3.3 Datenaufbereitung beschrieben, in einer Excel-Tabelle, in der jedem GPS-Punkt anhand von Datum und Stunde die mittlere Stundentemperatur zugewiesen wird.

Zur statistischen Analyse der Korrelation zwischen Temperatur und genutzter Höhe werden alle Daten des gleichen Datensatzes (unabhängig von der Analyse des zentriert gleitenden Mittelwerts) auf Tagesmittelwerte aggregiert. Dies dient zur gleichwertigen Gewichtung der Jahre und zur Reduktion der Messpunkte. Für die Sommer- und Wintersaison werden die Geschlechter getrennt analysiert. Der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$  wird als Korrelationsmaß gewählt, da es keine Normalverteilung der Daten voraussetzt und robuster gegenüber Ausreißern ist.  $r_s$  misst Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen und liegt zwischen -1 und +1; ein positiver Wert zeigt an, dass mit steigender Temperatur auch die genutzte Höhe zunimmt. Als Richtwerte gelten: 0,1–0,3 schwach, 0,3–0,5 mittel, > 0,5 stark. Der p-Wert gibt an, wie wahrscheinlich der beobachtete Zusammenhang unter der Annahme ist, dass in der Realität kein Zusammenhang besteht. Ab  $p < 0,05$  gilt ein Ergebnis als statistisch signifikant, darüber besteht kein Zusammenhang und das Ergebnis ist n.s. = nicht signifikant. Da die Tagesmittelwerte zeitlich nicht unabhängig sind, sollten die p-Werte mit Vorsicht interpretiert werden.

Die statistische Auswertung und Visualisierung erfolgen in R unter Verwendung der Pakete *readxl*, *dplyr*, *lubridate*, *ggplot2*, *scales* und *tidyr*. Die eingelesene Datentabelle enthält die Spalten Tier-ID, Geschlecht (Sex), Datum (Date), Stunde (Hour), Temperatur und Höhe (Height). Bei der grafischen Darstellung ist auf der linken y-Achse die Temperatur von -24 °C bis 18 °C angegeben. Auf der rechten Seite ist die Aufenthaltshöhe der Tiere von (1 900 m bis 3 200 m) abgebildet, wobei beide Skalen linear aufeinander abgestimmt sind. Zur Glättung der Daten wird ein zentriert gleitender Mittelwert (centered rolling mean) mit einem Fenster von sieben Tagen angewendet. Für jeden Tag wird der arithmetische Mittelwert für den Zeitraum drei Tage davor und drei Tage danach berechnet. Dadurch fließen sowohl vergangene als auch zukünftige Werte in die Berechnung ein, wodurch eine kontinuierliche Darstellung saisonalen Verlaufs entsteht. Tage ohne Messungen werden als fehlend behandelt. Wenn innerhalb eines

Fensters (also sieben Tage) mehr als 40 % einen fehlenden Wert aufweisen wird die Zeitreihe dort unterbrochen. Aus den bereinigten Daten werden, getrennt für männliche und weibliche Tiere, wöchentliche Durchschnittshöhen sowie wöchentliche Temperaturdurchschnitte berechnet. Die Grafiken werden für die Jahre 2007 bis 2019 erstellt. Männliche Tiere sind in orange (#E07B00), weibliche in grün (#2E8B57) und die Temperatur in grau (grey50) dargestellt. Die Diagramme werden im A5 Querformat (210 × 148 mm, 300 dpi) als PNG exportiert. Der vollständige R-Code ist in Anhang 9.4 R-Code zur Korrelationsanalyse der Aufenthaltshöhe und Temperatur einsehbar.

### 3.5 Gespräch mit Expertinnen

Im Zuge der Bachelorarbeit wurden Gespräche mit Expertinnen geführt. Ein Online-Gespräch am 22.01.2026 und eines am 21.05.2026. Adeline Bognalia angehende Doktorandin, welche beim SNP zum Thema Alpensteinbock und Lawinen forscht, sowie Stefanie Gubler, welche in der Forschungskommission des Schweizerischen Nationalparks arbeitet, standen für die Gespräche zur Verfügung. Der Austausch dient zur Konkretisierung der Forschungsfragen und der Reflektion von Ergebnissen und Methoden. Die Gespräche wurden mittels persönlicher Notizen dokumentiert. Der methodische Vorschlag, für die Jahresübersichten der Korrelation keine Wochendurchschnittswerte, sondern ein Rolling-Mean zu verwenden, wurde übernommen. Weitere Ergebnisse werden in der Arbeit zitiert und entsprechend als persönliches Gespräch gekennzeichnet.

### 3.6 Visualisierung und Darstellung in GIS

Zur Darstellung der Daten wird mit der QGIS-Version 3.40.13-Bratislava und der Hintergrundkarte TK 25.000 des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo gearbeitet. Als Hintergrundkarte wird die Topografische Karte in der Auflösung 1:25.000 von swisstopo verwendet. Für die Übersicht der Saisonalen Streifgebiete wird jedem Sommer und Winter ein eigener HEX-Code zugewiesen.

*Tabelle 4 Übersicht der verschiedenen Sommer- und Wintersaisonen mit jeweilig dazu verwendetem HEX-Code (eigene Darstellung)*

| Saison   | Farbe   |
|----------|---------|
| Sommer 1 | #fb0000 |
| Winter 1 | #0000ff |
| Sommer 2 | #fb6000 |
| Winter 2 | #0092ff |

| Saison   | Farbe   |
|----------|---------|
| Sommer 3 | #fbad00 |
| Winter 3 | #00d9ff |
| Sommer 4 | #fbad00 |
| Winter 4 | #8ffffe |

Die saisonalen Streifgebiete 95 % werden mit einer Linie der Dicke 0,6 Millimeter und einer Füllung mit 10 Prozent visualisiert. Die Kerngebiete 50 % werden mit einer gestrichelten Linie mit Intervall 3 der Dicke 1,4 Millimeter und einer Füllung mit 8 Prozent visualisiert. Eine Übersichtskarte zeigt die erweiterte räumliche Lage der Gebiete an und nennt die nächsten Ortsnamen Zernez, Scans und Livigno. Pro Tier wird eine Übersicht auf A3 erstellt. Diese zeigt alle Gebiete der verschiedenen Jahre übereinandergelegt. Für das Tier ID 30223 wird zusätzlich pro Saison eine A4-Karte erstellt. Diese zeigt exemplarisch die gemessenen GPS-Punkte und die daraus berechneten saisonalen Streifgebiete. Dadurch wird erkennbar, dass die Streifgebiete nicht immer alle gemessenen Punkte berücksichtigen. Möglicherweise weil der Aufenthalt an diesen Orten zu kurz war, um als Streifgebiet gewertet zu werden (Burt, 1943). Gleichzeitig zeigt sich, dass auch Gebiete als Streifgebiete zählen, welche keine Messpunkte enthalten. Dies liegt daran, dass das Modell auch die potenziell nutzbaren Flächen anhand der Bewegung des Individuums berechnet (Noonan et al., 2019; Silva et al., 2022).

## 4 Ergebnisse

Von den 31 Alpensteinböcken, die über den Zeitraum 2007 bis 2019 besendert wurden, konnten für 29 Tiere saisonale Streif- und Kerngebiete berechnet werden (14 Geißen, 15 Böcke). Für alle 31 Individuen wurden zudem die Höhendaten zur Analyse der Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe verwendet.

### 4.1 Sommer- und Winterstreifgebiete

Es wurden die Alpensteinbock GPS-Daten vom Schweizer Nationalpark bereinigt und in R analysiert. Von den 31 Tieren kamen durch die Definitionen von Winter- und Sommersaisons 29 infrage bei denen Kern- und Streifgebiete berechnet wurden (14 Geißen und 15 Böcke). Für keine Saison wurde das klassische KDE Bewegungsmodell IID verwendet, was zeigt, dass alle Datensätze autokorrelierte Daten aufweisen. Es wurden passende Bewegungsmodelle für AKDE genutzt.

#### Wo befinden sich die Streifgebiete der besenderten Tiere?

Von den 31 besenderten Tieren kamen für die Berechnung der Streifgebiete 29 Individuen in Frage. Die übrigen Tiere weisen in keiner Saison mindestens 60 Tage mit einem GPS-Punkt auf. Es wurden insgesamt 86 Streifgebiete von 29 Alpensteinböcken berechnet. 51 davon zeigen die Sommersaison, 35 die Wintersaison. Geißen haben mit 28 Sommerstreifgebieten und 23 Winterstreifgebieten verhältnismäßig mehr Streifgebiete als Böcke. Diese haben im Sommer 21 und im Winter 14 Gebiete. Die besenderten Böcke haben 35 Streifgebiete insgesamt und die Geißen 51 Gebiete (siehe Anhang 9.1 Tabelle aller Streif- und Kerngebiete). Tabelle 1 Tabelle 5 gibt eine Übersicht, wie viele Geißen und Böcke in den verschiedenen Jahren berücksichtigt wurden.

*Tabelle 5 Übersicht der Jahre, Anzahl GPS-Messungen, besenderten Tiere aufgeteilt in männliche und weibliche Tiere (eigene Darstellung)*

| Jahr | Messung | Anzahl Tiere | Tiere Männlich | Tiere Weiblich |
|------|---------|--------------|----------------|----------------|
| 2007 | 5229    | 3            | 1              | 2              |
| 2008 | 16158   | 5            | 2              | 3              |
| 2009 | 28025   | 8            | 5              | 3              |
| 2010 | 24195   | 8            | 4              | 4              |
| 2011 | 12589   | 5            | 3              | 2              |
| 2012 | 6066    | 2            | 1              | 1              |



| Jahr | Messung | Anzahl Tiere | Tiere Männlich | Tiere Weiblich |
|------|---------|--------------|----------------|----------------|
| 2013 | 24195   | 12           | 6              | 6              |
| 2014 | 20732   | 8            | 1              | 7              |
| 2015 | 12804   | 8            | 4              | 5              |
| 2016 | 9666    | 5            | 4              | 2              |
| 2017 | 25280   | 7            | 5              | 2              |
| 2018 | 2989    | 3            | 1              | 2              |
| 2019 | 981     | 1            | 0              | 1              |

Die meisten Streifgebiete liegen innerhalb des Schweizerischen Nationalparks oder des angrenzenden italienischen Nationalparks Stilfserjoch. Einzelne saisonale Streifgebiete befinden sich außerhalb der Schutzgebietsgrenzen. Die Tiere halten sich überwiegend im Val Trupchun und angrenzenden Val Chaschauna, Val Sassa, Val dal Diavel, Val da l'Acqua, Val Trenzeira, Val del Cantone auf. Die Streifgebiete der 29 Tiere überlappen sich mehrfach. Auch Kerngebiete verschiedener Individuen befinden sich teilweise auf den gleichen Flächen (siehe Anhang 9.5 Karten der Streifgebiete). Die Tabelle mit der Übersicht aller Streif- und Kerngebiete zeigt, dass jedes Individuum eine unterschiedliche Anzahl an visualisierten Streifgebieten aufweist. So hat zum Beispiel ID 30221 nur ein Streifgebiet im Sommer. Tier ID 30223 weist hingegen vier Streifgebiete im Sommer und vier im Winter auf. Dies zeigt, dass das Tier über mehrere Jahre hinweg dieselben Gebiete nutzen und dass diese Gebiete saisonal ähnliche räumliche Ausdehnungen ausweisen.

#### Wie ist der Größenvergleich zwischen Winter- und Sommersaisonen und zwischen weiblichen und männlichen Tieren?

Ein Unterschied zwischen Sommer- und Wintersaison ist deutlich erkennbar. Im Sommer werden größere Streifgebiete genutzt als im Winter. Auch der geschlechterspezifische Unterschied ist erkennbar. Weibliche Tiere nutzen kleinere Gebiete als männliche Tiere (siehe Tabelle 6). Im Sommer nutzen Geißen Streifgebiete mit 554 ha (Konfidenzintervall 274 – 819 ha) und Böcke 991 ha (Konfidenzintervall 661 – 1485 ha). Im Winter sind die Streifgebiete der weiblichen Tiere 56,3 ha (Konfidenzintervall 37,6 – 84,3 ha) groß. Die der Böcke umfassen 688 ha (Konfidenzintervall 42 – 1126 ha). Die Analyse zeigt außerdem, dass es eine asymmetrische Saisonalität gibt. Weibchen reduzieren ihr Kern- und Streifgebiete vom Sommer zum Winter um den Faktor  $\sim 10$  (von 554 ha auf 56,3 ha), während Männchen ihre Fläche um den Faktor  $\sim 1,4$  (von 991 ha auf 688 ha) verkleinern.

## Ergebnisse

*Tabelle 6 Streifgebiete (AKDE) nach Geschlecht, Saison, Geometrischen Mittelwert, unterem und oberem Konfidenzintervall unterteilt (eigene Darstellung)*

| <b>Geschlecht</b> | <b>Gebiet</b>              | <b>Geometrischer Mittelwert in ha</b> | <b>Unteres Konfidenzintervall in ha</b> | <b>Oberes Konfidenzintervall in ha</b> |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| Weiblich          | Sommer Kerngebiet (50 %)   | 119                                   | 80,5                                    | 176                                    |
| Weiblich          | Sommer Streifgebiet (95 %) | 554                                   | 374                                     | 819                                    |
| Männlich          | Sommer Kerngebiet (50 %)   | 213                                   | 142                                     | 319                                    |
| Männlich          | Sommer Streifgebiet (95 %) | 991                                   | 661                                     | 1485                                   |
| Weiblich          | Winter Kerngebiet (50 %)   | 12,1                                  | 8,1                                     | 18,1                                   |
| Weiblich          | Winter Streifgebiet (95 %) | 56,3                                  | 37,6                                    | 84,2                                   |
| Männlich          | Winter Kerngebiet (50 %)   | 148                                   | 90,5                                    | 242                                    |
| Männlich          | Winter Streifgebiet (95 %) | 688                                   | 421                                     | 1126                                   |

### 4.2 Korrelation zwischen Temperatur und Höhe

Die Verbindung zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe der Tiere wurde mittels den Höhendaten vom SNP und den Wetterdaten der Station Buffalora in R analysiert. Dabei wurde pro Jahr eine Übersicht erstellt, welche die Schwankungen der Geschlechter und der

## Ergebnisse

Temperatur visualisiert. Um die Verbindung zu den saisonalen Streifgebieten aufzugreifen, wurde pro Winter- und Sommersaison aller Daten eine Korrelationsanalyse erstellt, welche die Stärke darlegt.

### Welche Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe gibt es bei weiblichen und männlichen Tieren?

Die Korrelation zwischen Aufenthaltshöhe und Temperatur unterscheidet sich deutlich zwischen den Saisons. Im Sommer zeigt sich für beide Geschlechter ein mittelstarker, hochsignifikanter positiver Zusammenhang (Böcke:  $r_s = 0,49$ ; Geißen:  $r_s = 0,45$ ; beide  $p < 0,001$ ). Mit steigenden Temperaturen nutzen die Tiere höhere Lagen. Bei den niedrigsten gemessenen Temperaturen im Sommer ( $\sim 2^\circ\text{C}$ ) liegt die durchschnittliche Aufenthaltshöhe bei rund 2 350 m, bei den höchsten Temperaturen ( $\sim 22^\circ\text{C}$ ) bei rund 2 700 m (siehe Abbildung 3). Der Zusammenhang verläuft für beide Geschlechter nahezu identisch.

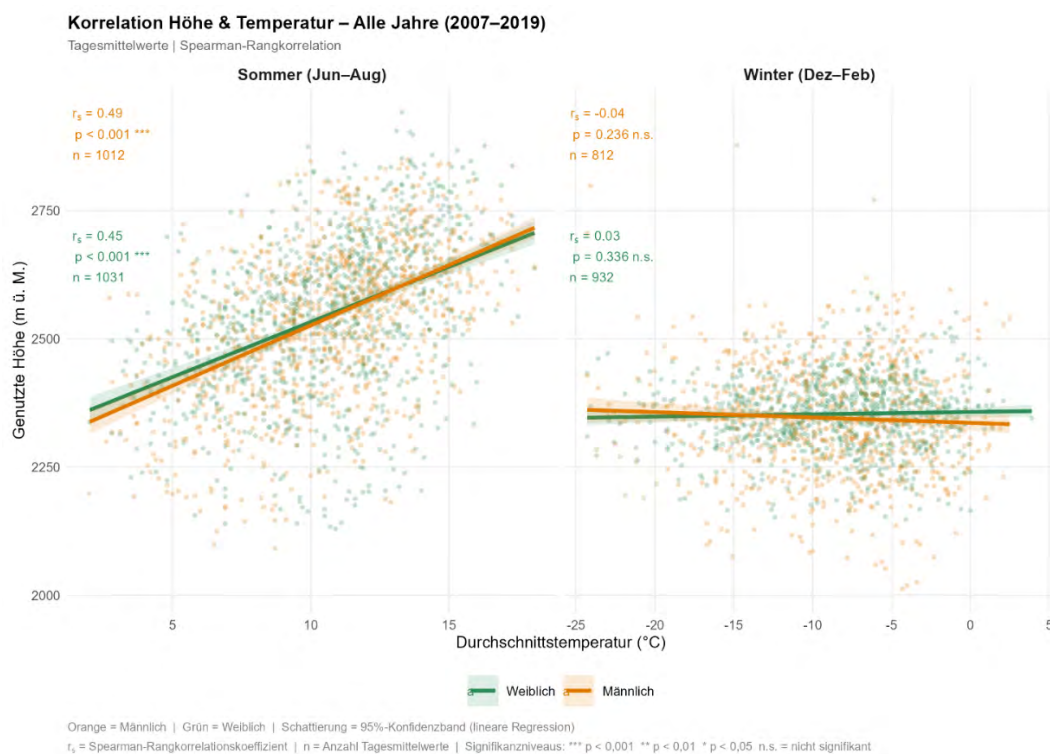


Abbildung 3 Korrelation zwischen genutzter Höhe der Tiere und der Temperatur für Sommer (Juni bis August) und Winter (Dezember bis Februar) mit den gesamten Daten von 2007 bis 2019 (eigene Darstellung)

Im Winter besteht hingegen kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe (Böcke:  $r_s = -0,04$ ,  $p = 0,236$ ; Geißen:  $r_s = 0,03$ ,  $p = 0,336$ ). Die genutzte Höhe bleibt bei beiden Geschlechtern bei etwa 2 350 bis 2 400 m, unabhängig von der Temperatur.

## Ergebnisse

### Die jährliche Aufenthaltshöhe der Tiere in Verbindung mit der Temperatur

Die in den folgenden Grafiken dargestellten Werte sind jeweils die durchschnittlichen Höhen der zu dem Zeitpunkt besenderten Tiere.

Im Jahr 2007 wurden  $n = 3$  Tiere (ID 30194, ID 30195 und ID 30200) mit insgesamt 5 229 Messpunkten ausgewertet (siehe Abbildung 4). Die Aufzeichnung der Höhendaten und der Temperaturdaten beginnt Mitte Mai.

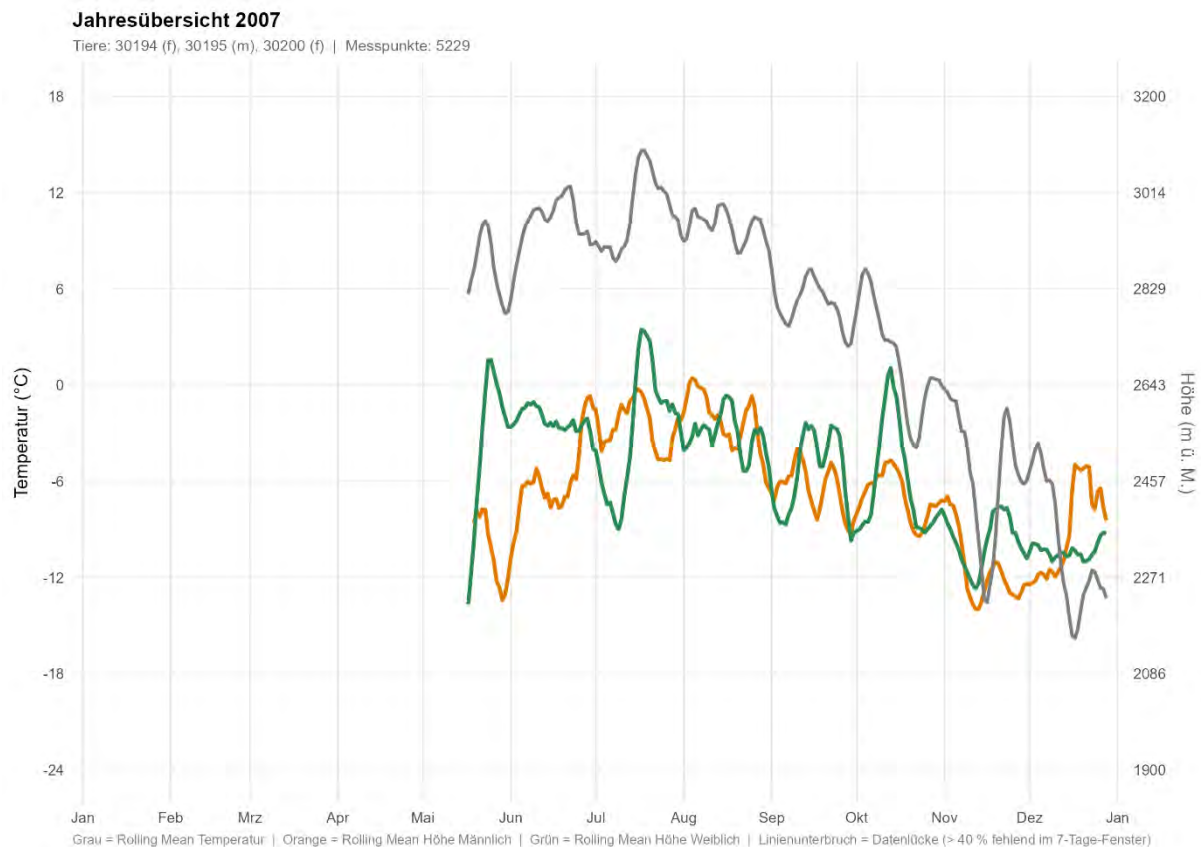


Abbildung 4 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2007. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Aufgrund der geringen Stichprobengröße ( $n = 3$ ) sind Aussagen über geschlechtsspezifische Unterschiede oder eine systematische Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe für dieses Jahr bedingt möglich. Die Daten werden daher im Jahresvergleich nur eingeschränkt berücksichtigt. Die beiden Geschlechter nutzen ein mittlere Aufenthaltshöhen zwischen ca. 2 250 und 2 700m über den dokumentierten Zeitraum. Eine konsistente Höhentrennung zwischen den Geschlechtern war nicht feststellbar. Die Linien verlaufen über weite Strecken nahezu parallel, wobei die weiblichen Tiere geringfügig höhere Lagen nutzten. Mit sinkenden Temperaturen ab September gehen die Aufenthaltshöhen beider Gruppen schrittweise zurück. Eine Ausnahme bildete das männliche Tier, das Ende Dezember einen kurzfristigen Höhenanstieg von ca. 2 270 m auf über 2 600 m zeigte, bevor es wieder auf eine Winterlage von ca. 2 180 m absank.

## Ergebnisse

Im Jahr 2008 wurden  $n = 5$  Tiere (ID 30194, ID 30195, ID 30200, ID 30205 und ID 30121) mit insgesamt 16 158 Höhendaten ausgewertet (siehe Abbildung 5).

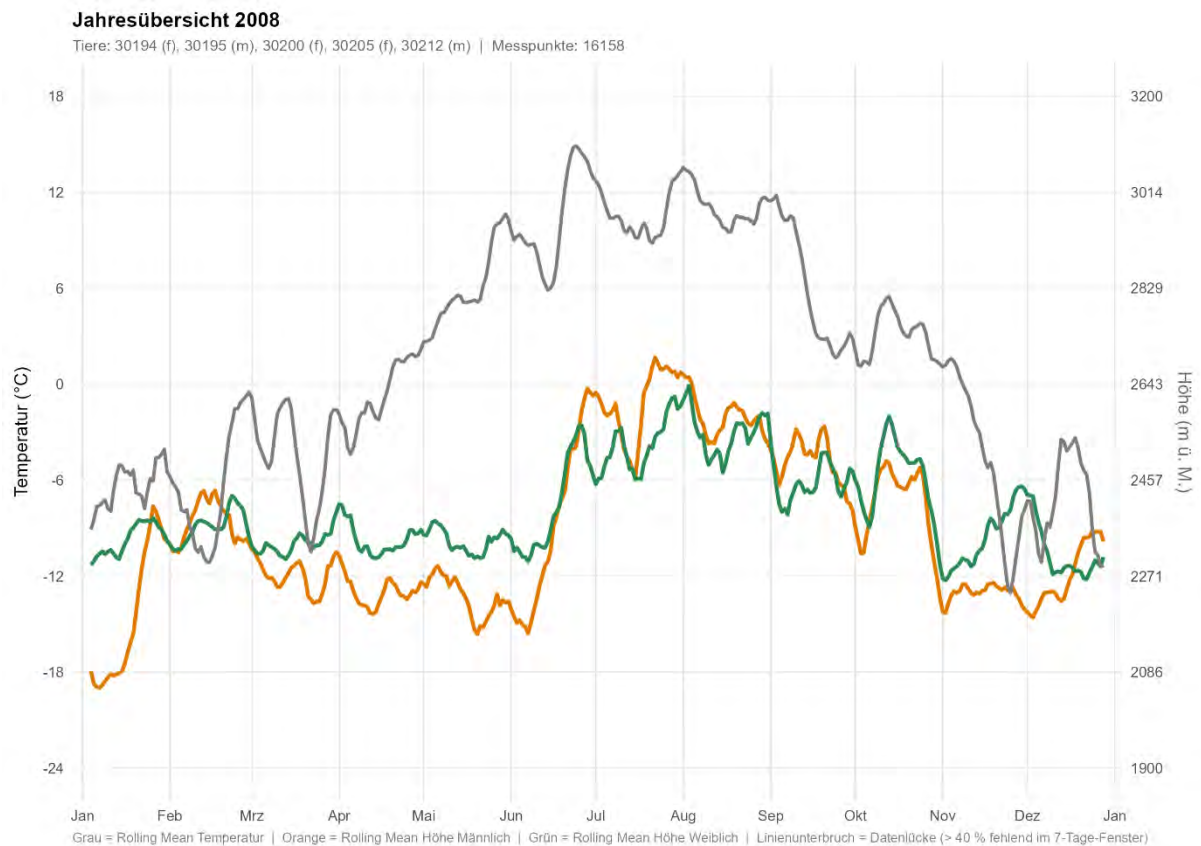


Abbildung 5 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2009. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen eine mittlere Aufenthaltshöhe zwischen ca. 2 090 und 2 700 m über den dokumentierten Zeitraum. Die Aufenthaltshöhen beider Geschlechter zeigten einen ausgeprägten saisonalen Verlauf, der dem Temperaturgang folgte. In den kälteren Monaten (Januar bis Mai) halten sich die Tiere im Mittel auf ca. 2 350 m auf. Mit dem Einsetzen wärmerer Temperaturen Anfang Juni stiegen beide Geschlechter auf mittlere Höhen von ca. 2 550 m an, bevor die Aufenthaltshöhe ab Oktober wieder auf ca. 2 350 m zurückging. Der Aufstieg Anfang Juni war bei beiden Geschlechtern deutlich und zeitlich synchron. Männliche Tiere, die sich zuvor im Mittel unterhalb der weiblichen Tiere aufgehalten haben, steigen daraufhin in höhere Gebiete auf als die Geißen. Innerhalb von drei Wochen legen die Böcke dabei knapp 500 Höhenmeter zurück, die Geißen rund 250 Meter. Über den gesamten Jahresverlauf lagen die mittleren Aufenthaltshöhen der weiblichen Tiere bis auf die Monate Juli bis Oktober meist über denen der männlichen Tiere.

## Ergebnisse

Im Jahr 2009 wurden  $n = 8$  Tiere (ID 30195, ID 30200, ID 30205, ID 30208, ID 30212, ID 30214, ID 30215 und ID 30218) mit insgesamt 28 025 Messpunkten ausgewertet (siehe Abbildung 6).

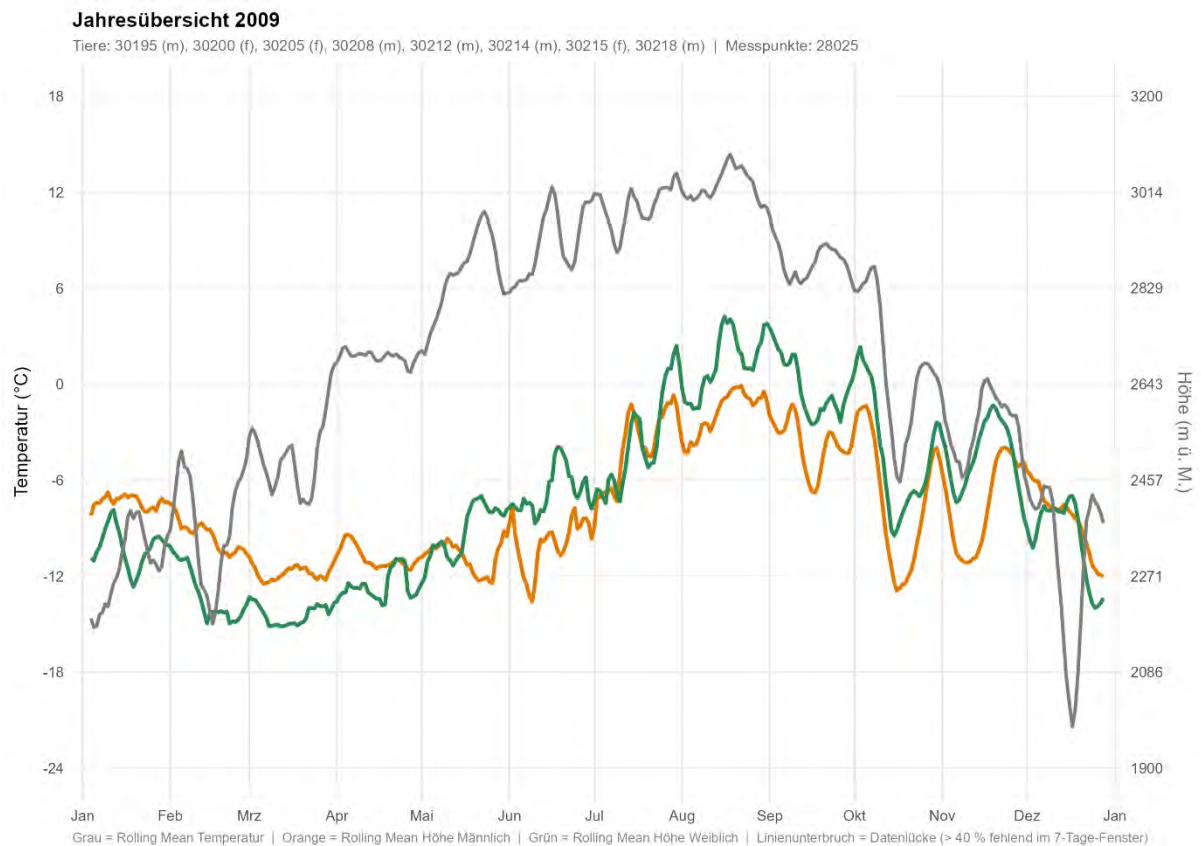


Abbildung 6 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2009. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen eine mittlere Aufenthaltshöhe zwischen ca. 2 150 und 2 750 m über den dokumentierten Zeitraum. In der ersten Jahreshälfte bis Mitte Mai nutzen die männlichen Tiere im Mittel höhere Lagen als die weiblichen Tiere. Ab Mitte Mai kehrt sich dieses Verhältnis um und die weiblichen Tiere halten sich fortan auf höheren Lagen auf. Von August bis November ist eine klare positive Korrelation zwischen Temperaturverlauf und Aufenthaltshöhe erkennbar. Temperaturanstiege gehen mit einer Verlagerung in höhere Lagen einher, Temperaturabfälle mit einem Rückzug in tiefere Lagen. Ein Temperaturabfall von circa 12 Grad veranlasst, dass Geißen und Böcke circa 380 Meter im Durchschnitt absteigen.

## Ergebnisse

Im Jahr 2010 wurden  $n = 8$  Tiere (ID 30200, ID 30208, ID 30212, ID 30214, ID 30215, ID 30218, ID 30223 und ID 30224) mit insgesamt 24 195 Messpunkten ausgewertet (siehe Abbildung 7 ). Bei den Daten der weiblichen Tiere liegt eine Lücke von Mitte Februar bis Anfang Juni vor. Bei den Temperaturdaten besteht eine Lücke zwischen Mitte Oktober und Ende November.

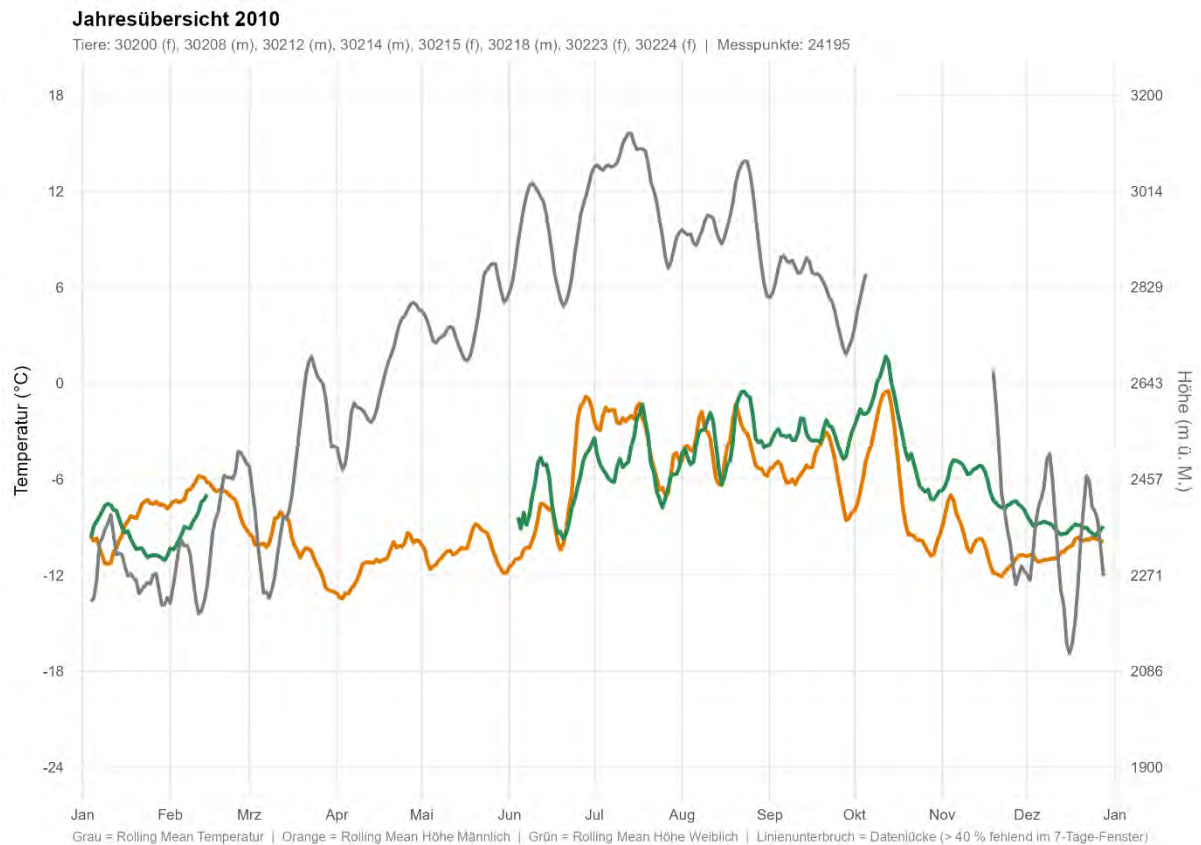


Abbildung 7 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2010. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen eine mittlere Aufenthaltshöhe zwischen ca. 2 260 und 2 660 m über den dokumentierten Zeitraum. Ab September nutzen die weiblichen Tiere im Mittel höhere Lagen als die männlichen Tiere. Im Zeitraum Juni bis Oktober reagieren die Tiere auf kurzfristige Temperaturanstiege mit einer Verlagerung in höhere Lagen und auf Temperaturabfälle mit einem Rückzug in tiefere Bereiche. Der Temperaturanstieg von Mitte Juni bis Mitte Juli um 10 °C lässt Geißen und Böcke circa 250 Meter ansteigen. Böcke steigen in diesem Fall schneller auf im Vergleich zu weiblichen Tieren.



## Ergebnisse

Im Jahr 2011 wurden  $n = 5$  Tiere (ID 30212, ID 30214, ID 30223, ID 30224 und ID 30227) mit insgesamt 12 589 Höhendaten ausgewertet (siehe Abbildung 8).

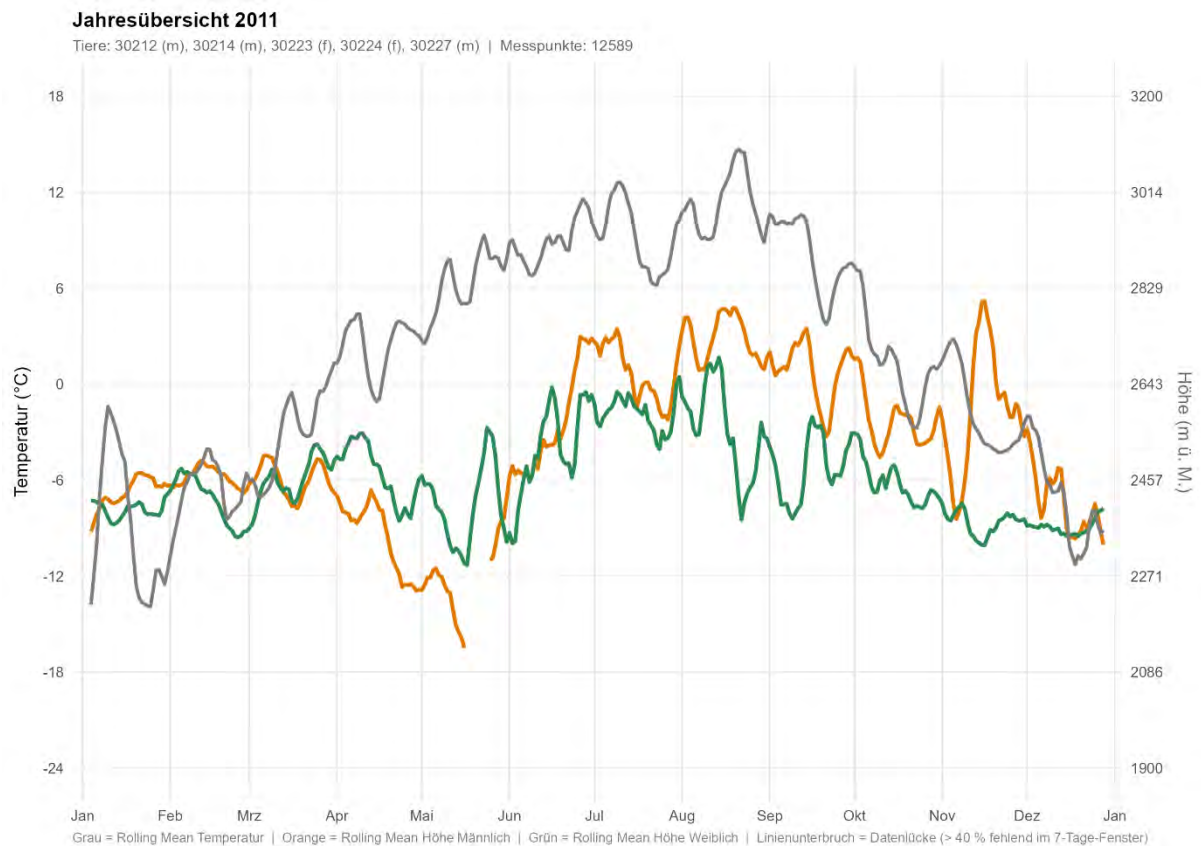


Abbildung 8 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2011. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen ein mittlere Aufenthaltshöhen zwischen ca. 2 100 und 2 800 m über den dokumentierten Zeitraum. Ab Mitte Juni hielten sich die männlichen Tiere im Mittel auf höheren Lagen auf als die weiblichen Tiere. Im Dezember und Januar nutzten beide Geschlechter ähnliche Höhenbereiche. Eine Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe war besonders von August bis Oktober deutlich ausgeprägt. Bei steigenden Temperaturen wandern die Tiere in höhere Lagen, wobei die männlichen Tiere schneller reagierten als die weiblichen Tiere. Der Anstieg von 6 Grad Ende Juli lässt Böcke circa 190 Meter und Geißen 150 Meter nach oben wandern. Von April bis Mitte Mai wandern die männlichen Tiere konstant in niedrigere Lagen, bevor sie, nach einer Messlücke, wieder aufsteigen. Die Mitte Mai aufgesuchten Höhen liegen niedriger als die Wintereinstandsgebiete.



## Ergebnisse

Im Jahr 2012 wurden  $n = 2$  Tiere (ID 30223 und ID 30227) mit insgesamt 6 066 Messpunkten ausgewertet (siehe Abbildung 9). Daten für weibliche Tiere liegen für Januar und die erste Februarhälfte vor. Ein Geschlechtervergleich für dieses Jahr ist daher nicht möglich.

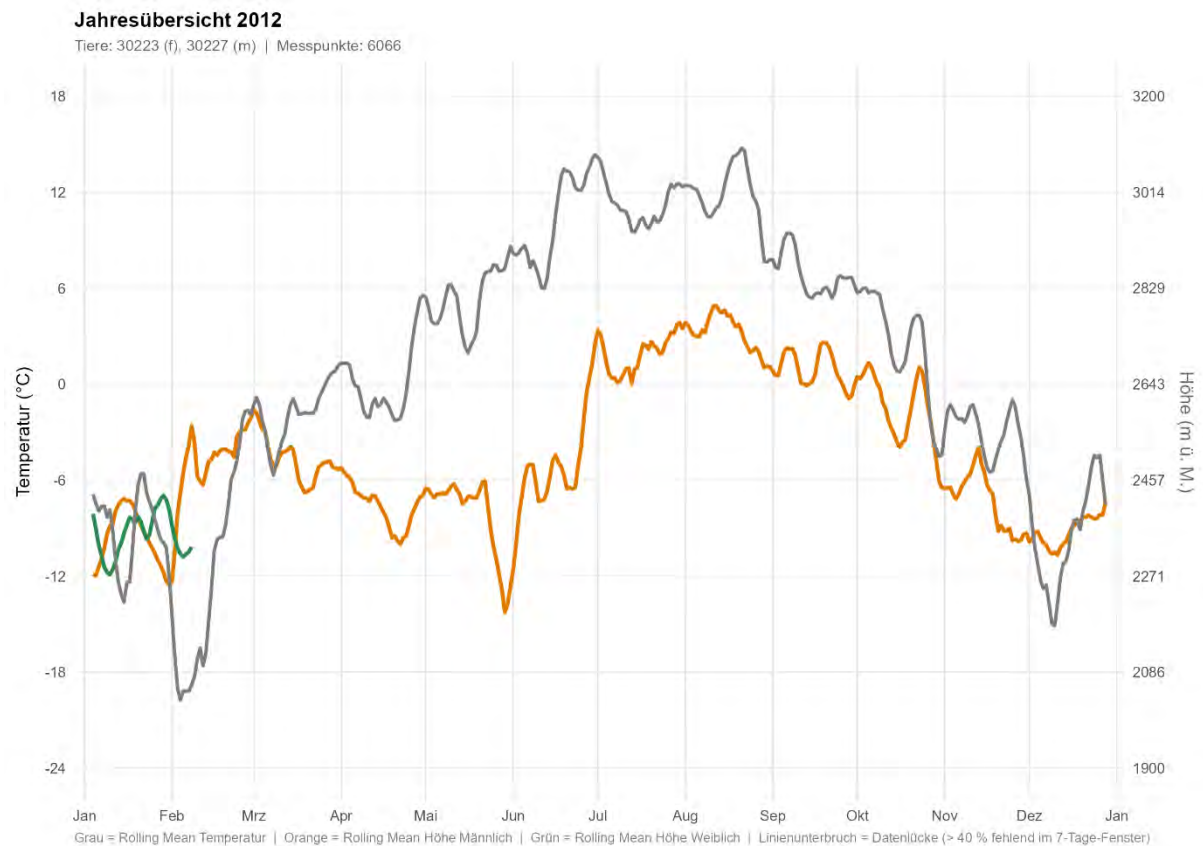


Abbildung 9 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2012. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Das männliche Tier nutzt eine mittlere Aufenthaltshöhe zwischen ca. 2 250 und 2 800 m über den dokumentierten Zeitraum. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ( $n = 2$ ) sind Aussagen über geschlechtsspezifische Unterschiede oder eine systematische Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe für dieses Jahr bedingt möglich. Die Daten werden daher im Jahresvergleich nur eingeschränkt berücksichtigt. Das männliche Tier zeigte im Jahresverlauf einen ausgeprägten saisonalen Höhenverlauf mit deutlicher Korrelation zur Temperaturentwicklung. In den kühleren Monaten hält sich der Bock in niedrigeren Lagen auf und wandert vor allem von Juli bis Ende Oktober in höheren Gebieten umher. Der Temperaturanstieg Mitte Juni von circa 8 Grad veranlasste das Tier innerhalb von vier Wochen im Durchschnitt 350 Meter höher zu wandern.

## Ergebnisse

Im Jahr 2013 wurden  $n = 12$  Tiere (ID 30179, ID 30206, ID 30223, ID 30227, ID 30228, ID 30229, ID 30230, ID 30231, ID 30232, ID 30233, ID 30234 und ID 30235) mit insgesamt 24 195 Messpunkten ausgewertet. Weibliche Tiere wurden ab Mitte April erfasst. Für männliche Tiere liegen Daten bis Ende November vor (siehe Abbildung 10).

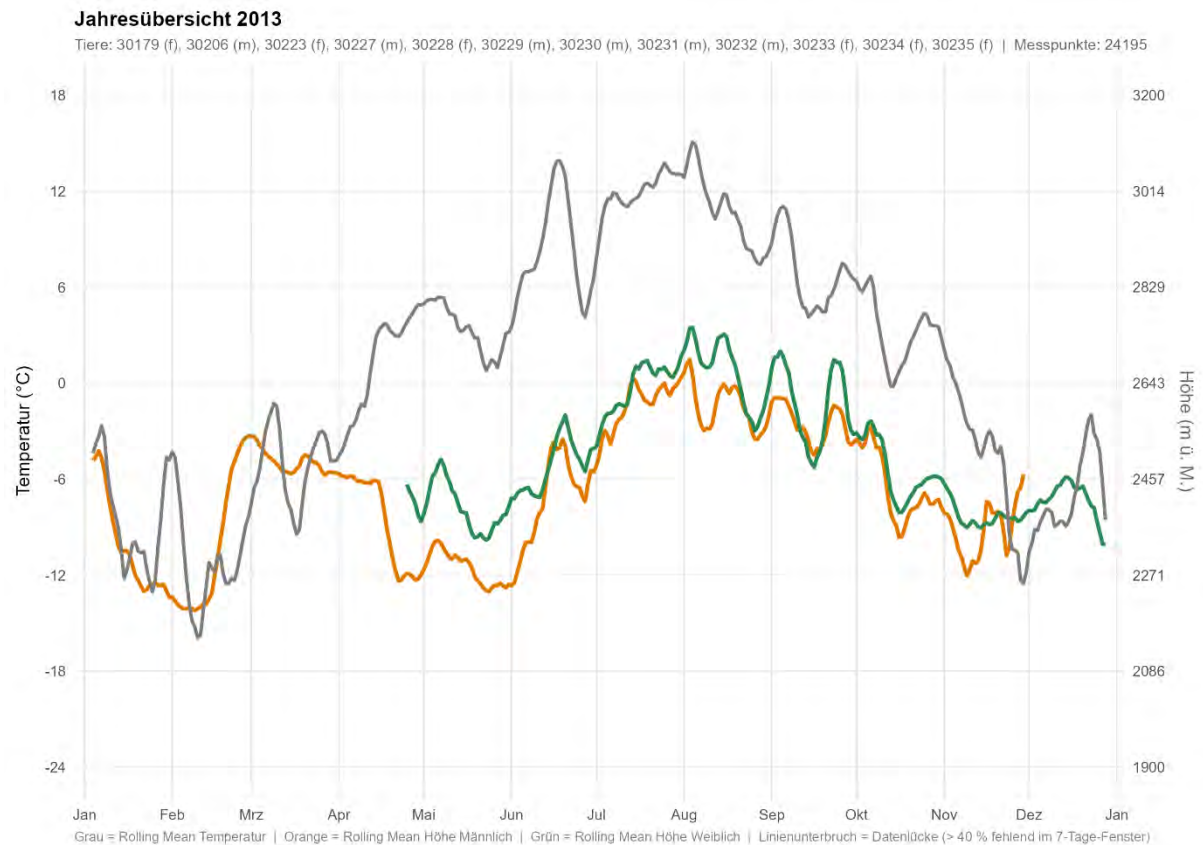


Abbildung 10 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2013. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen ein mittlere Aufenthaltshöhen zwischen ca. 2 250 und 2 700 m über den dokumentierten Zeitraum. Aussagen zu geschlechterspezifischen Unterschieden sind ab Mai möglich. Im gemeinsamen Erfassungszeitraum lagen die mittleren Aufenthaltshöhen der weiblichen Tiere über denen der männlichen Tiere. Eine Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe ist mehrfach im Jahresverlauf erkennbar. Zwischen Anfang und Mitte Juni steigt die Durchschnittstemperatur um 10 °C an. Böcke wandern in dem Zeitraum circa 300 Höhenmeter aufwärts und Geißen ca. 200 Höhenmeter. Ähnliche Reaktionsmuster treten bis Oktober auf.

## Ergebnisse

Im Jahr 2014 wurden  $n = 8$  Tiere (ID 30197, ID 30212, ID 30223, ID 30118, ID 30233, ID 30234, ID 30235 und ID 30237) mit insgesamt 20 732 Messpunkten ausgewertet. Daten männlicher Tiere liegen von Anfang Mai bis Ende November vor. Bei weiblichen Tieren wurde das ganze Kalenderjahr erfasst (siehe Abbildung 11).

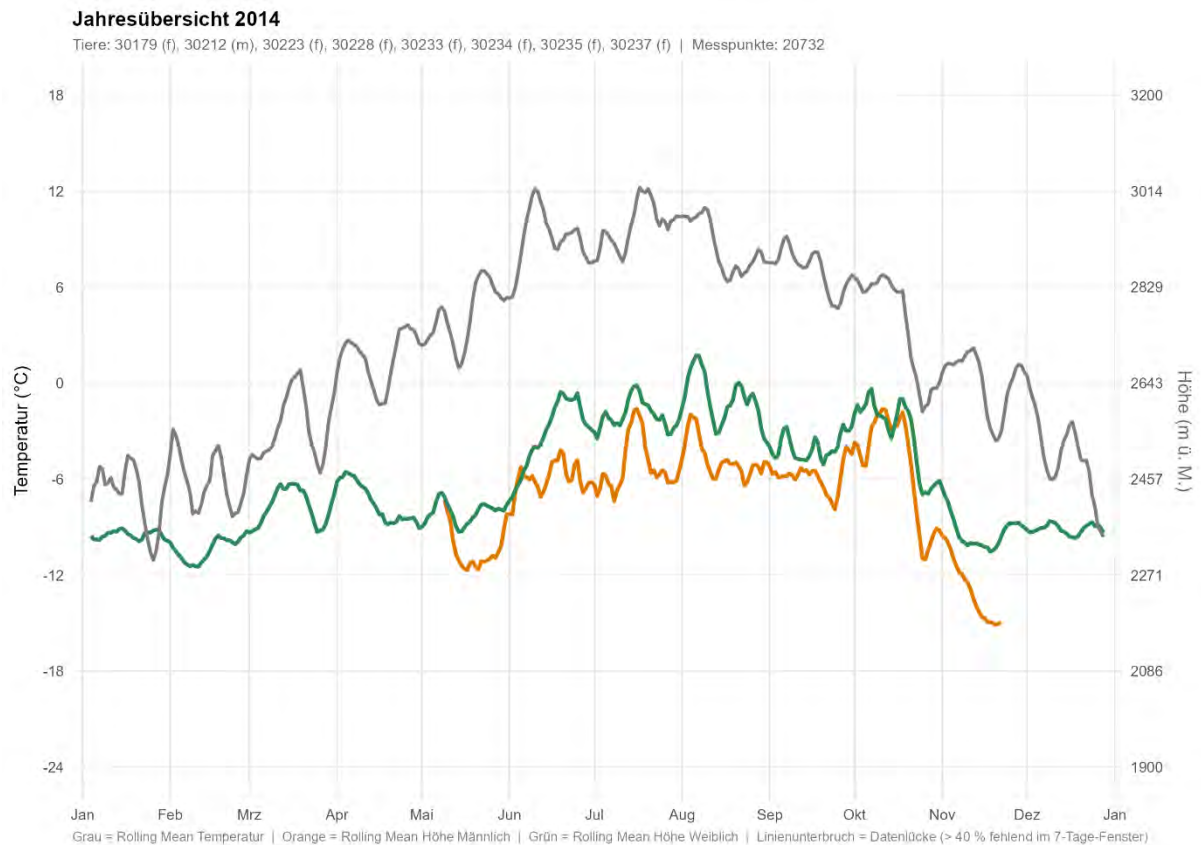


Abbildung 11 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2014. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen ein mittlere Aufenthaltshöhen zwischen ca. 2 150 und 2 700 m über den dokumentierten Zeitraum. Aussagen zu geschlechterspezifischen Unterschieden sind zwischen Mai und November machbar. Die Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe der weiblichen Tiere ist über das ganze Jahr hinweg erkennbar. Im gemeinsamen Erfassungszeitraum lagen die mittleren Aufenthaltshöhen der weiblichen Tiere um ca. 100 m über denen der männlichen Tiere. Geschlechterübergreifend war von Juni bis Oktober ein saisonaler Anstieg und anschließender Rückgang der Aufenthaltshöhen feststellbar. Ein Temperaturanstieg Mitte Juli von ca. 3 °C führte dazu, dass die Böcke innerhalb von zwei Wochen um ca. 190 Höhenmeter und die Geißen ca. 100 Höhenmeter aufstiegen.

## Ergebnisse

Im Jahr 2015 wurden  $n = 8$  Tiere (ID 30221, ID 30223, ID 30228, ID 30231, ID 30235, ID 30237 und ID 30239) mit insgesamt 12 804 Messpunkten ausgewertet. Daten weiblicher Tiere liegen für das ganze Kalenderjahr vor. Männliche Tiere wurden ab Mitte April erfasst (siehe Abbildung 12).

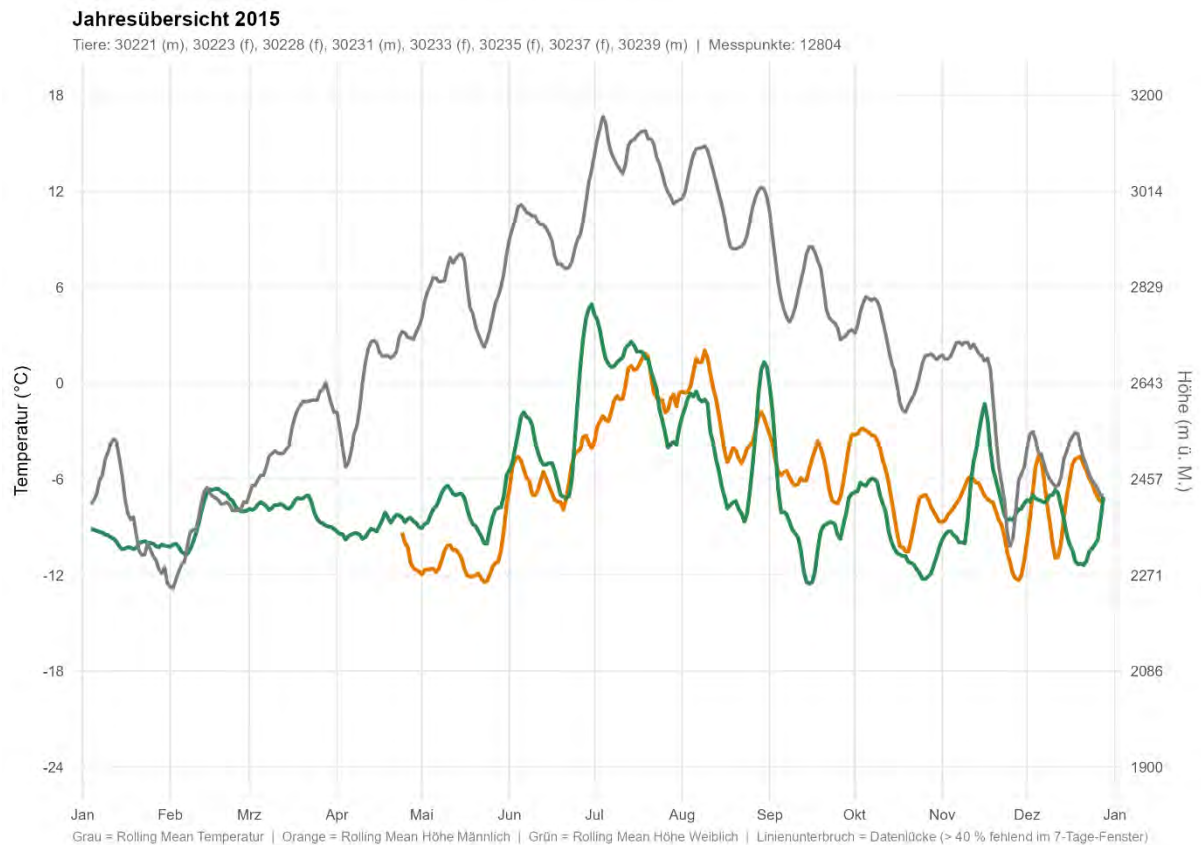


Abbildung 12 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2015. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen ein mittlere Aufenthaltshöhen zwischen ca. 2 270 und 2 790 m über den dokumentierten Zeitraum. Aussagen zu geschlechterspezifischen Unterschieden sind zwischen Mai und Dezember machbar. Die Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe der weiblichen Tiere ist das ganze Jahr sichtbar.

Der saisonale Temperaturverlauf spiegelte sich deutlich in den Aufenthaltshöhen beider Geschlechter wider. Ein Temperaturanstieg Mitte Juni von ca. 6 °C innerhalb von zwei Wochen bewirkt bei den männlichen Tieren einen Höhenanstieg von ca. 150 m, bei den weiblichen Tieren von ca. 250 m im gleichen Zeitraum. Die weiblichen Tiere legten bei vergleichbarer Erwärmung eine größere Höhendistanz zurück als die männlichen Tiere. In diesem Jahr reagierten weibliche Tiere schneller und mit größeren Höhenunterschieden. Männliche Tiere wanderten langsamer in höhere Lagen als weibliche Tiere (vgl. Mitte Juli).

## Ergebnisse

Im Jahr 2016 wurden  $n = 5$  Tiere (ID 30231, ID 30237, ID 30239, ID 30246 und ID 30247) mit insgesamt 9 666 Messpunkten ausgewertet. Die Daten der weiblichen Tiere weisen eine Lücke von Februar bis Ende April auf (siehe Abbildung 13).

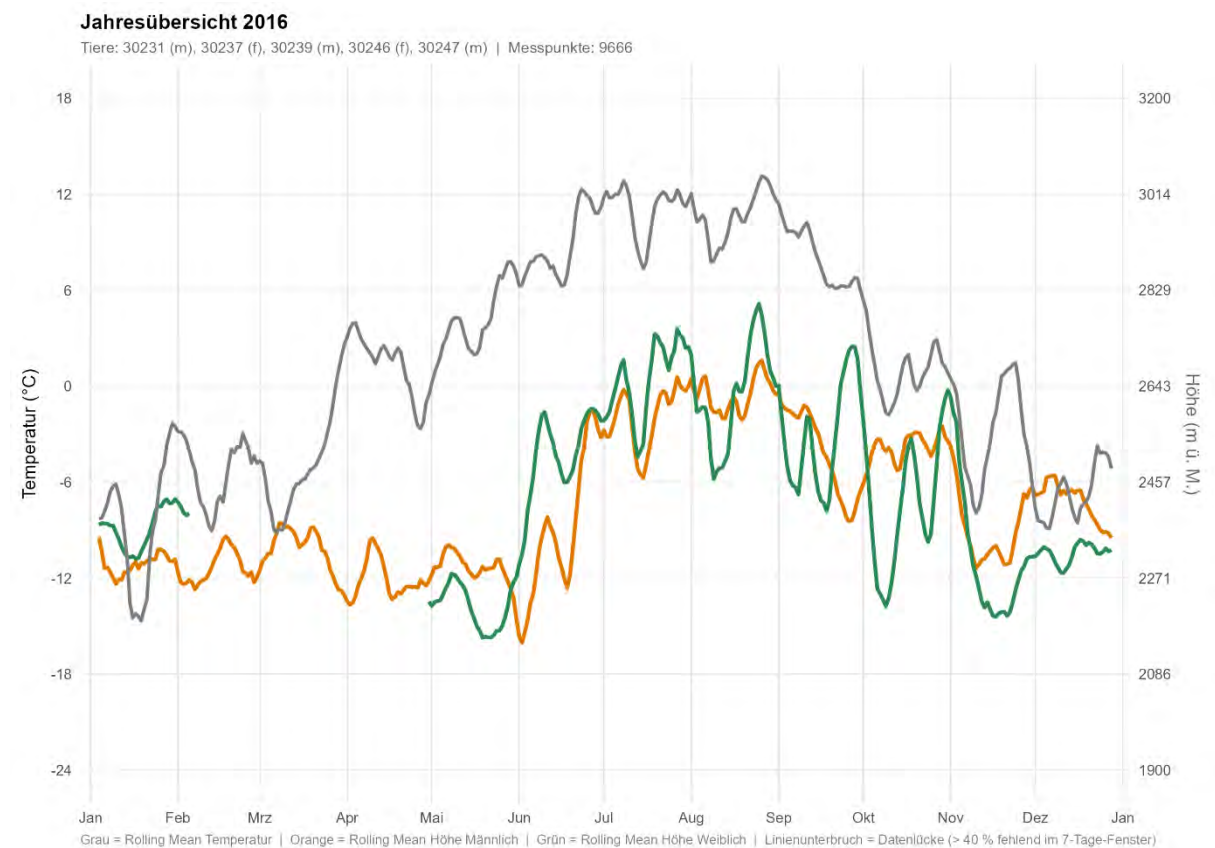


Abbildung 13 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2016. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen ein mittlere Aufenthaltshöhen zwischen ca. 2 120 und 2 800 m über den dokumentierten Zeitraum. Aussagen zu geschlechterspezifischen Unterschieden sind zwischen Januar und Anfang Februar sowie zwischen Mai und Dezember möglich. Die Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe der männlichen sowohl weiblichen Tier ist das ganze Jahr über erkennbar.

Über den gemeinsamen Erfassungszeitraum lagen die mittleren Aufenthaltshöhen der weiblichen Tiere über denen der männlichen Tiere. Die weiblichen Tiere reagierten deutlich stärker auf Temperaturveränderungen als die männlichen Tiere. Bei einem Temperaturanstieg von ca. 3–3,5 °C Mitte Juli stiegen die weiblichen Tiere um ca. 100 m mehr als die männlichen Tiere auf; beim anschließenden Temperaturabfall Anfang August unterschritten sie die Aufenthaltshöhe der männlichen Tiere ebenfalls um ca. 100 m. Die weiblichen Tiere legten in diesem Jahr bei vergleichbarer Erwärmung oder Abkühlung eine größere Höhendistanz zurück als die männlichen Tiere.



## Ergebnisse

Im Jahr 2017 wurden  $n = 7$  Tiere (ID 30239, ID 30246, ID 30247, ID 30250, ID 30251 und ID 30252) mit insgesamt 25 280 Messpunkten ausgewertet (siehe Abbildung 14).

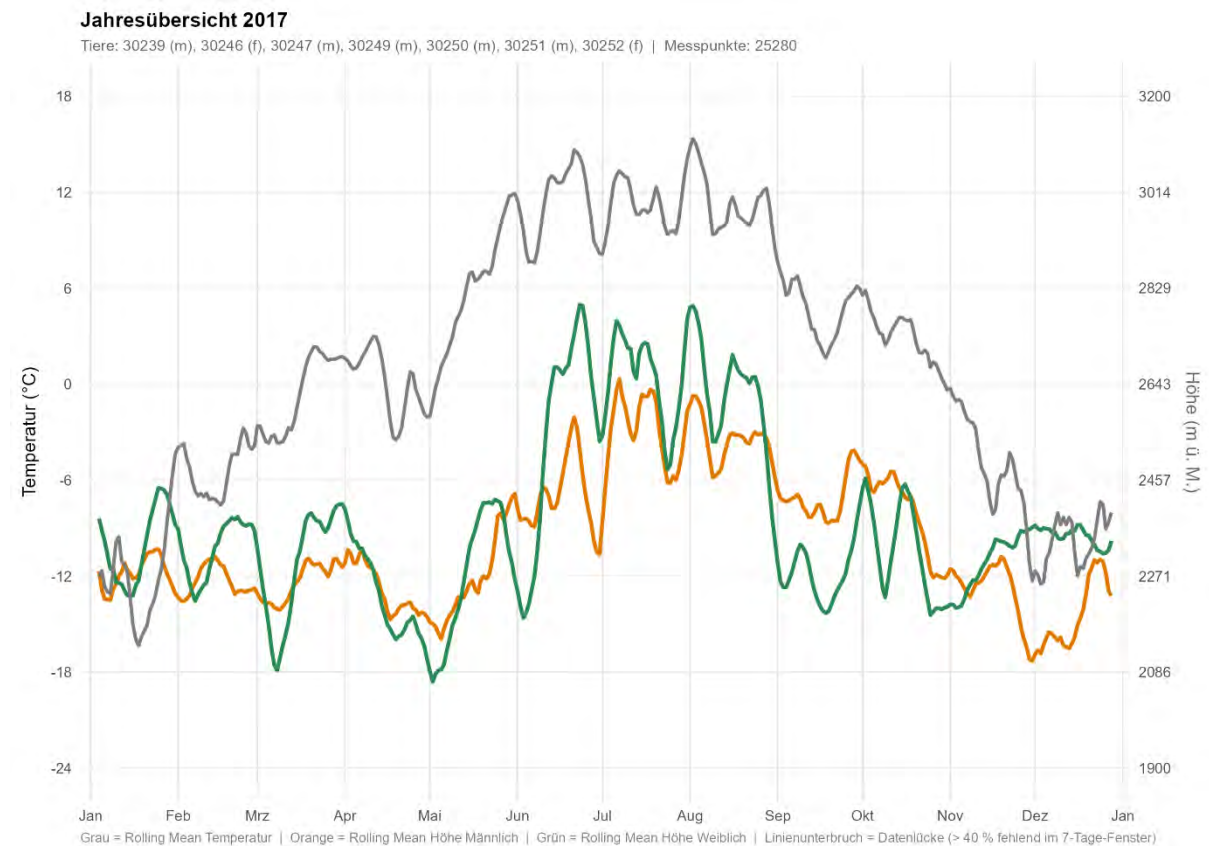


Abbildung 14 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2017. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die beiden Geschlechter nutzen eine mittlere Aufenthaltshöhe zwischen ca. 2 090 und 2 800 m über den dokumentierten Zeitraum. Die weiblichen Tiere hielten sich im Mittel auf höheren Lagen auf als die männlichen Tiere und legten im Jahresverlauf größere Höhendistanzen zurück. Ein Temperaturanstieg von durchschnittlich ca. 6 °C Anfang Juni führte bei den männlichen Tieren zu einem Höhenanstieg von ca. 190 m, bei den weiblichen Tieren zum gleichen Zeitraum um ca. 450 m. Beide Geschlechter reagierten sowohl auf Erwärmung als auch auf Abkühlung mit einer entsprechenden Verlagerung ihrer Aufenthaltshöhe.

## Ergebnisse

Im Jahr 2018 wurden  $n = 3$  Tiere (ID 30246, ID 30251 und ID 30252) mit insgesamt 2 989 Messpunkten ausgewertet. Weibliche Tiere wurden das ganze Kalenderjahr erfasst. Männliche Tiere bis Ende Februar (siehe Abbildung 15).

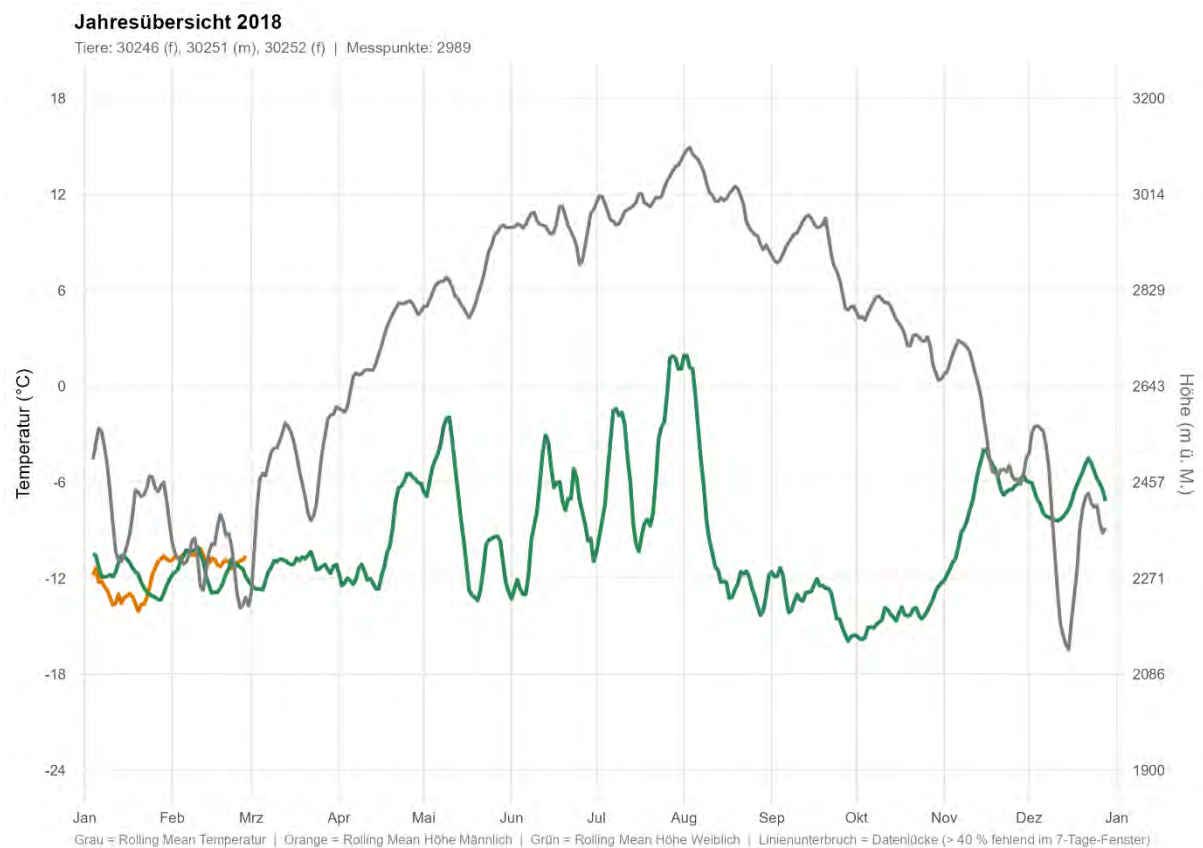


Abbildung 15 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2018. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Die weiblichen Tiere nutzen eine mittlere Aufenthaltshöhe zwischen ca. 2 150 und 2 700 m über den dokumentierten Zeitraum. Aufgrund der geringen Stichprobengröße und des begrenzten Erfassungszeitraums der männlichen Tiere sind die Aussagen für dieses Jahr eingeschränkt. Auch der geschlechterspezifische Vergleich ist nicht möglich. Für die weiblichen Tiere zeigt sich auch in den Wintermonaten eine Reaktion auf Temperaturveränderungen. Bei einem Temperaturanstieg von ca. 3 °C Mitte Februar stiegen die Tiere um ca. 50 Höhenmeter auf, wobei die Reaktion zeitlich verzögert und langsamer verlief als in den Sommermonaten. Im Sommer legte das weibliche Tier bei einer vergleichbaren Erwärmung Anfang Juli von ca. 3 °C rund 190 Höhenmeter zurück.

## Ergebnisse

Im Jahr 2019 wurde  $n = 1$  Tier (ID 30252) mit insgesamt 981 Messpunkten ausgewertet (siehe Abbildung 16).

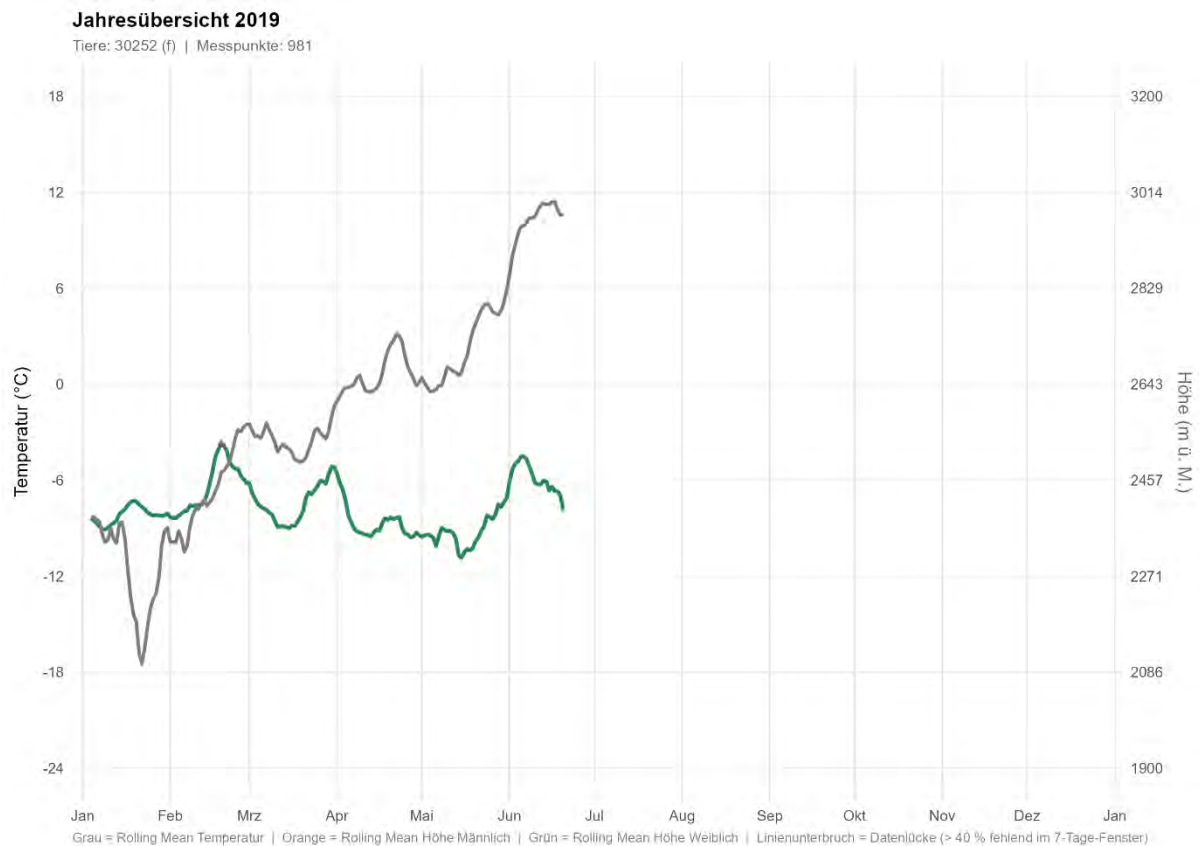


Abbildung 16 Verhältnis zwischen Temperatur (in Grau) und Aufenthaltshöhe der besenderten Tiere im Jahr 2019. In Grün die Höhe der weiblichen Tiere (f) und in Orange die Höhe der männlichen Tiere (m) (eigene Darstellung)

Aufgrund der sehr geringen Stichprobengröße ( $n = 1$ ) sind belastbare Aussagen über geschlechtsspezifische Unterschiede oder eine systematische Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe für dieses Jahr nicht möglich. Die Daten werden daher im Jahresvergleich nur eingeschränkt berücksichtigt.



## 5 Diskussion

Die Bachelorarbeit ergab drei Haupt-Ergebnisse. Erstens, nicht alle besenderten Steinböcke haben ihre Streifgebiete im Val Trupchun (Schweizerischen Nationalpark), sondern auch im angrenzenden Park Stifserjoch. Zweitens, männliche Tiere haben größere Streifgebiete und eine geringere Differenz zwischen Sommer- und Winterstreifgebieten als weibliche Tiere. Drittens, die Korrelation zwischen Aufenthaltshöhe und Temperatur ist im Sommer gegeben. Tiere reagieren auf ansteigende Temperaturen mit einer Verschiebung in die Höhe. Diese ist im Gesamtdurchschnitt bei männlichen Tieren stärker ausgeprägt als bei weiblichen Tieren.

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse zu den Streifgebieten und der Korrelation diskutiert, anschließend werden die Einschränkungen der Untersuchung genannt.

### 5.1 Interpretation der Sommer- und Winterstreifgebiete

#### Streifgebiete vorwiegend im Val Trupchun

Die Tiere halten sich überwiegend im Val Trupchun und angrenzenden Val Chaschauna, Val Sassa, Val dal Diavel, Val da l'Acqua, Val Trenzera, Val del Cantone auf. Die Streifgebiete der 29 Tiere überlappen sich mehrfach. Auch Kerngebiete verschiedener Individuen befinden sich teilweise auf den gleichen Flächen. Dies spricht für Interaktion zwischen den Tieren (Nievergelt, 1966; Parrini et al., 2009), was angesichts der Sozialstruktur der Population zu erwarten ist. Geißen halten sich das ganze Jahr über in Herden auf und ziehen darin gemeinsam die Jungtiere auf. Böcke stoßen nur zur Brunft und Paarung zur Gruppe und leben den Rest des Jahres getrennt von den Geißen. Die weiblichen und männlichen Tiere sind deswegen vorwiegend im Winter auf ähnlichen Höhen unterwegs und begegnen sich zu dieser Zeit (Brambilla, Bassano, et al., 2020; Brambilla, Von Hardenberg, et al., 2020; Hindenlang & Nievergelt, 1995; Parrini et al., 2009).

Mit der AKDE-Methode werden unter Berücksichtigung der GPS-Punkte und dem Bewegungsmodell Flächen berechnet. So liegt etwas bei ID 30208 ein Teil des berechneten Streifgebietes innerhalb eines Sees, ein Bereich, der mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht tatsächlich genutzt wird. Dies ist ein bekanntes methodisches Problem von KDE und AKDE (Noonan et al., 2019).

Bei der Analyse wurde für keinen Datensatz das IID-Bewegungsmodell der klassischen KDE gewählt, was zeigt, dass alle Datensätze autokorreliert waren, unabhängig davon, ob die Messintervalle bei acht Messungen pro Tag oder stündlich lagen. Dies stimmt mit aktueller Literatur überein, welche aussagt, dass Autokorrelation in modernen GPS-Datensätzen vorkommt und eine angepasste Methode zur Berechnung braucht (Fleming et al., 2015; Fleming & Calabrese, 2017; Seaman & Powell, 1996; Silva et al., 2022).

### Männliche Tiere haben größere Streifgebiete als weibliche Tiere

Die Untersuchung ergab, dass männliche Steinböcke größere Streifgebiete haben als weibliche Tiere. Im Sommer liegt der geometrische Mittelwert (für 95 % Isophlete) des Streifgebiets bei den Böcken bei 991 ha und bei den Geißen bei 554 ha. Im Winter sind die Gebiete bei den Böcken bei 688 ha und bei den Geißen bei 56,3 ha groß. Diese Zahlen sind ein sichtbarer Unterschied zwischen den Streifgebieten der männlichen und weiblichen Tiere. So hat, als Beispiel ID 30200 ein weiblicher Steinbock (Streifgebiet Sommer 457,49 ha) im Vergleich zu ID 30195 männlicher Steinbock (Streifgebiet Sommer 1 484,79 ha) ein viel kleineres Sommerstreifgebiet (siehe Anhang 9.1 Tabelle aller Streif- und Kerngebiete).

Das Ergebnis unterstützt auch die Studien, die die Streifgebiete von männlichen und weiblichen Tieren im Gran Paradiso untersucht haben (Grignolio et al., 2004; Parrini et al., 2003). Die geschlechterspezifische Trennung führt dazu, dass die weiblichen Tiere in Herden die Jungtiere aufziehen. Eine mögliche Erklärung ist, dass das Vorhandensein von Kitzen bei weiblichen Tieren zu kleineren Streifgebieten führt als bei männlichen Tieren. Es wird aufgezeigt, dass weibliche Tiere mit Jungtieren Flächen nutzen, welche bis zur Hälfte kleiner sind als die Flächen von Geißen, welche keine Jungtiere an der Seite haben (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007). Das kann ein Grund sein, warum das Gesamtverhältnis zwischen männlichen und weiblichen Streifgebieten so unterschiedlich ist. Zusätzlich wandern männliche, insbesondere größere Tiere zur Hitzeregulation in höhere Lagen (Aublet et al., 2009), wodurch sie insgesamt mehr in Bewegung sind. Aber auch Weibchen sind während heißen Perioden mehr in Bewegung um größere Strecken in kühlere Höhen zu schaffen (Grignolio et al., 2004).

Männliche Tiere wie ID 30218, ID 30195 und ID 30227 weisen größere Winterstreifgebiete auf als die übrigen männlichen Tiere (siehe Anhang 9.2 Variogramm). Es handelt sich dabei um mittelalte Böcke (sechs bis acht Jahre alt), die stärker durch den Raum wandern als sehr junge oder alte Tiere. Denn im Winter, zur Brunft, bewegen sich diese Böcke vermehrt durch die Landschaft auf der Suche nach weiblichen Tieren (A. Bognalia & S. Gubler, persönliche Kommunikation, 21. Mai 2026; Brambilla et al., 2022). Das unterstützt auch die Studie, welche aufzeigt, dass junge und subadulte Böcke in der Paarungs-Hierarchie weit unten stehen. Ihre soziale Geschlechtsreife beginnt im Alter von neun Jahren, was diese spezifischen Böcke dazu bewegt haben kann, dass sie nun vermehrt Weibchen suchen (Brambilla et al., 2022). Diese umherstreifenden Tiere ziehen den Mittelwert der Böcke stark nach oben. Deswegen wurde auch das Winterstreifgebiet von ID 30195 mit 15 011,80 ha entfernt, da es sich weit von den anderen Streifgebieten unterscheidet (siehe Abbildung 17). Dies war dem Umstand geschuldet, dass zu dem Zeitpunkt die Info noch nicht bekannt war, dass mittelalte Böcke viel wandern können. Demnach wurde das Streifgebiet, im Vergleich zu anderen Böcken als zu groß empfunden. Durch das Entfernen wurde das Ergebnis manipuliert, was nicht notwendig war.

## Diskussion

Doch die Zahlen zeigen weiterhin deutlich: männliche Tiere nutzen größere Streifgebiete als weibliche Tiere.

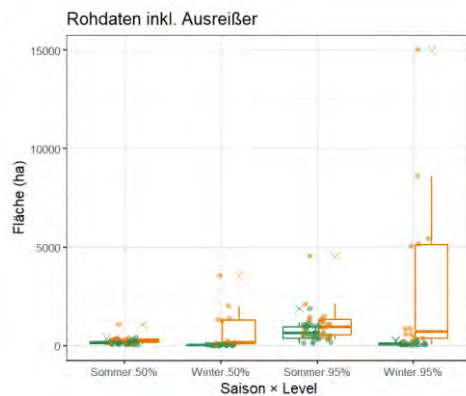


Abbildung 17 Rohdaten der saisonalen und geschlechterspezifischen Unterschiede in der Größe der Streifgebiete der besenderten Steinböcke (eigene Darstellung)

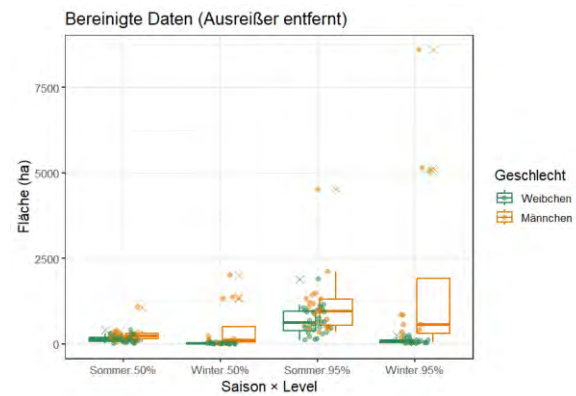


Abbildung 18 Bereinigte Daten der saisonalen und geschlechterspezifischen Unterschiede in der Größe der Streifgebiete der besenderten Steinböcke (eigene Darstellung)

Im Vergleich dazu zeigt der ebenfalls sieben Jahre alte Bock ID 30251 im Winter mit 183,29 ha ein Streifgebiet, das dem Durchschnitt der übrigen besenderten Böcke entspricht. Dieses Tier ist zwar ebenfalls mittelalt, hielt sich im Winter jedoch ortsfest an einem Standort auf. Die Gründe dafür sind nicht ersichtlich und bedürfen weitere Untersuchungen.

Ein auffälliges Ergebnis ist die asymmetrische Saisonalität der Tiere. Weibchen reduzieren ihr Kerngebiet von Sommer auf Winter um den Faktor  $\sim 10$  ( $554 \rightarrow 56,3$  ha geometrischer Mittelwert), während Männchen ihre Fläche um den Faktor  $\sim 1,4$  verkleinern ( $991 \rightarrow 688$  ha geometrischer Mittelwert). Das legt nahe, dass Weibchen im Winter deutlich weniger aktiv sind, während Männchen weiterhin großräumig unterwegs bleiben, wobei hier Mittelwert, wie oben beschrieben, durch einzelne weit wandernde Tiere nach oben verzerrt wird. Es gibt einzelne Böcke, welche im Vergleich zum Sommer ihr Streifgebiet im Winter auch stark verkleinern. Dies spiegelt sich im weiten Konfidenzintervall wider:  $421 - 1126$  ha. Es zeigt eine hohe individuelle Variation, was an den verschiedenen Altersstadien der Tiere liegen kann. Mittelalte Böcke, welche in ihrem Status das erste Mal bei der Paarung eine Chance haben, wandern vermehrt durch die Gegend; im Vergleich zu älteren und ganz jungen Böcken (A. Bognalia & S. Gubler, persönliche Kommunikation, 21. Mai 2026; Brambilla et al., 2022).

### Streifgebiete im Sommer sind größer als im Winter

Die Streifgebiete der Tiere sind im Sommer größer als im Winter. Im Sommer liegt der geometrische Mittelwert bei 991 ha für die Böcke und 554 ha bei den Geißen. Im Winter sind es 688 ha bei den Böcken und 56,3 ha bei den Geißen. Das lässt sich durch mehrere Faktoren erklären: Im Sommer folgen Tiere dem Beginn der Vegetationsperiode in höhere Lagen (Chauveau et al., 2025), wodurch sie sich insgesamt mehr bewegen. Hinzu kommt die zusätzliche Bewegung im Rahmen der Hitzevermeidungsstrategie. Steinböcke passen sich

durch Höhenverschiebungen an Temperaturen an (Anderwald et al., 2024; Aublet et al., 2009; Büntgen et al., 2017), was zu einer größeren Flächennutzung führt. Im Winter sind sie an die kalte Jahreszeit gut angepasst und wandern deswegen weniger als Hitzestrategie, zudem sind die Tiere durch die Schneemengen in ihrer Mobilität eingeschränkt (Parrini et al., 2003).

### Vergleich Streifgebiete mit anderen Studien

Der Vergleich mit anderen Studien zeigt grundsätzlich ähnliche Muster: Einerseits sind die Streifgebiete im Sommer bei beiden Geschlechtern größer als im Winter, andererseits nutzen männliche Tiere größere Gebiete als weibliche Tiere. Parrini et al. (2003) ermitteln für männliche Tiere am Gran Paradiso mittels KDE deutlich größere Sommer- (175-300 ha) als Winterstreifgebiete (50-75 ha). Grignolio et al. (2004) zeigen für weibliche Tiere ein vergleichbares saisonales Muster: Die Streifgebiete variieren je nach Jahr zwischen 147,4 und 263,0 ha im Sommer sowie zwischen 35,8 und 95,2 ha im Winter. Dieser saisonale Größenunterschied der Streifgebiete wurde auch bei dieser Arbeit beobachtet (siehe Tabelle 6) und lässt sich mit anderen Studien abgleichen. Diese verwenden andere methodische Verfahren (KDE und MCP), wodurch die Zahlen der Streifgebietsgrößen nicht mit den Zahlen dieser Arbeit vergleichbar sind. Der übergeordnete Befund, dass die Tiere im Sommer größere Gebiete nutzen als im Winter, stimmt jedoch mit anderen Studien überein.

Für männliche Alpensteinböcke berichten Scillitani, Sturaro, Monaco et al. (2012) eine durchschnittliche Jahresstreifgebietsgröße von 194 ha mit einer sehr großen Spannweite von 11,9 bis 1612,0 ha. Diese hohe Variabilität passt zu den in dieser Untersuchung beobachteten Daten: Bei den männlichen Tieren reicht die Spannweite der Sommerstreifgebiete von 661 bis 1485 ha. Das deutet darauf hin, dass kein einheitliches Bewegungsmuster bei männlichen Tieren vorliegt; Jüngere und älteren Böcke sind eher standorttreu, während mittelalte Böcke auf der Suche nach Habitaten und Weibchen weiter durch die Landschaft wandern (A. Bognalia & S. Gubler, persönliche Kommunikation, 21. Mai 2026; Scillitani, Sturaro, Monaco, et al., 2012). Dieser Umstand erschwert allerdings auch den Vergleich mit anderen Studien, da das Alter der Tiere darin oft nicht angegeben wird.

Diese Arbeit zeigt einen Unterschied in der Größe der Streifgebiete zwischen weiblichen und männlichen Tieren. Männliche Tiere tendieren dazu größere Flächen zu nutzen. Dies kann einerseits an den eben genannten individuellen Eigenschaften und dem Alter und damit bedingten verändertem Raumverhalten liegen. Auf der anderen Seite kann es auch darin begründet sein, dass Geißen die Jungtiere aufziehen. Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al. (2007) zeigen auf, dass Geißen mit Jungtieren bis zur Hälfte kleiner Streifgebiet nutzen als Geißen, welche keine Jungtiere aufziehen.

Studien, die die neuere Methode AKDE berücksichtigen, stellen fest, dass klassische Methoden wie KDE und MCP Streifgebiete kontinuierlich unterschätzt haben. Diese frühere Unterschätzung ist für Management und Monitoring relevant: Um Tiere bei Relokationen

sinnvoll in neue Gebiete einzubringen, muss die tatsächliche Streifgebietsgröße bekannt sein, da die Tiere sonst der vorhandenen Landschaft schaden können (Giacometti, 1991; Marchand et al., 2025). Andererseits wird argumentiert, dass AKDE die Streifgebiete überschätzt und unrealistisch groß darstellt (Morollón et al., 2022). Die berechnete Fläche kann bis zu doppelt so groß ausfallen wie bei konventionellen Methoden wie KDE oder MCP, die unabhängige und identisch verteilte Daten voraussetzen. Dies liegt daran, dass bei AKDE auch Flächen errechnet werden, welche auf Grund individueller Bewegung des Tieres als mögliches Streifgebiet gezählt werden und nicht nur die tatsächlich aufgezeichneten GPS-Punkte. Dadurch gelten die mit AKDE berechneten Flächen als genauer (Noonan et al., 2019).

## 5.2 Interpretation der Korrelation zwischen Temperatur und Höhe

### Korrelation zwischen Temperatur und Höhe

Eine Korrelation zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe ist vor allem im Sommer zu erkennen. Dabei kreuzen sich die Aufenthaltslinien der Geschlechter im Jahresverlauf (siehe Abbildung 3). Bei niedrigeren Temperaturen halten sich die Weibchen leicht höher auf als die Männchen, mit steigender Temperatur steigt die Linie der Böcke jedoch steiler an und überholt die Weibchen. Eine mögliche Erklärung ist, dass männliche Steinböcke deutlich größer und schwerer sind als weibliche Steingeißen und dadurch mehr Körperwärme erzeugen (Aublet et al., 2009; Parrini et al., 2009). Als Thermoregulation weichen sie bei Hitze in höhere Lagen aus (Aublet et al., 2009). Weibchen haben zudem ab Juni Jungtiere bei sich, was ihre Mobilität einschränken kann (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007). Insgesamt reagieren beide Geschlechter im Sommer merklich auf die Temperatur, wobei die Linie der männlichen Tiere steiler ausfällt, was auf eine stärkere Reaktion hindeutet. Im Winter ist das Ergebnis zwischen Temperatur und Aufenthaltshöhe nicht signifikant (Männchen:  $p = 0,236$ ; Weibchen:  $p = 0,336$ ), es besteht keine erkennbare Verbindung zwischen Aufenthaltshöhe und Temperatur.

Andere Studien sind auch zu dem Ergebnis gekommen, dass männliche Tiere sich im Sommer in höheren Lagen aufhalten als weibliche Tiere und im Winter niedrigere Bereiche nutzen (Herfindal et al., 2019). Die in dieser Arbeit untersuchten Tiere zeigen zum Teil anderes Verhalten. Es gibt einige Jahre, in denen sich die besenderten weiblichen Tiere im Sommer deutlich über den männlichen Tieren aufhalten (siehe v.a. Abbildung 6, Abbildung 10, Abbildung 11). Genauso gibt es Jahre, in denen die männlichen Tiere im Vergleich höhere Gebiete nutzen. Aus Abbildung 5 und Abbildung 8 ist deutlich herauszulesen, dass sich männliche Tiere bei höheren Temperaturen im Sommer leicht über den weiblichen Tieren aufhalten. Das kann an individuellen Eigenschaften liegen (Börger et al., 2008) und bedarf weiterer Untersuchungen.

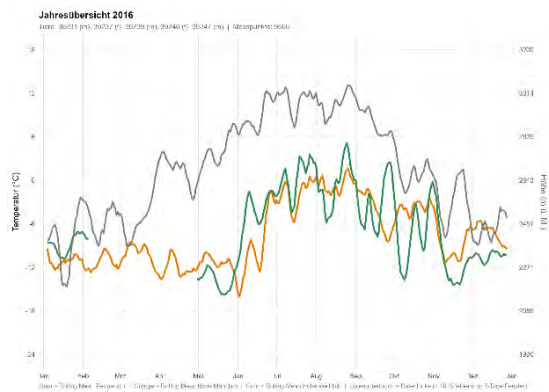


Abbildung 19 Jahresübersicht 2016 mit der Temperaturlinien in Grau, den besenderten Geißen in Grün und den Böcken in Orange dargestellt (eigene Darstellung)

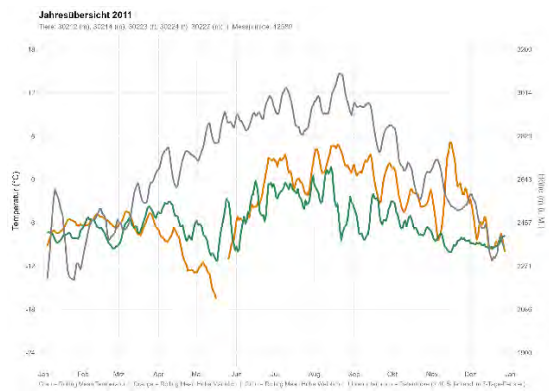


Abbildung 20 Jahresübersicht 2011 mit der Temperaturlinien in Grau, den besenderten Geißen in Grün und den Böcken in Orange dargestellt (eigene Darstellung)

Die Sensibilität der weiblichen Tiere ist aus der Grafik (siehe Abbildung 16) erkennbar. Es gibt Jahre, in denen die Geißen stärker mit Auf- und Abwärtsbewegungen auf Temperaturveränderungen reagieren. Es könnte daran liegen, dass die besenderten Tiere keine Jungtiere dabei hatten und somit in der Bewegung freier in ihrer Standortwahl waren (Grignolio, Rossi, Bertolotto, et al., 2007). Es kann aber genauso gut an den individuellen Eigenschaften der Tiere liegen (Börger et al., 2008). Somit ist keine abschließende Aussage zu treffen, es lässt sich lediglich ein erster Hinweis ableiten, der auf den Bedarf an weitere Forschung verweist. Die Eigenschaft von Böcken im Frühling über zwei Monate hinweg (März bis Mai) in tiefere Gebiete abzustiegen und danach wieder in höhere Gebiete aufzusteigen (siehe Abbildung 5 und Abbildung 8) stimmt mit den Ergebnissen der Studien von Herfindal et al. (2019) überein (vgl. Herfindal et al. 2019 Fig.3).

Andere Studien zeigen auf, dass der Steinbock besonders im Frühling und Sommer auf Temperaturen reagiert. Die Tiere nutzen höhere Lagen (Herfindal et al., 2019; Mason et al., 2017b), und weisen im Jahresverlauf große Schwankungen in der Höhenwahl auf (Parrini et al., 2009). Diese Schwankungen wird der Steinbock weiter beibehalten, da es ein Umgang mit der Hitze für ihn ist (Aublet et al., 2009). Die Studie zeigt auch, dass beide Geschlechter stark auf Wetter und Klima reagieren, besonders im Sommer (Herfindal et al., 2019). Das passt mit den aufgezeigten Ergebnissen dieser Untersuchung überein. Auch intra- und interspezifische Konkurrenz kann das Verhalten von Huftieren beeinflussen (Ferretti et al., 2011; Herfindal et al., 2019; Mason et al., 2017a), was bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurde.

Die Höhe der Tiere im SNP liegt im Sommer zwischen 2 300 und 2 700 m und im Winter bei 2 300 m. Die Tiere im SNP sind im Vergleich mit einer ähnlichen Studie im GNP im Winter in höheren Lagen unterwegs, dort halten sich die Steinböcke im Winter in Lagen bei 2 150 m und im Sommer bei 2 700 m auf (Parrini et al., 2003). Im Winter darf der Schweizer Nationalpark nicht betreten werden. Die Tiere haben damit sehr viel Fläche, auf der sie nicht gestört werden. Warum sie sich in höheren Lagen aufhalten, könnte an der unterschiedlichen Höhe der Baumgrenze (Menzinger, 2018) liegen, welche im SNP bei circa 2 150 m und im GNP bei

1 970 m liegt. Da sich die Steinböcke vermehrt über der Baumgrenze auf alpinen Rasen aufhalten, kann das ein Grund sein, warum die besenderten Tiere im SNP höhere Lagen nutzen als Tiere im GNP.

### 5.3 Einschränkungen und auftretende Schwierigkeiten

Bei der Arbeit sind Schwierigkeiten aufgetreten, welche im Folgenden offengelegt werden, damit ähnliche Untersuchungen diese berücksichtigen können.

Die Definition der Saisonen erfolgte aufgrund ähnlicher Studien zum Steinbock (Herfindal et al., 2019; Parrini et al., 2009; Scillitani, Sturaro, Monaco, et al., 2012). Diese definieren Sommer von Juni bis August und Winter von Dezember bis Februar. Diese Zeiträume sind stark an der Klimatologie orientiert. Im Juni ist es, je nach Lage, oft noch frühlingshaft in den Bergen. Deswegen würde die Definition von Sommer ab Juli bis September wie bei Hofmann & Nievergelt (1972) sinnvoll erscheinen. Diese Studie definiert zum Beispiel den Winter über einen Zeitraum von fünf Monaten. Um die Vergleichbarkeit der Länge zwischen Sommer und Winter zu gewährleisten, wurden beide Saisonen mit drei Monaten definiert. In zukünftigen Forschungen könnten die Saisonen stärker anhand der Biologie der Tiere definiert werden, etwa über den Fellwechsel, welchen Adeline Bognalia angesprochen hat (A. Bognalia & S. Gubler, persönliche Kommunikation, 21. Mai 2026) oder über Migrationsbewegungen, wie bei Chauveau et al. (2024). Diese Detailschärfe war im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich, würde aber in folgenden Arbeiten mehr Klarheit ergeben.

Ein Kriterium war einerseits die Länge einer Saison, andererseits, dass an mindestens 60 Tagen dieser Saison ein GPS-Punkt vorliegt. Diese Filterung führte dazu, dass einige Saisonen ausgeschlossen wurden und zwei von den 31 Tieren nicht analysiert wurden. Eine gültige Saison umfasst somit 60 bis 91 Tage. Es gibt keine Definition, dass von allen in Frage kommenden Tieren dann auch gleichviele Tage zur Analyse genutzt werden. Es kann nun also nicht komplett ausgeschlossen werden, dass Tiere mit mehr Punkten auch größere Streifgebiete aufweisen. In Zukunft sollte dies kontrolliert oder die Anzahl der genutzten GPS-Punkte einheitlich festgelegt werden.

Die analysierten Tiere zeigten teils variables Verhalten, was auf ausgeprägte individuelle Unterschiede hinweist. Diese Verhaltensweisen zeigen sich durch verschieden große Streifgebiete oder jährlich unterschiedliche Schwankungen in den Aufenthaltshöhen und den Reaktionen auf Erwärmung. Durch die Berücksichtigung eines Zufallsfaktors hätte man die individuellen Eigenschaften einbezogen (z. B. Bolker et al. 2009), was bei dieser Untersuchung nicht angewandt wurde.

Wie bei allen Kerndichteschätzungen sind auch bei AKDE harte geografische Grenzen ein Problem (Noonan et al., 2019). Deswegen werden manche Streifgebiete an Orten

ausgewiesen, welche in der Realität nie von einem Steinbock genutzt werden können (siehe Anhang 9.5 Karten der Streifgebiete, Beispiel ID 30208).

Die Temperaturdaten, welche für die Korrelation genutzt wurden, stammen von einer Wetterstation nordwestlich der Schutzgebietsgrenze. Dies hat zu einer groben, aber nicht sehr präzisen Visualisierung ausgereicht, da sich einige Tiere auf der italienischen Seite des Nationalparks Stilfserjochs aufgehalten haben, wo die Temperatur möglicherweise nicht mit den gemessenen Werten der Station Buffalora übereinstimmt.

Auch wurde bei der Korrelation die Tagesdurchschnittshöhe der Tiere verwendet. Mit der Methode running mean wurden zusätzlich die durchschnittliche Höhe drei Tage davor und drei Tage danach miteinbezogen. Jedoch können Steinböcke innerhalb eines Tages viele Höhenmeter überbrücken (Aublet et al., 2009). Dies kann dazu führen, dass die Ergebnisse zu sehr vereinfacht wurden. Genauere Untersuchungen könnten bessere Einblicke liefern.

Die Erstellung des Variogramms war ein Schritt in der Analyse, um aufzuzeigen, ob ein Tier ein Streifgebiet aufweist. Die Grafiken wurden zur Diskussion und Unterstützung einzelner Tiere und deren Bewegungsmuster herangezogen, jedoch nicht für alle Tiere tiefergehend analysiert. Die Grafiken haben Potential genutzt zu werden, um weitere Aussagen zu treffen.

### **5.4 Ausblick auf weitere Forschung**

Weitere Forschung wäre sinnvoll, um die Streifgebietsgrößen der Alpensteinböcke anhand von MCP, KDE und AKDE direkt zu vergleichen und zu prüfen, ob klassische Methoden (KDE und MCP) auch bei dieser Huftierart die tatsächliche Flächennutzung unterschätzen, wie es die Literatur nahelegt (Fleming et al., 2015). Auch detailliertere Untersuchungen der Streif- und Kerngebietsüberschneidungen würden aussagekräftigere Ergebnisse liefern. Dass Überschneidungen vorhanden sind, lässt sich anhand der visuellen Karten bereits erkennen, doch wie groß diese Flächen tatsächlich sind und ob sich bei längeren Datenreihen Tendenzen herauslesen lassen, bleibt offen. Ungeklärt bleibt zudem, warum die besenderten Weibchen in manchen Jahren deutlich stärker auf Erwärmung reagieren als die Männchen, obwohl bei der gesamten Übersicht der Tiere deutlich erkennbar ist, dass Böcke stärker auf ansteigende Temperaturen reagieren. Ob individuelle Eigenschaften oder andere Faktoren die Geißen zu größeren Höhenbewegungen veranlassen, könnte Gegenstand weiterer Studien sein.



## 6 Fazit

In der Untersuchung wurde dargelegt, dass sich die 29 Tiere, welche zwischen 2007 und 2019 mit GPS-Sendern besendert wurden im SNP, im Val Trupchun und in angrenzenden Tälern aufhalten. Ihr Streifgebiet und Kerngebiet überschneiden sich mehrfach, was darauf hinweist, dass es sich um Interaktionen der Population handelt. Weitere Aussagen wurden über die Größe der Streif- und Kerngebiete der männlichen und weiblichen Tiere sowie im Vergleich zu den Saisonen Sommer und Winter getroffen. Dabei wurde deutlich, dass Böcke größere Streifgebiet haben als weibliche Tiere, was durch andere Studien zum Raumverhalten von Steinböcken unterstützt wird. Diese Untersuchung zeigt auf, dass die Gebiete bei beiden Geschlechtern im Sommer größer sind als im Winter. Dabei verringern Geißen die Größe des Gebiets im Vergleich zu den Böcken merklich.

Auch die Korrelation zwischen der Temperatur und der Aufenthaltshöhe der beiden Geschlechter ergibt verschiedene Erkenntnisse. Im Winter wird keine signifikante Verbindung zwischen der Temperatur und der Höhe festgestellt. Das heißt, die Aufenthaltshöhe der Tiere ist zu der Saison durch andere Faktoren wie Schneehöhe und Nahrungsverfügbarkeit bestimmt. Im Sommer gibt es eine Korrelation zwischen den beiden Faktoren. Männliche Tiere reagieren später aber dann stärker auf ansteigende Temperaturen. Sie halten sich dadurch leicht über den weiblichen Tieren auf. Dies liegt hauptsächlich an den größeren Körpern und der folglich vermehrt produzierten Wärme der Böcke. In der Analyse der einzelnen Jahre sind große Unterschiede zu erkennen. Es gibt Jahre in denen die weiblichen Tiere sich sichtbar in höheren Lagen als die männlichen Tiere aufhalten. Dies lässt auf starke individuelle Unterschiede schließen, welche in weiteren Studien untersucht werden könnten.

Für die Praxis bedeuten diese Erkenntnisse, dass die Lebensräume der Alpensteinböcke weiterhin geschützt werden müssen, so wie es im SNP bereits umgesetzt wird. Dabei sollte der Fokus nicht nur auf bestehenden Schutzgebieten liegen, sondern auch darauf, wo im Alpenbogen die Tiere langfristig geeignete Habitate finden können. Tiere zu beobachten und ihr Verhalten zu analysieren ist ein wichtiger Faktor der Biologie, welcher auch Relevanz für das Management hat. Nur durch das Wissen, wo sich die Tiere aufhalten und wie sie auf bestimmte Faktoren reagieren, lassen sich Schutzmaßnahmen sinnvoll gestalten. Denn auch außerhalb von Schutzgebieten können Störungen durch Besucherlenkung, Informationsangebote und zeitliche Beschränkungen in sensiblen Phasen der Aufzucht vermindert werden. Monitoring ist notwendig, um langfristige Effekte und Unterschiede in den Populationen zu erfassen und adaptive Managemententscheidungen zu ermöglichen. Deswegen ist es wichtig Alpensteinböcke sowie andere Arten in ihrer Entwicklung zu beobachten, um nicht zu reagieren, sondern um agieren zu können.

## 7 Kenntlichmachung von KI

In dieser Bachelorarbeit wurde Künstliche Intelligenz, wie in Kapitel 3.4 Statistische Auswertung in R erwähnt, eingesetzt. Hier eine Übersicht wie die KI weiterhin genutzt wurde.

*Tabelle 7 Übersicht zur Kenntlichmachung von genutzter KI (eigene Darstellung)*

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Genutzte KI           | Claude.ai                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Claude.ai                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Anbieter              | Anthropic PBC                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Anthropic PBC                                                                                                                                                                                                                                             |
| Art der Nutzung       | Unterstützung beim generieren von Codes für R. Für AKDE und Korrelation zwischen Höhe und Temperatur                                                                                                                                                                                                              | Als Formulierungshilfe bei holprig klingenden Passagen im textlichen Teil                                                                                                                                                                                 |
| Datum                 | 25.03.2026<br>30.03.2026<br>07.04.2026<br>08.04.2026<br>19.04.2026<br>21.05.2026                                                                                                                                                                                                                                  | 16.05.2026<br>18.06.2026<br>19.06.2026<br>22.06.2026<br>25.06.2026                                                                                                                                                                                        |
| Reflexion der Nutzung | Auf der einen Seite bin ich sehr froh, dass ich die Arbeit in der Form, mit Unterstützung von KI, durchführen und solche neuen Anwendungen erlernen konnte. Auf der anderen Seite habe ich dadurch nicht die Fähigkeit zu coden erlernt, sondern meine Fertigkeit ausgebaut Anweisungen für eine KI zu schreiben. | Bei früheren Modulen waren meistens noch andere Personen mit involviert, welche die Arbeit mehrmals gelesen haben. Da dies nun weggefallen ist fand ich es erleichternd Korrekturvorschläge an schon geschriebenen Texten in minimaler Weise vorzunehmen. |

## 8 Literaturverzeichnis

- ©IUCN. (2026, Mai 13). *IUCN Green List of Protected and Conserved Areas*. IUCN Green List of Protected and Conserved Areas. <https://iucn.org/resources/conservation-tool/iucn-green-list-protected-and-conserved-areas>
- Amos, G., Marchand, A., Schneiter, A., & Sorg, A. (2007). Gran Paradiso: Erkenntnisse aus der sich natürlich regulierenden Steinbockpopulation | Gran Paradiso: Conclusions from the naturally regulated Capricorn population. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, 158(11), 349–352. <https://doi.org/10.3188/szf.2007.0349>
- Anand, G., Fleming, C. H., Krishnan, A. G., Lamb, C. T., Medici, E. P., Prugh, L. R., Calabrese, J. M., & Fagan, W. F. (2025). *Estimating population range distributions from animal tracking data*. *Ecology*. <https://doi.org/10.1101/2025.09.02.673746>
- Anderwald, P., Buchmann, S., Rempfler, T., & Filli, F. (2024). Weather-dependent changes in habitat use by Alpine chamois. *Movement Ecology*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40462-024-00449-x>
- Apollonio, M., Brivio, F., Rossi, I., Bassano, B., & Grignolio, S. (2013). Consequences of snowy winters on male mating strategies and reproduction in a mountain ungulate. *Behavioural Processes*, 98, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.05.001>
- Apollonio, M., Ciuti, S., & Pedrotti, L. (2010). *Ungulates and their management in Italy*. <https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=ycg5PtQPugC&oi=fnd&pg=PA475&dq=+Pedrotti+1995+ibex&ots=JvEeEzLRLJ&sig=83IAewnaSpqyEuYxZ5KYIjYZHyg#v=onepage&q=ibex&f=false>
- Aublet, J.-F., Festa-Bianchet, M., Bergero, D., & Bassano, B. (2009). Temperature constraints on foraging behaviour of male Alpine ibex ( *Capra ibex* ) in summer. *Oecologia*, 159(1), 237–247. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1198-4>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using **lme4**. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

- Biebach, I., & Keller, L. F. (2009). A strong genetic footprint of the re-introduction history of Alpine ibex. *Molecular Ecology*, 18(24). Online verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-294X.2009.04420.x>
- Boitani, L., & Fuller, T. K. (2000). *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences: Methods and Cases in conservation science*. Columbia University Press.
- Börger, L., Dalziel, B. D., & Fryxell, J. M. (2008). Are there general mechanisms of animal home range behaviour? A review and prospects for future research. *Ecology Letters*, 11(6), 637–650. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01182.x>
- Börger, L., Franconi, N., De Michele, G., Gantz, A., Meschi, F., Manica, A., Lovari, S., & Coulson, T. (2006). Effects of sampling regime on the mean and variance of home range size estimates. *Journal of Animal Ecology*, 75(6), 1393–1405. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01164.x>
- Brambilla, A., Bassano, B., Biebach, I., Bollmann, K., Keller, L., Toïgo, C., & Von Hardenberg, A. (2020). Alpine ibex *Capra ibex* Linnaeus, 1758. In *Handbook of the Mammals of Europe* (S. 1–27). Springer International Publishing. Online verfügbar unter: [https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-65038-8\\_32-1](https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-65038-8_32-1)
- Brambilla, A., Von Hardenberg, A., Bassano, B., Ranghetti, L., Keller, L., & Festa-Bianchet, M. (2024). Climate drives body mass changes in a mountain ungulate: Shorter winters lead to heavier Alpine ibex. *Oikos*, 2024(12), e10643. <https://doi.org/10.1111/oik.10643>
- Brambilla, A., Von Hardenberg, A., Canedoli, C., Brivio, F., Sueur, C., & Stanley, C. R. (2022). Long term analysis of social structure: Evidence of age-based consistent associations in male Alpine ibex. *Oikos*, 2022(8), e09511. <https://doi.org/10.1111/oik.09511>
- Brambilla, A., Von Hardenberg, A., Nelli, L., & Bassano, B. (2020). Distribution, status, and recent population dynamics of Alpine ibex *Capra ibex* in Europe. *Mammal Review*, 50(3), 267–277. <https://doi.org/10.1111/mam.12194>
- Brivio, F., Apollonio, M., Anderwald, P., Filli, F., Bassano, B., Bertolucci, C., & Grignolio, S. (2024). Seeking temporal refugia to heat stress: Increasing nocturnal activity despite predation

- risk. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 291(2015). Online verfügbar unter: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2023.1587>
- Büntgen, U., Greuter, L., Bollmann, K., Jenny, H., Liebhold, A., Galván, J. D., Stenseth, N. C., Andrew, C., & Mysterud, A. (2017). Elevational range shifts in four mountain ungulate species from the Swiss Alps. *Ecosphere*, 8(4), e01761. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1761>
- Burt, W. H. (1943). Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals. *Journal of Mammalogy*, 24(3), 346. <https://doi.org/10.2307/1374834>
- Calabrese, J. M., Fleming, C. H., & Gurarie, E. (2016). ctmm: An R package for analyzing animal relocation data as a continuous-time stochastic process. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9), 1124–1132. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12559>
- Calenge, C. (2006). The package “adehabitat” for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, 197(3–4), 516–519. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.017>
- Chan, A. N., Wittemyer, G., McEvoy, J., Williams, A. C., Cox, N., Soe, P., Grindley, M., Shwe, N. M., Chit, A. M., Oo, Z. M., & Leimgruber, P. (2022). Landscape characteristics influence ranging behavior of Asian elephants at the human-wildlands interface in Myanmar. *Movement Ecology*, 10(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40462-022-00304-x>
- Chauveau, V., Garel, M., Toïgo, C., Anderwald, P., Apollonio, M., Bassano, B., Beurier, M., Bouche, M., Brambilla, A., Brivio, F., Bunz, Y., Cagnacci, F., Canut, M., Cavailhes, J., Champly, I., Filli, F., Frey-Roos, A., Gressmann, G., Grignolio, S., ... Marchand, P. (2025). It's time to go—Drivers and plasticity of migration phenology in a short-distance migratory ungulate. *Journal of Animal Ecology*, 94(6), 1204–1220. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.70031>
- Chauveau, V., Garel, M., Toïgo, C., Anderwald, P., Beurier, M., Bouche, M., Bunz, Y., Cagnacci, F., Canut, M., Cavailhes, J., Champly, I., Filli, F., Frey-Roos, A., Gressmann, G., Herfindal, I., Jurgeit, F., Martinelli, L., Papet, R., Petit, E., ... Marchand, P. (2024). Identifying the environmental drivers of corridors and predicting connectivity between seasonal ranges in multiple populations of Alpine ibex ( *Capra ibex* ) as tools for conserving

- migration. *Diversity and Distributions*, 30(8), e13894.  
<https://doi.org/10.1111/ddi.13894>
- Couturier, M. A.-J. (1963). *Le Bouquetin des Alpes*. (51), 761–762.  
[https://www.persee.fr/doc/rga\\_0035-1121\\_1963\\_num\\_51\\_4\\_3157\\_t1\\_0761\\_0000\\_2](https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1963_num_51_4_3157_t1_0761_0000_2)
- Crawley, M. J. (2012). *The R Book*. Wiley. <https://books.google.de/books?id=9StYGa415K8C>
- Cregut-Bonnoure, É. (2007). Apport des Caprinae et Antilopinae (Mammalia, Bovidae) à la biostratigraphie du Pliocène terminal et du Pléistocène d'Europe. *Quaternaire*, vol. 18/1, 73-97-73-97. <https://doi.org/10.4000/quaternaire.996>
- Deutz, A., & Gasteiner, J. (2024). *Klimawandel was nun?* (1. Aufl.). Leopold Stocker Verlag.
- Eisank, N., Greßmann, G., Jurgeit, F., Lainer, F., & Pucher, M. (2013). *Der Alpensteinbock Raumnutzung des Alpensteinbocks in den Hohen Tauern*. Online verfügbar unter: [https://www.parcs.at/npht/pdf\\_public/2017/34995\\_20170911\\_085518\\_DerAlpensteinbock-RaumnutzungdesAlpensteinbocksindenHohenTauern.pdf](https://www.parcs.at/npht/pdf_public/2017/34995_20170911_085518_DerAlpensteinbock-RaumnutzungdesAlpensteinbocksindenHohenTauern.pdf)
- Ferretti, F., Sforzi, A., & Lovari, S. (2011). Behavioural interference between ungulate species: Roe are not on velvet with fallow deer. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65(5), 875–887. <https://doi.org/10.1007/s00265-010-1088-8>
- Fieberg, J. (2007). KERNEL DENSITY ESTIMATORS OF HOME RANGE: SMOOTHING AND THE AUTOCORRELATION RED HERRING. *Ecology*, 88(4), 1059–1066.  
<https://doi.org/10.1890/06-0930>
- Fleming, C. H., & Calabrese, J. M. (2017). A new kernel density estimator for accurate home-range and species-range area estimation. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(5), 571–579. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12673>
- Fleming, C. H., & Calabrese, J. M. (2026, Mai 12). *Calculate an autocorrelated kernel density estimate*. Calculate an autocorrelated kernel density estimate. <https://ctmm-initiative.github.io/ctmm/reference/akde.html>

- Fleming, C. H., Fagan, W. F., Mueller, T., Olson, K. A., Leimgruber, P., & Calabrese, J. M. (2015). Rigorous home range estimation with movement data: A new autocorrelated kernel density estimator. *Ecology*, 96(5), 1182–1188. <https://doi.org/10.1890/14-2010.1>
- Georgii, B. (1979). Aktivitätsmuster eines jungen Steinbockes (*Capra ibex* L.). *Experientia*, 35(2). Online verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/BF01920613>
- Giacometti, M. (1991). Beitrag zur Ansiedlungsdynamik und aktuellen Verbreitung des Alpensteinbockes (*Capra i. Ibex* L.) im Alpenraum. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 37(3), 157–173.
- Giacometti, M., Janovsky, M., Belloy, L., & Frey, J. (2002). *Infectious keratoconjunctivitis of ibex, chamois and other Caprinae* (Teil 1). 335–346. <http://link.springer.com/10.1007/BF02240578>
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). 21st century climate change in the European Alps—A review. *Science of The Total Environment*, 493, 1138–1151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>
- Greßmann, G. (2004). *Das Steinwild in Salzburg*. Online verfügbar unter: <https://wildtier.at/wp-content/uploads/2021/09/Endbericht-Lebensraumbewertung-Steinwild-Salzburg.doc.pdf>
- Grignolio, S., Rossi, I., Bassano, B., & Apollonio, M. (2007). Predation Risk as a Factor Affecting Sexual Segregation in Alpine Ibex. *Journal of Mammalogy*, 88(6), 1488–1497. <https://doi.org/10.1644/06-MAMM-A-351R.1>
- Grignolio, S., Rossi, I., Bassano, B., Parrini, F., & Apollonio, M. (2004). Seasonal variations of spatial behaviour in female Alpine ibex ( *Capra ibex ibex* ) in relation to climatic conditions and age. *Ethology Ecology & Evolution*, 16(3), 255–264. <https://doi.org/10.1080/08927014.2004.9522636>
- Grignolio, S., Rossi, I., Bertolotto, E., Bassano, B., & Apollonio, M. (2007). Influence of the Kid on Space Use and Habitat Selection of Female Alpine Ibex. *The Journal of Wildlife Management*, 71(3), 713–719. <https://doi.org/10.2193/2005-675>

- Hansteen, T. L., Andreassen, H. P., & Ims, R. A. (1997). Effects of Spatiotemporal Scale on Autocorrelation and Home Range Estimators. *The Journal of Wildlife Management*, 61(2), 280. <https://doi.org/10.2307/3802583>
- Hayne, D. W. (1949). Calculation of Size of Home Range. *Journal of Mammalogy*, 30(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1375189>
- Herfindal, I., Anderwald, P., Filli, F., Campell Andri, S., & Rempfler, T. (2019). Climate, competition and weather conditions drive vertical displacement and habitat use of an alpine ungulate in a highly topographic landscape. *Landscape Ecology*, 34(11), 2523–2539. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00902-y>
- Hindenlang, K., & Nievergelt, B. (1995). *Capra ibex*. In *Säugetiere der Schweiz / Mammifères de la Suisse / Mammiferi della Svizzera* (S. 450–456). Birkhäuser Basel. [https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7753-4\\_86](https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7753-4_86)
- Hofmann, A., & Nievergelt, B. (1972). Das jahreszeitliche Verteilungsmuster und der Äsungsdruck von Alpensteinbock, Gemse, Rothirsch und Reh in einem begrenzten Gebiet im Oberengadin. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 18(4), 185–212. <https://doi.org/10.1007/BF01901868>
- Ingold, P. (2005). *Freizeitaktivitäten und Wildtiere – Konflikte, Lösungen*. Online verfügbar unter: [http://natur-waldpaedagogik-oberlausitz.de/data/documents/Freizeitaktivitaeten-und-Wildtiere-Konflikte-Loesungen\\_Prof.-em.-Dr.-Paul-Ingold.pdf](http://natur-waldpaedagogik-oberlausitz.de/data/documents/Freizeitaktivitaeten-und-Wildtiere-Konflikte-Loesungen_Prof.-em.-Dr.-Paul-Ingold.pdf)
- IUCN. (2023). *Capra ibex*: Toigo, C., Brambilla, A., Grignolio, S. & Pedrotti, L.: *The IUCN Red List of Threatened Species 2024: e.T42397A219261343* [Datensatz]. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-2.RLTS.T42397A219261343.en>
- Jacobson, A. R., Provenza, A., Von Hardenberg, A., Bassano, B., & Festa-Bianchet, M. (2004). CLIMATE FORCING AND DENSITY DEPENDENCE IN A MOUNTAIN UNGULATE POPULATION. *Ecology*, 85(6), 1598–1610. <https://doi.org/10.1890/02-0753>
- Jäger, A. (2021). *Die Alpen im Fieber*. Bergwelten.



- Larter, N. C., & Gates, C. C. (1994). Home-Range Size of Wood Bison: Effects of Age, Sex, and Forage Availability. *Journal of Mammalogy*, 75(1), 142–149. <https://doi.org/10.2307/1382246>
- Lohmann, M. (2006). *Der BLV Tierführer für unterwegs*. blv.
- Loison, A., Toïgo, C., Appolinaire, J., & Michallet, J. (2002). Demographic processes in colonizing populations of isard ( *Rupicapra pyrenaica* ) and ibex ( *Capra ibex* ). *Journal of Zoology*, 256(2), 199–205. <https://doi.org/10.1017/S0952836902000237>
- Marchand, P., Risser, N., Petit, E., & Garel, M. (2025). Disturbance by massive sporting events in mountain areas: When and where matters for the protected Alpine ibex *Capra ibex*. *People and Nature*, 7(11), 3002–3016. <https://doi.org/10.1002/pan3.70151>
- Mason, T. H. E., Brivio, F., Stephens, P. A., Apollonio, M., & Grignolio, S. (2017a). The behavioral trade-off between thermoregulation and foraging in a heat-sensitive species. *Behavioral Ecology*, 28(3), 908–918.
- Mason, T. H. E., Brivio, F., Stephens, P. A., Apollonio, M., & Grignolio, S. (2017b). The behavioral trade-off between thermoregulation and foraging in a heat-sensitive species. *Behavioral Ecology*, 28(3), 908–918. <https://doi.org/10.1093/beheco/arx057>
- Mayer, M., Ullmann, W., Heinrich, R., Fischer, C., Blaum, N., & Sunde, P. (2019). Seasonal effects of habitat structure and weather on the habitat selection and home range size of a mammal in agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 34(10), 2279–2294. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00878-9>
- McNay, R. S., Morgan, J. A., & Bunnell, F. L. (1994). Characterizing Independence of Observations in Movements of Columbian Black-Tailed Deer. *The Journal of Wildlife Management*, 58(3), 422. <https://doi.org/10.2307/3809312>
- Menzinger, B. (2018). *Identifying drivers of the treeline ecotone in the Alps* [Karl-Franzens University of Graz]. <https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/download/pdf/2744110>
- MeteoSwiss. (2026). *Daten ohne Programmierkenntnisse herunterladen*. Bodenmessdaten und homogene Messreihen der einzelnen Stationen mit erläuternden Metadaten.

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/ext/daten-ohne-programmierkenntnisse-herunterladen.html#lang=de&mdt=normal&sid=BUF&col=ch.meteoschweiz.ogd-smn&di=hourly&tr=historical&hdr=2010-2019&pgid=>

Morollón, S., Urios, V., & López-López, P. (2022). Home-Range Size and Space Use of Territorial Bonelli's Eagles (*Aquila fasciata*) Tracked by High-Resolution GPS/GSM Telemetry. *Diversity*, 14(12), 1082. <https://doi.org/10.3390/d14121082>

Mysterud, A. (1998). The relative roles of body size and feeding type on activity time of temperate ruminants. *Oecologia*, 113(3), 442–446. <https://doi.org/10.1007/s004420050396>

Neuhaus, P., & Ruckstuhl, K. E. (2002). Foraging behaviour in Alpine ibex (*Capra ibex*): Consequences of reproductive status, body size, age and sex. *Ethology Ecology & Evolution*, 14(4), 373–381. <https://doi.org/10.1080/08927014.2002.9522738>

Nievergelt, B. (1966). *Der Alpensteinbock (Capra ibex L.) in seinem Lebensraum*. Paul Parey.

Noonan, M. J., Tucker, M. A., Fleming, C. H., Akre, T. S., Alberts, S. C., Ali, A. H., Altmann, J., Antunes, P. C., Belant, J. L., Beyer, D., Blaum, N., Böhning-Gaese, K., Cullen, L., De Paula, R. C., Dekker, J., Drescher-Lehman, J., Farwig, N., Fichtel, C., Fischer, C., ... Calabrese, J. M. (2019). A comprehensive analysis of autocorrelation and bias in home range estimation. *Ecological Monographs*, 89(2), e01344. <https://doi.org/10.1002/ecm.1344>

Parrini, F., Cain, J. W., & Krausman, P. R. (2009). *Capra ibex* (Artiodactyla: Bovidae). *Mammalian Species*, 830, 1–12. <https://doi.org/10.1644/830.1>

Parrini, F., Grignolio, S., Luccarini, S., Bassano, B., & Apollonio, M. (2003). Spatial behaviour of adult male Alpine ibex (*Capra ibex ibex*) in the Gran Paradiso National Park, Italy. *Acta Theriologica*, 48(3), 411–423. <https://doi.org/10.1007/BF03194179>

Parzen, E. (1962). On Estimation of a Probability Density Function and Mode. *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 33, 1056–1076. <https://www.jstor.org/stable/2237880?seq=1>

- Pettorelli, N., Pelletier, F., Hardenberg, A. V., Festa-Bianchet, M., & Côté, S. D. (2007). EARLY ONSET OF VEGETATION GROWTH VS. RAPID GREEN-UP: IMPACTS ON JUVENILE MOUNTAIN UNGULATES. *Ecology*, 88(2), 381–390. <https://doi.org/10.1890/06-0875>
- Ratti, P. (1994). Stand von Hege und Erforschung des Steinwildes im Kanton Graubünden (Schweiz). *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 40(4), 223–231. <https://doi.org/10.1007/BF02243444>
- Ratti, P., & Habermehl, K.-H. (1977). Untersuchungen zur Altersschätzung und Altersbestimmung beim Alpensteinbock (*Capra ibex ibex*) im Kanton Graubünden. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 23(4), 188–213.
- Rebetez, M., & Reinhard, M. (2008). Monthly air temperature trends in Switzerland 1901–2000 and 1975–2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 91(1–4), 27–34. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0296-2>
- Rooney, S. M., Wolfe, A., & Hayden, T. J. (1998). Autocorrelated data in telemetry studies: Time to independence and the problem of behavioural effects. *Mammal Review*, 28(2), 89–98. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2907.1998.00028.x>
- Rosenblatt, M. (1956). Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function. *The Annals of Mathematical Statistics*, 27(3), 832–837. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177728190>
- Schaumberger, J., Schardt, M., Guggenberger, T., Gallaun, H., Schaumberger, A., Deutz, A., Großmann, G., & Gasteiner, J. (2005). *GIS-gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraumes alpiner Wildtierarten (Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild, Steinwild) bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung*. Online verfügbar unter: GIS\_Ver%C3%A4nderung\_Lbensraum\_Anstieg\_Waldgrenze.pdf
- Schweiger, A. K., Schütz, M., Anderwald, P., Schaepman, M. E., Kneubühler, M., Haller, R., & Risch, A. C. (2015). Foraging ecology of three sympatric ungulate species – Behavioural and resource maps indicate differences between chamois, ibex and red deer. *Movement Ecology*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40462-015-0033-x>

- Schweizerischer Nationalpark. (2026a, Mai 12). *Grundlagen & Impressionen*. Grundlagen & Impressionen Bei uns können sämtliche natürlichen Prozesse uneingeschränkt wirken. <https://nationalpark.ch/about/nationalpark/#wildnis>
- Schweizerischer Nationalpark. (2026b, Mai 13). *Schwerpunkt Biodiversität*. Schwerpunkt Biodiversität. <https://nationalpark.ch/wissenschaft/biodiversitaet/>
- Scillitani, L., Sturaro, E., Menzano, A., Rossi, L., Viale, C., & Ramanzin, M. (2012). Post-release spatial and social behaviour of translocated male Alpine ibexes (*Capra ibex ibex*) in the eastern Italian Alps. *European Journal of Wildlife Research*, 58(2), 461–472. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0596-9>
- Scillitani, L., Sturaro, E., Monaco, A., Rossi, L., & Ramanzin, M. (2012). Factors affecting home range size of male Alpine ibex (*Capra ibex ibex*) in the Marmolada massif. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 23(2). <https://doi.org/10.4404/hystrix-23.2-4622>
- Seaman, D. E., & Powell, R. A. (1996). An Evaluation of the Accuracy of Kernel Density Estimators for Home Range Analysis. *Ecology*, 77(7), 2075–2085. <https://doi.org/10.2307/2265701>
- Searle, S. R., Speed, F. M., & Milliken, G. A. (1980). Population Marginal Means in the Linear Model: An Alternative to Least Squares Means. *The American Statistician*, 34(4), 216–221. <https://doi.org/10.1080/00031305.1980.10483031>
- Sekretariat Schweizer IUCN Komitee. (2026, Mai 13). *Grüne Liste der Schutzgebiete*. Grüne Liste der Schutzgebiete. <https://iucn.ch/arbeitsgruppen/gruene-liste-der-schutzgebiete/>
- Silva, I., Fleming, C. H., Noonan, M. J., Alston, J., Folta, C., Fagan, W. F., & Calabrese, J. M. (2022). Autocorrelation-informed home range estimation: A review and practical guide. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(3), 534–544. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13786>
- Spandau, L., & Wilde, P. (2008). *Klima, Basiswissen, Klimawandel, Zukunft*. Ulmer Natuführer.

- Stüwe, M., & Nievergelt, B. (1991). Recovery of alpine ibex from near extinction: The result of effective protection, captive breeding, and reintroductions. *Applied Animal Behaviour Science*, 29(1–4), 379–387. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(91\)90262-V](https://doi.org/10.1016/0168-1591(91)90262-V)
- Stuwe, M., & Scribner, K. T. (1989). Low Genetic Variability in Reintroduced Alpine Ibex (*Capra ibex ibex*) Populations. *Journal of Mammalogy*, 70(2), 370–373. <https://doi.org/10.2307/1381520>
- Toïgo, C., Gaillard, J., Festa-Bianchet, M., Largo, E., Michallet, J., & Maillard, D. (2007). Sex- and age-specific survival of the highly dimorphic Alpine ibex: Evidence for a conservative life-history tactic. *Journal of Animal Ecology*, 76(4), 679–686. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01254.x>
- Viana, D. S., Granados, J. E., Fandos, P., Pérez, J. M., Cano-Manuel, F. J., Burón, D., Fandos, G., Aguado, M. Á. P., Figuerola, J., & Soriguer, R. C. (2018). Linking seasonal home range size with habitat selection and movement in a mountain ungulate. *Movement Ecology*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40462-017-0119-8>
- von Heintze, F., & Seikel, A. (2006). *Das Leben im Gebirge* (1., Bd. 3) [Gebundene Ausgabe]. Weltbild Buchverlag.
- Willisch, C. S., & Neuhaus, P. (2009). Alternative Mating Tactics and Their Impact on Survival in Adult Male Alpine Ibex (*Capra ibex ibex*). *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1421–1430. <https://doi.org/10.1644/08-MAMM-A-316R1.1>
- Worton, B. J. (1987). A review of models of home range for animal movement. *Ecological Modelling*, 38(3–4), 277–298. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(87\)90101-3](https://doi.org/10.1016/0304-3800(87)90101-3)
- Worton, B. J. (1989). Kernel Methods for Estimating the Utilization Distribution in Home-Range Studies. *Ecology*, 70(1), 164–168. <https://doi.org/10.2307/1938423>

## 9 Anhang

### 9.1 Tabelle aller Streif- und Kerngebiete

*Tabelle 8 Übersicht aller Streif- und Kerngebiete nach ID (Individuum), Saison, Streifgebiet 95 % und Kerngebiet 50 % (eigene Darstellung)*

| ID    | Geschlecht | Saison   | Streifgebiet 95 % (ha) | Kerngebiet 50 % (ha) |
|-------|------------|----------|------------------------|----------------------|
| 30179 | weiblich   | Sommer 1 | 298,70                 | 43,47                |
| 30179 | weiblich   | Winter 1 | 180,57                 | 23,31                |
| 30194 | weiblich   | Sommer 1 | 613,69                 | 122,81               |
| 30194 | weiblich   | Winter 1 | 18,81                  | 2,08                 |
| 30194 | weiblich   | Sommer 2 | 976,29                 | 259,83               |
| 30195 | männlich   | Sommer 1 | 1 484,79               | 361,10               |
| 30195 | männlich   | Winter 1 | 15 011,80              | 3 559,75             |
| 30195 | männlich   | Sommer 2 | 1 210,65               | 273,73               |
| 30195 | männlich   | Winter 2 | 5 436,42               | 1 253,08             |
| 30200 | weiblich   | Sommer 1 | 457,49                 | 109,71               |
| 30200 | weiblich   | Winter 1 | 251,17                 | 51,56                |
| 30200 | weiblich   | Sommer 2 | 329,43                 | 58,05                |
| 30200 | weiblich   | Winter 2 | 118,01                 | 28,90                |
| 30200 | weiblich   | Sommer 3 | 485,11                 | 102,73               |
| 30205 | weiblich   | Sommer 1 | 498,18                 | 131,45               |
| 30205 | weiblich   | Winter 1 | 106,32                 | 24,12                |
| 30206 | männlich   | Sommer 1 | 427,88                 | 105,84               |
| 30208 | männlich   | Winter 1 | 566,30                 | 133,56               |
| 30212 | männlich   | Sommer 1 | 1 046,19               | 245,71               |
| 30212 | männlich   | Winter 1 | 52,20                  | 14,60                |
| 30212 | männlich   | Sommer 2 | 877,58                 | 170,22               |

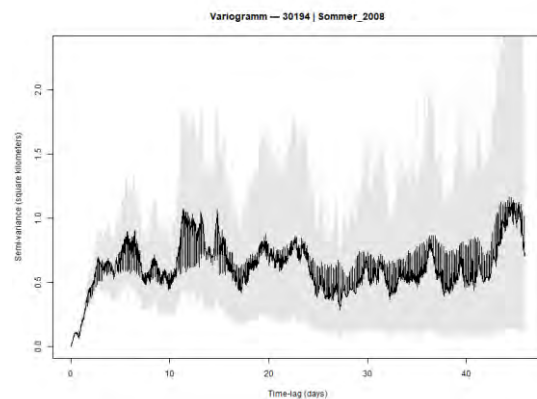
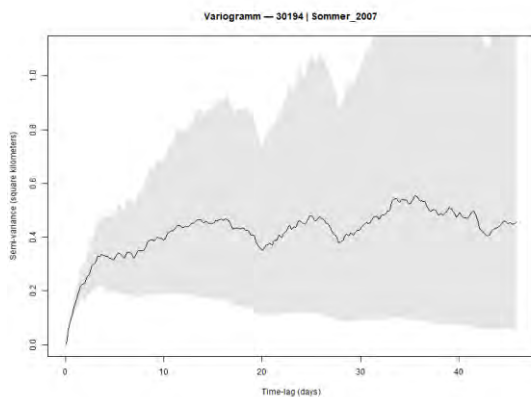
| ID    | Geschlecht | Saison   | Streifgebiet 95 % (ha) | Kerngebiet 50 % (ha) |
|-------|------------|----------|------------------------|----------------------|
| 30212 | männlich   | Winter 2 | 862,53                 | 234,14               |
| 30212 | männlich   | Sommer 3 | 551,14                 | 147,27               |
| 30212 | männlich   | Winter 3 | 62,92                  | 13,49                |
| 30214 | männlich   | Sommer 1 | 476,96                 | 110,33               |
| 30214 | männlich   | Winter 1 | 407,97                 | 99,91                |
| 30214 | männlich   | Sommer 2 | 595,53                 | 149,19               |
| 30214 | männlich   | Winter 2 | 353,82                 | 75,75                |
| 30215 | weiblich   | Sommer 1 | 639,02                 | 154,58               |
| 30215 | weiblich   | Winter 1 | 242,96                 | 52,34                |
| 30218 | männlich   | Winter 1 | 5 146,34               | 1 369,06             |
| 30218 | männlich   | Sommer 2 | 1 176,29               | 301,19               |
| 30221 | männlich   | Sommer 1 | 716,25                 | 155,41               |
| 30223 | weiblich   | Sommer 1 | 1 888,65               | 402,96               |
| 30223 | weiblich   | Winter 1 | 196,49                 | 52,13                |
| 30223 | weiblich   | Sommer 2 | 1 122,82               | 245,27               |
| 30223 | weiblich   | Winter 2 | 51,27                  | 14,02                |
| 30223 | weiblich   | Sommer 3 | 1 161,13               | 280,14               |
| 30223 | weiblich   | Winter 3 | 41,29                  | 9,10                 |
| 30223 | weiblich   | Sommer 4 | 635,11                 | 98,49                |
| 30223 | weiblich   | Winter 4 | 29,71                  | 5,90                 |
| 30224 | weiblich   | Sommer 1 | 944,49                 | 184,34               |
| 30224 | weiblich   | Winter 1 | 33,45                  | 6,25                 |
| 30227 | männlich   | Sommer 1 | 1 080,35               | 318,50               |
| 30227 | männlich   | Winter 1 | 8 607,07               | 2 023,79             |
| 30227 | männlich   | Sommer 2 | 2 120,95               | 381,60               |

| ID    | Geschlecht | Saison   | Streifgebiet 95 % (ha) | Kerngebiet 50 % (ha) |
|-------|------------|----------|------------------------|----------------------|
| 30227 | männlich   | Winter 2 | 558,56                 | 100,09               |
| 30228 | weiblich   | Sommer 1 | 107,79                 | 16,70                |
| 30228 | weiblich   | Sommer 2 | 122,94                 | 20,34                |
| 30228 | weiblich   | Winter 2 | 63,77                  | 13,15                |
| 30228 | weiblich   | Sommer 3 | 146,61                 | 37,03                |
| 30229 | männlich   | Sommer 1 | 4 536,05               | 1 069,05             |
| 30230 | männlich   | Sommer 1 | 956,13                 | 163,62               |
| 30231 | männlich   | Sommer 1 | 439,46                 | 84,22                |
| 30231 | männlich   | Sommer 2 | 343,53                 | 61,41                |
| 30232 | männlich   | Sommer 1 | 1 417,93               | 240,77               |
| 30233 | weiblich   | Sommer 1 | 943,96                 | 159,54               |
| 30233 | weiblich   | Winter 1 | 94,06                  | 16,70                |
| 30233 | weiblich   | Sommer 2 | 400,09                 | 53,75                |
| 30233 | weiblich   | Winter 2 | 62,04                  | 15,45                |
| 30234 | weiblich   | Sommer 1 | 1 020,98               | 247,52               |
| 30234 | weiblich   | Winter 1 | 19,80                  | 4,07                 |
| 30234 | weiblich   | Sommer 2 | 680,85                 | 120,14               |
| 30235 | weiblich   | Sommer 1 | 205,94                 | 48,96                |
| 30235 | weiblich   | Winter 1 | 26,70                  | 4,99                 |
| 30235 | weiblich   | Sommer 2 | 331,90                 | 91,69                |
| 30235 | weiblich   | Winter 2 | 111,63                 | 27,00                |
| 30237 | weiblich   | Sommer 1 | 1 064,26               | 305,85               |
| 30237 | weiblich   | Winter 1 | 131,45                 | 34,97                |
| 30237 | weiblich   | Sommer 2 | 982,93                 | 277,08               |
| 30237 | weiblich   | Winter 2 | 45,60                  | 9,96                 |

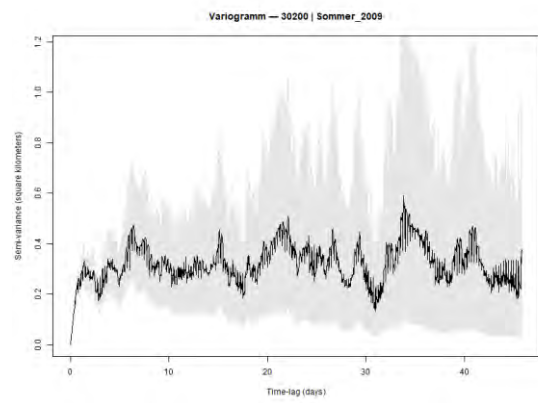
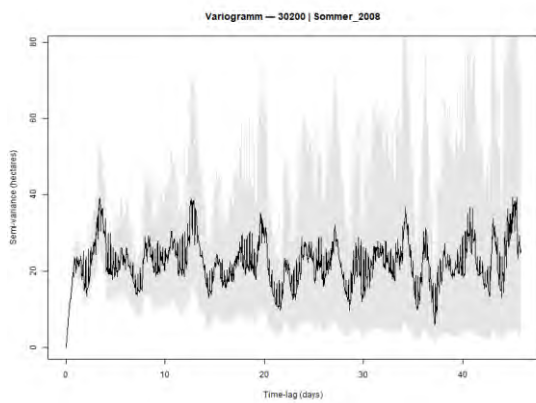
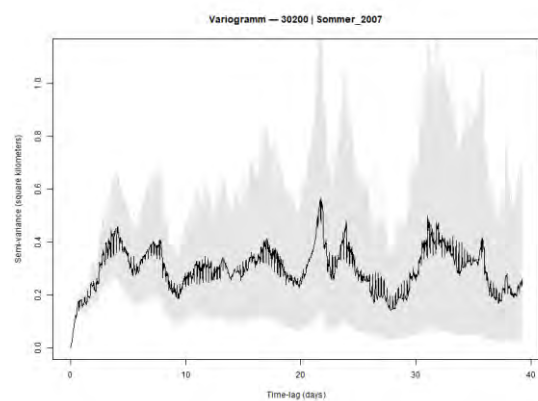
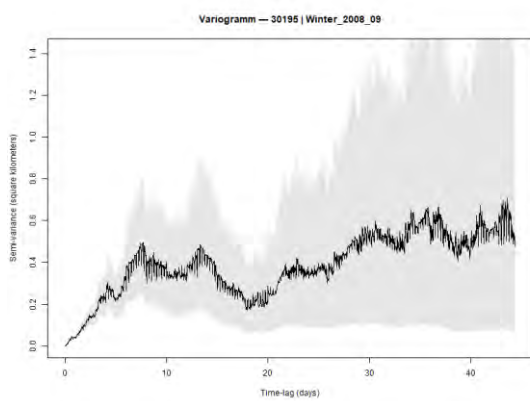
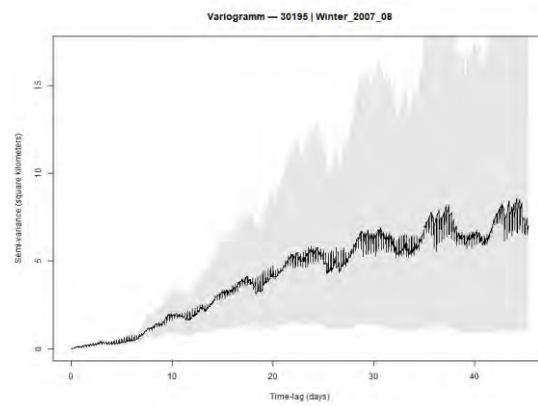
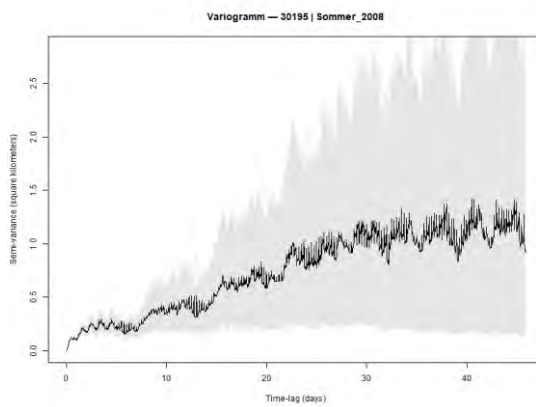
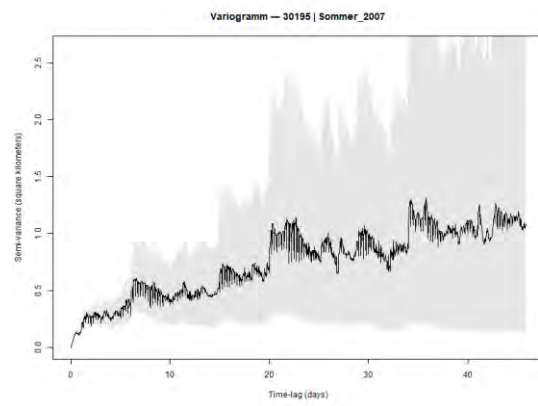
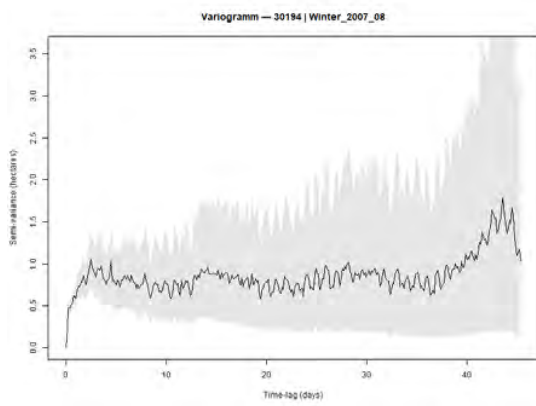


| ID    | Geschlecht | Saison   | Streifgebiet 95 % (ha) | Kerngebiet 50 % (ha) |
|-------|------------|----------|------------------------|----------------------|
| 30239 | männlich   | Winter 1 | 843,19                 | 158,45               |
| 30239 | männlich   | Sommer 2 | 1 313,23               | 316,22               |
| 30239 | männlich   | Winter 2 | 5 060,22               | 1 320,09             |
| 30239 | männlich   | Sommer 3 | 957,97                 | 226,59               |
| 30246 | weiblich   | Sommer 1 | 945,17                 | 175,11               |
| 30246 | weiblich   | Winter 1 | 38,84                  | 10,16                |
| 30246 | weiblich   | Sommer 2 | 768,14                 | 143,40               |
| 30246 | weiblich   | Winter 2 | 17,82                  | 4,40                 |
| 30247 | männlich   | Sommer 1 | 1 319,56               | 323,91               |
| 30251 | männlich   | Sommer 1 | 508,79                 | 138,27               |
| 30251 | männlich   | Winter 1 | 183,29                 | 22,69                |
| 30252 | weiblich   | Sommer 1 | 576,68                 | 131,12               |
| 30252 | weiblich   | Winter 1 | 58,51                  | 14,92                |
| 30252 | weiblich   | Sommer 2 | 487,03                 | 109,19               |
| 30252 | weiblich   | Winter 2 | 11,93                  | 1,95                 |

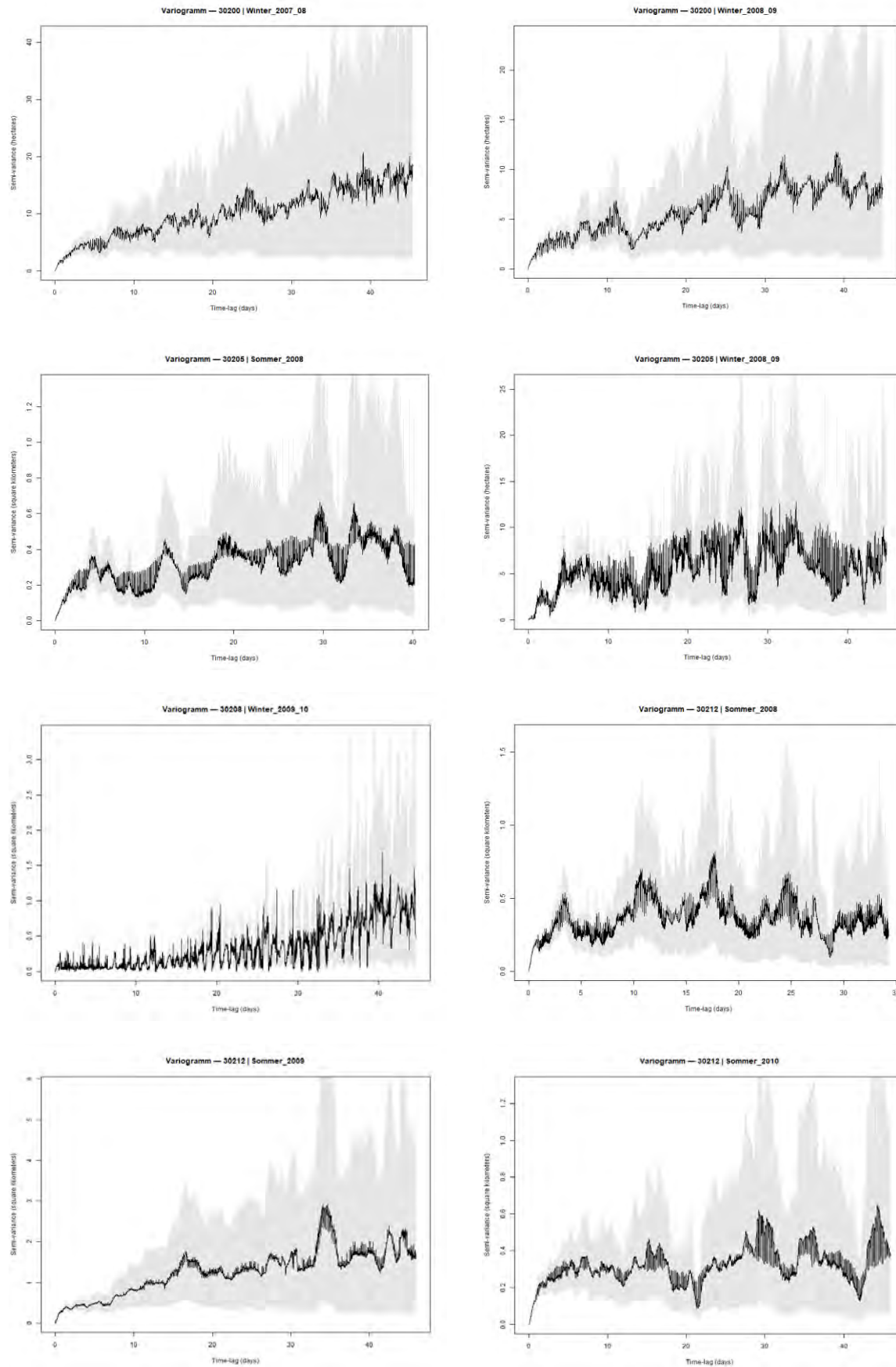
## 9.2 Variogramm



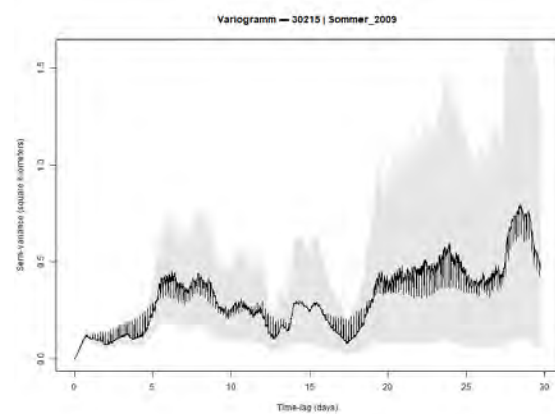
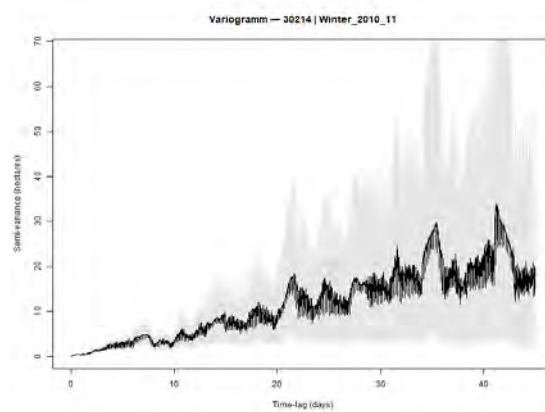
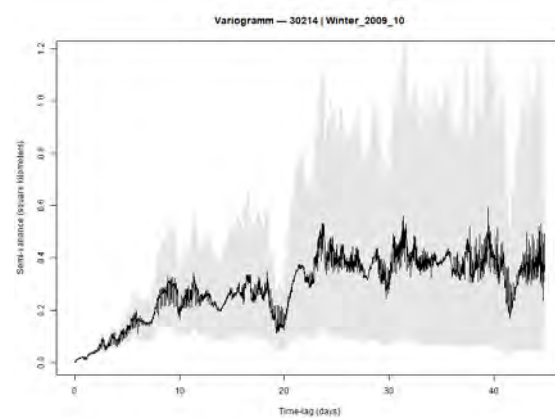
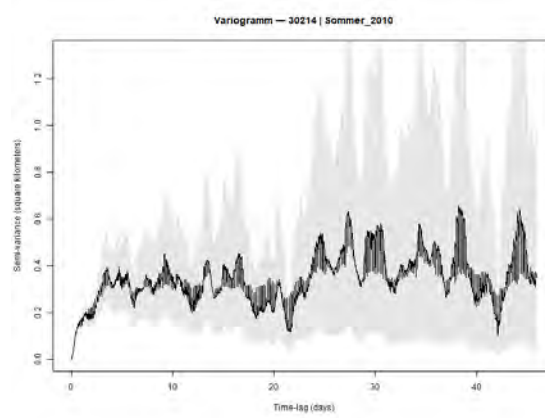
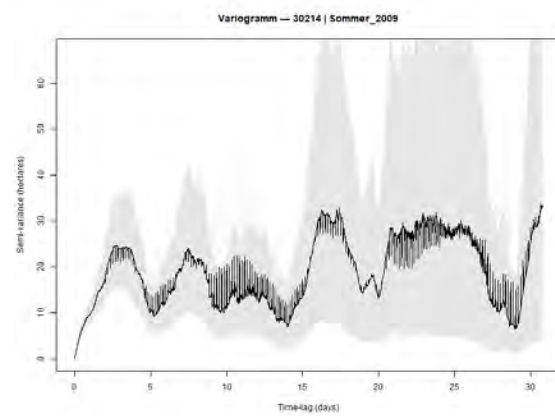
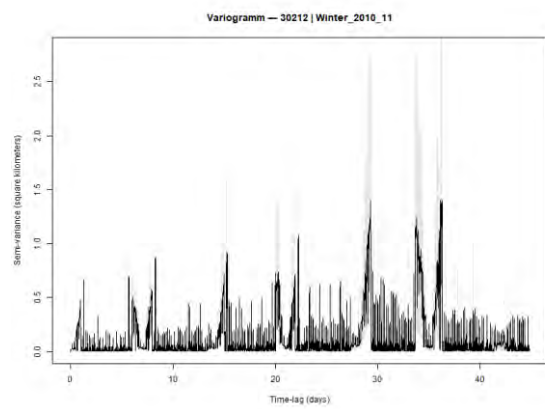
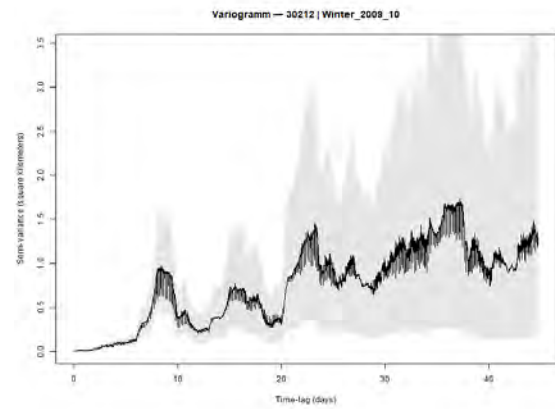
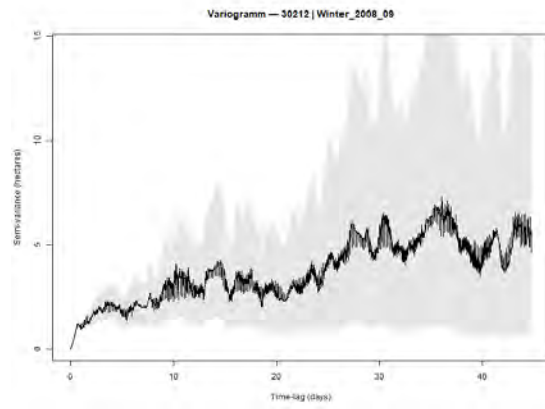
## Anhang



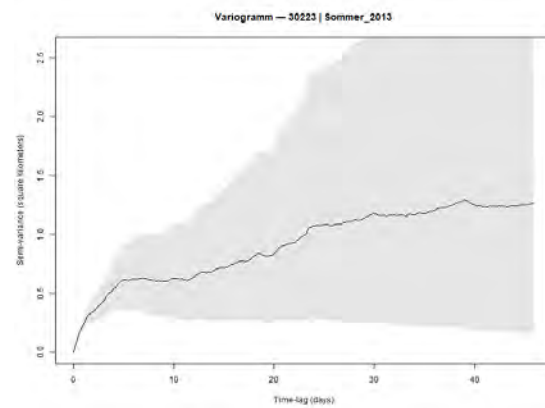
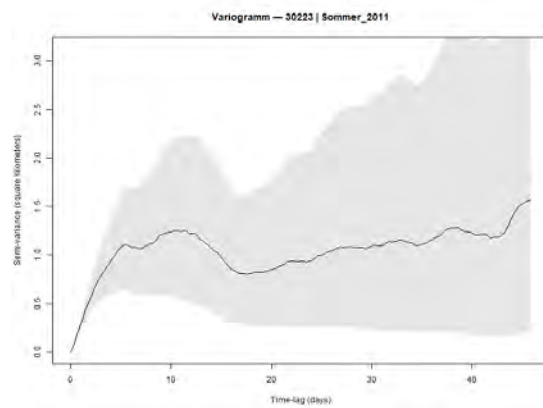
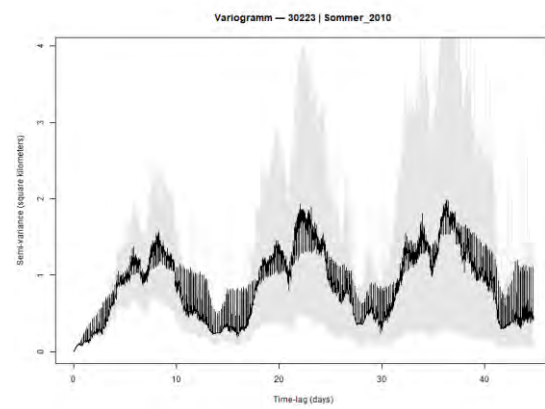
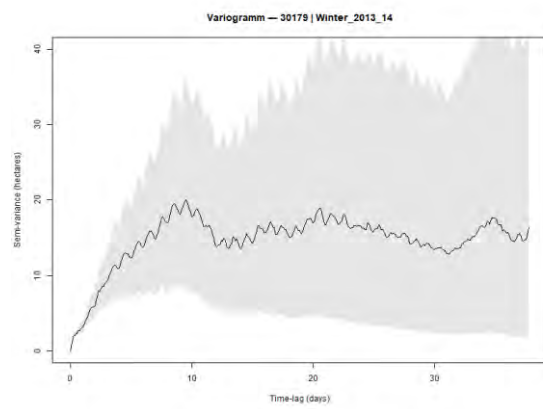
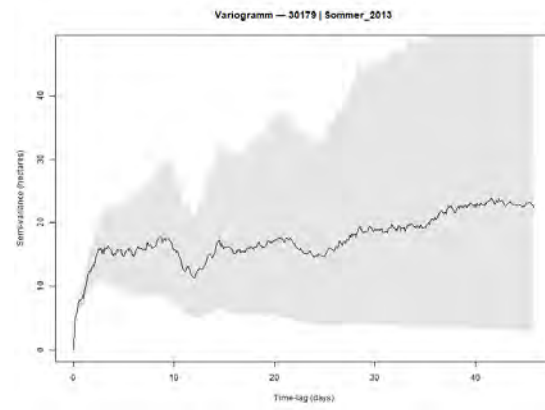
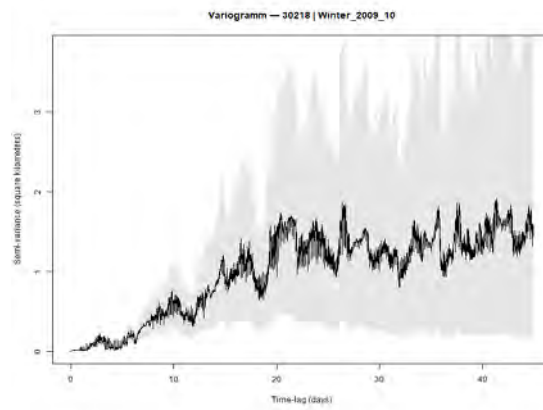
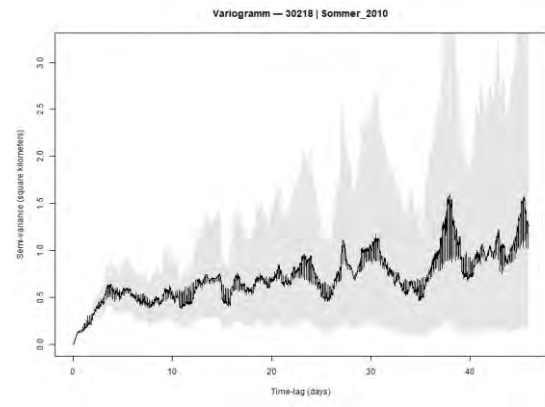
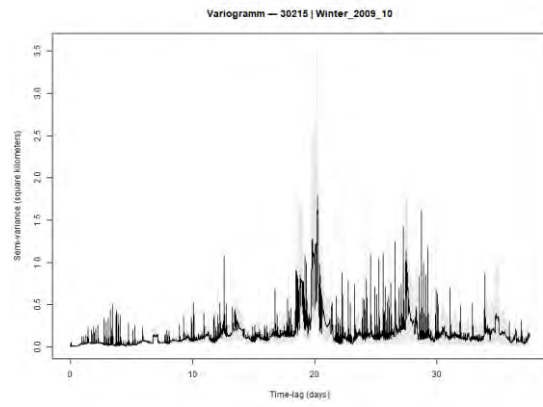
## Anhang



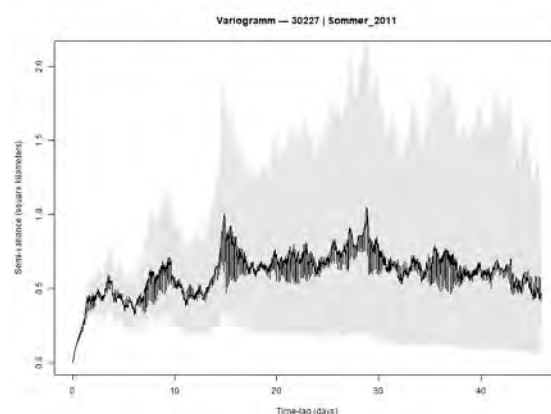
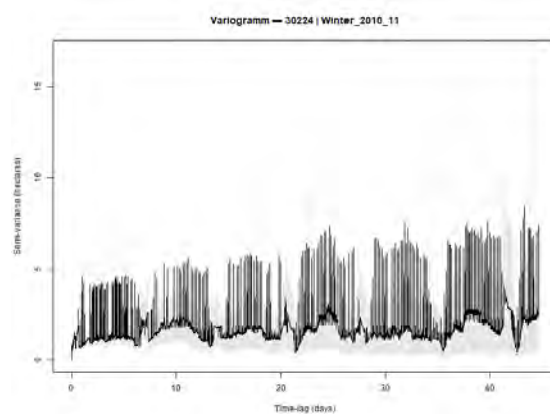
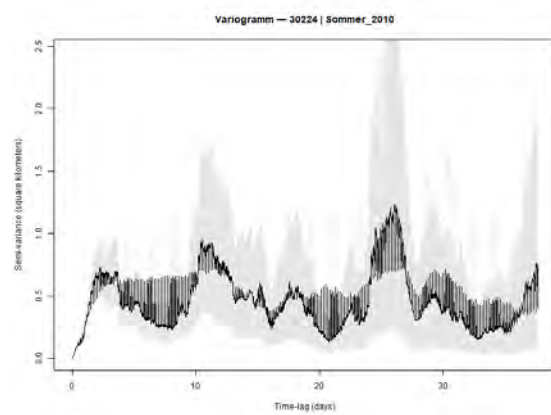
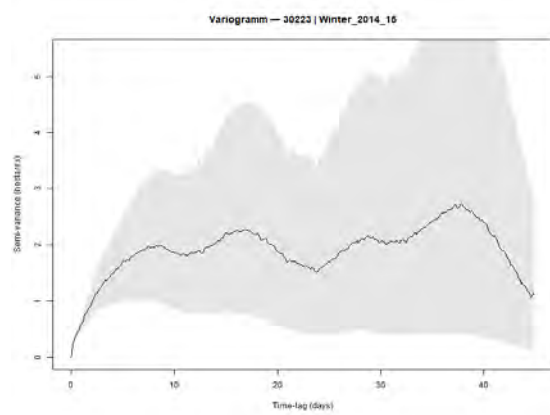
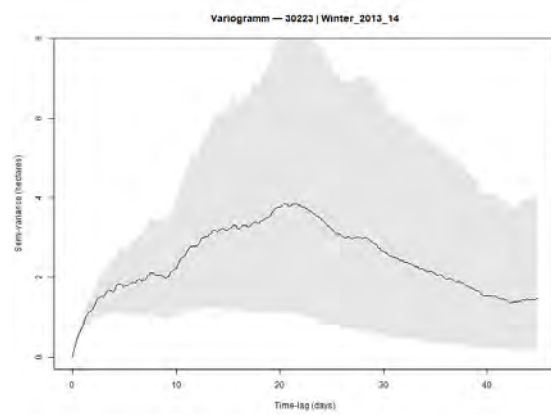
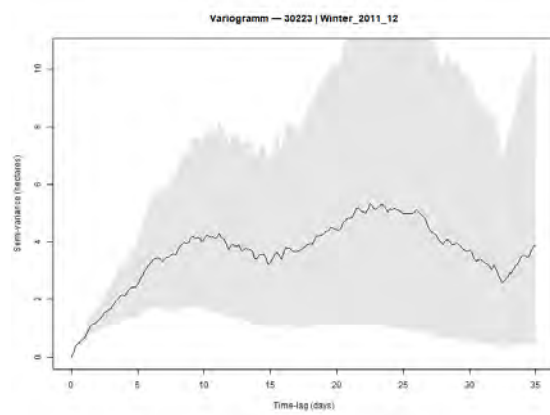
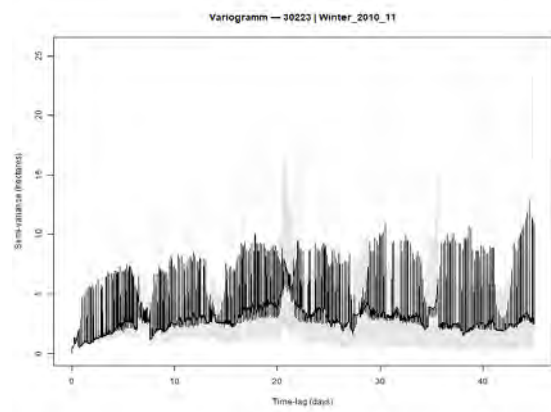
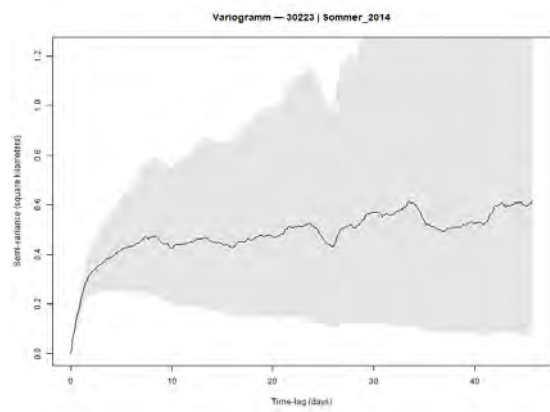
## Anhang



# Anhang

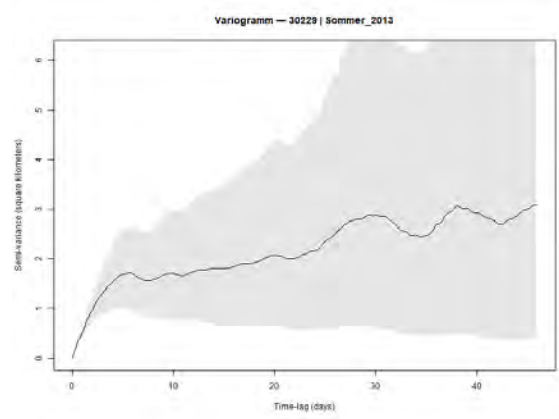
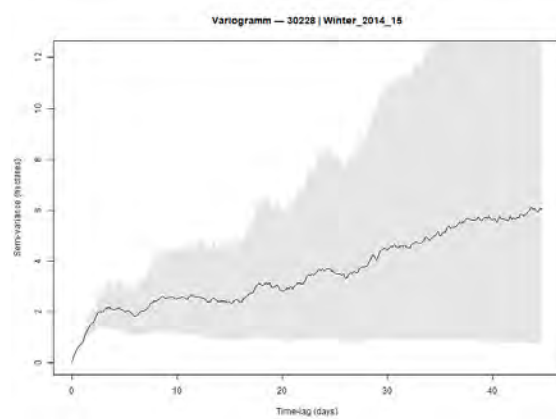
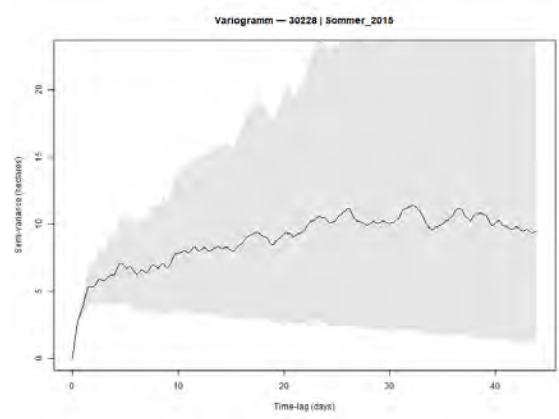
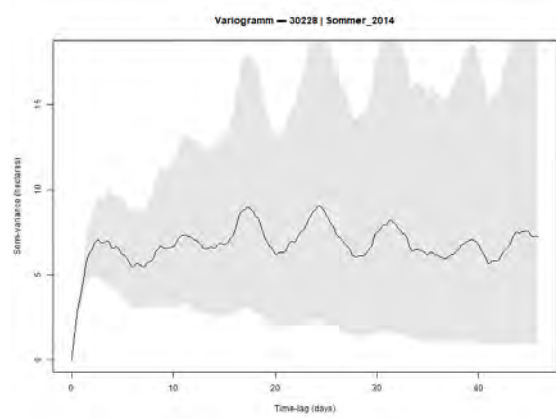
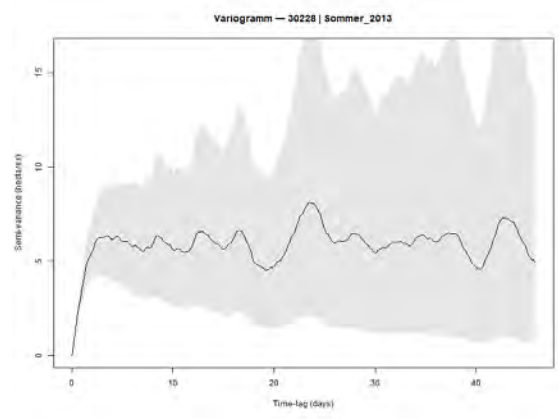
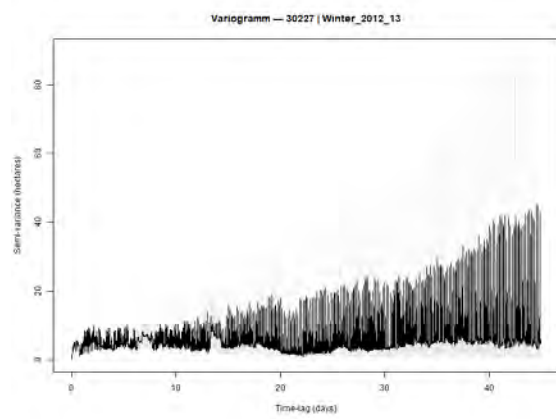
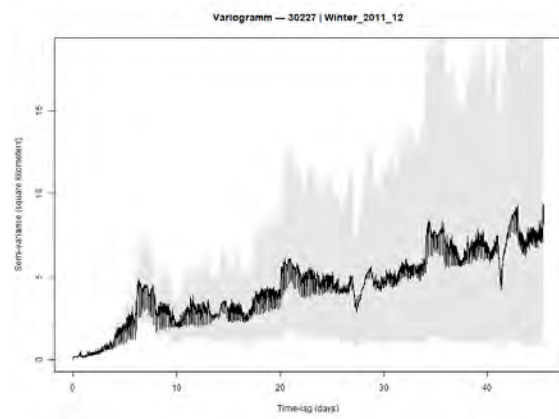
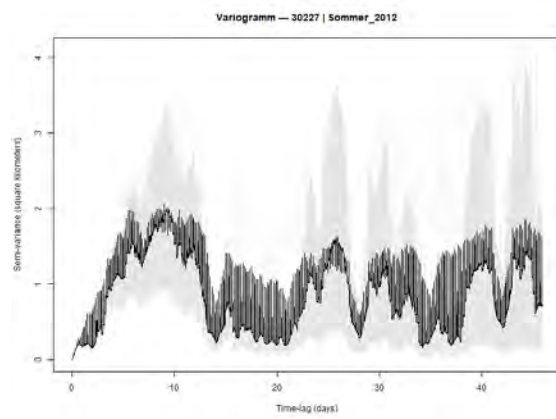


# Anhang

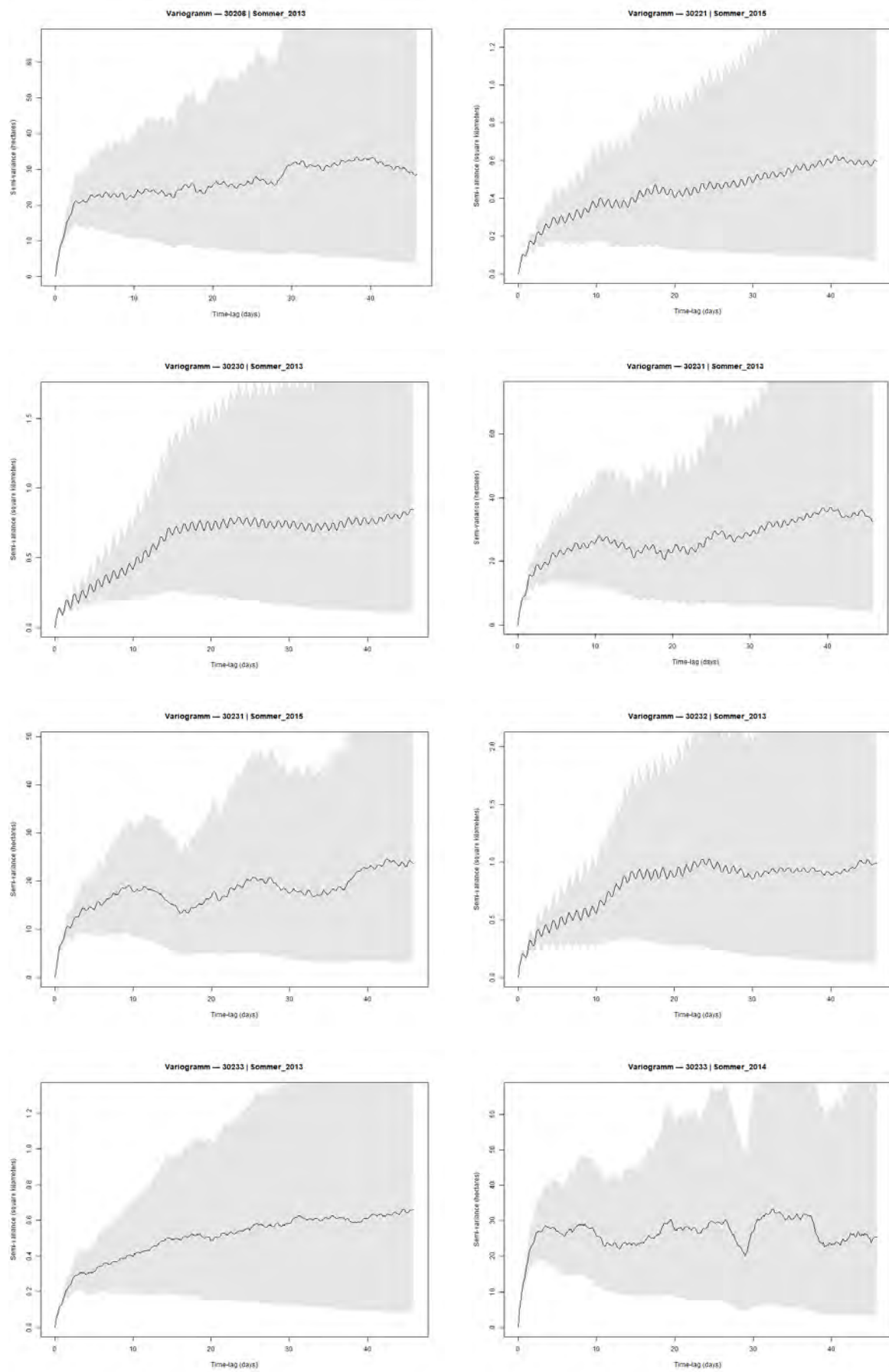




# Anhang

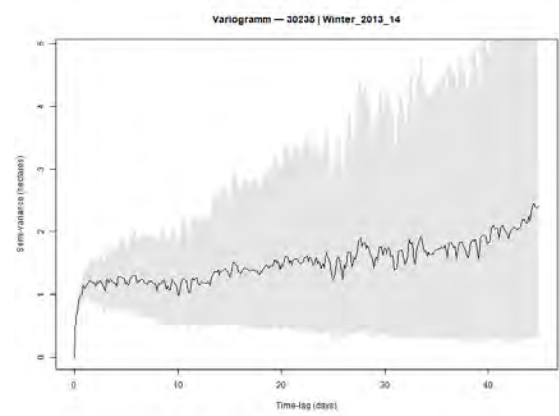
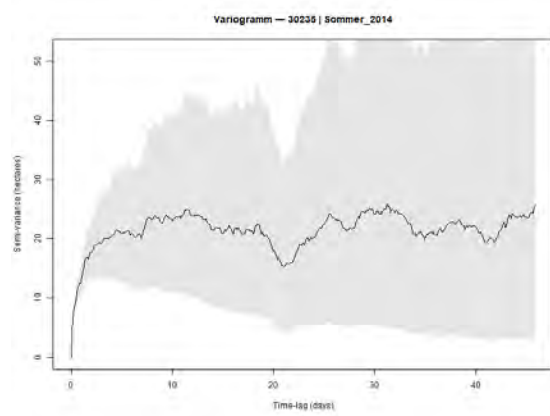
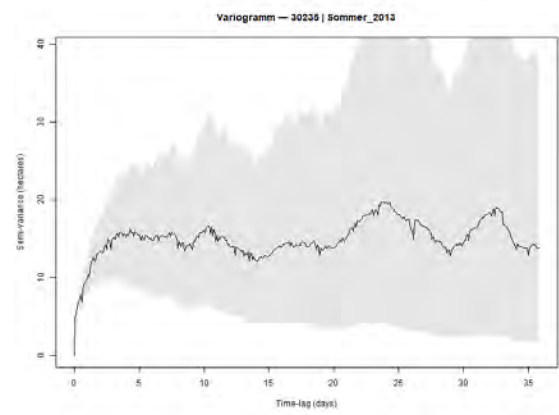
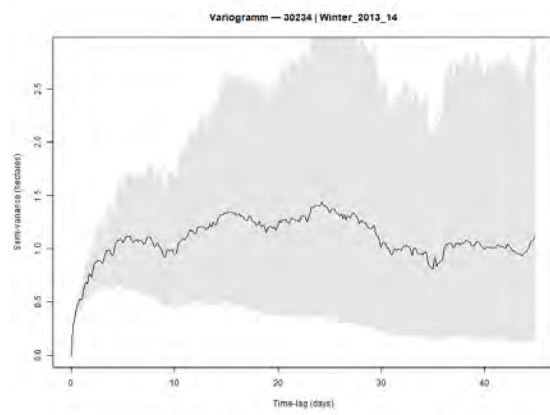
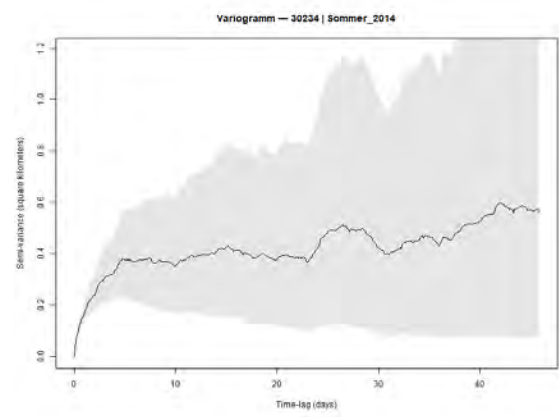
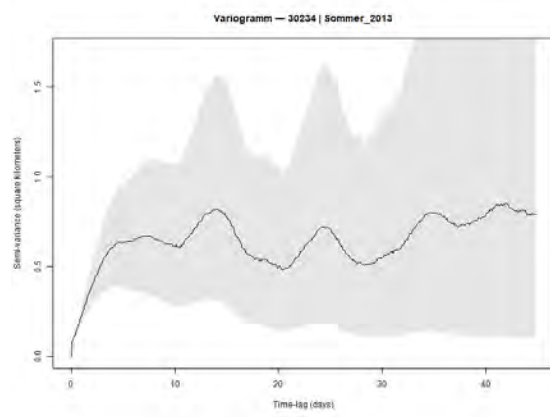
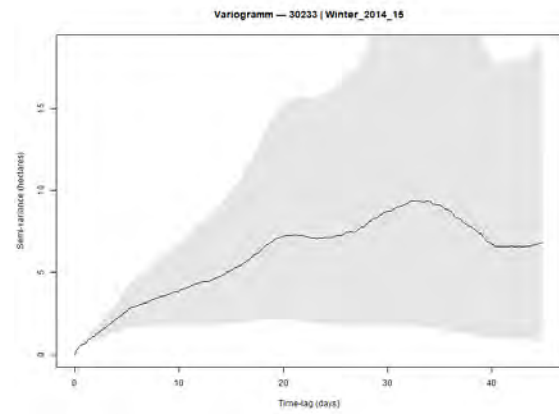
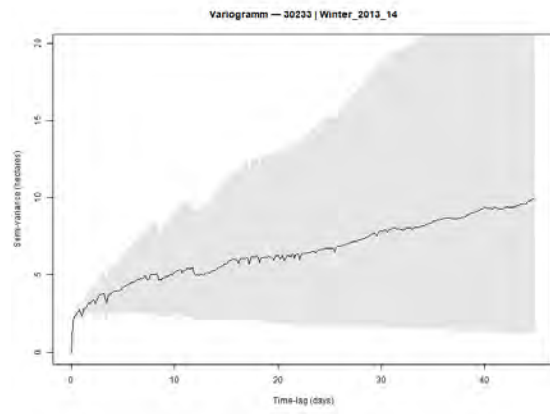


## Anhang

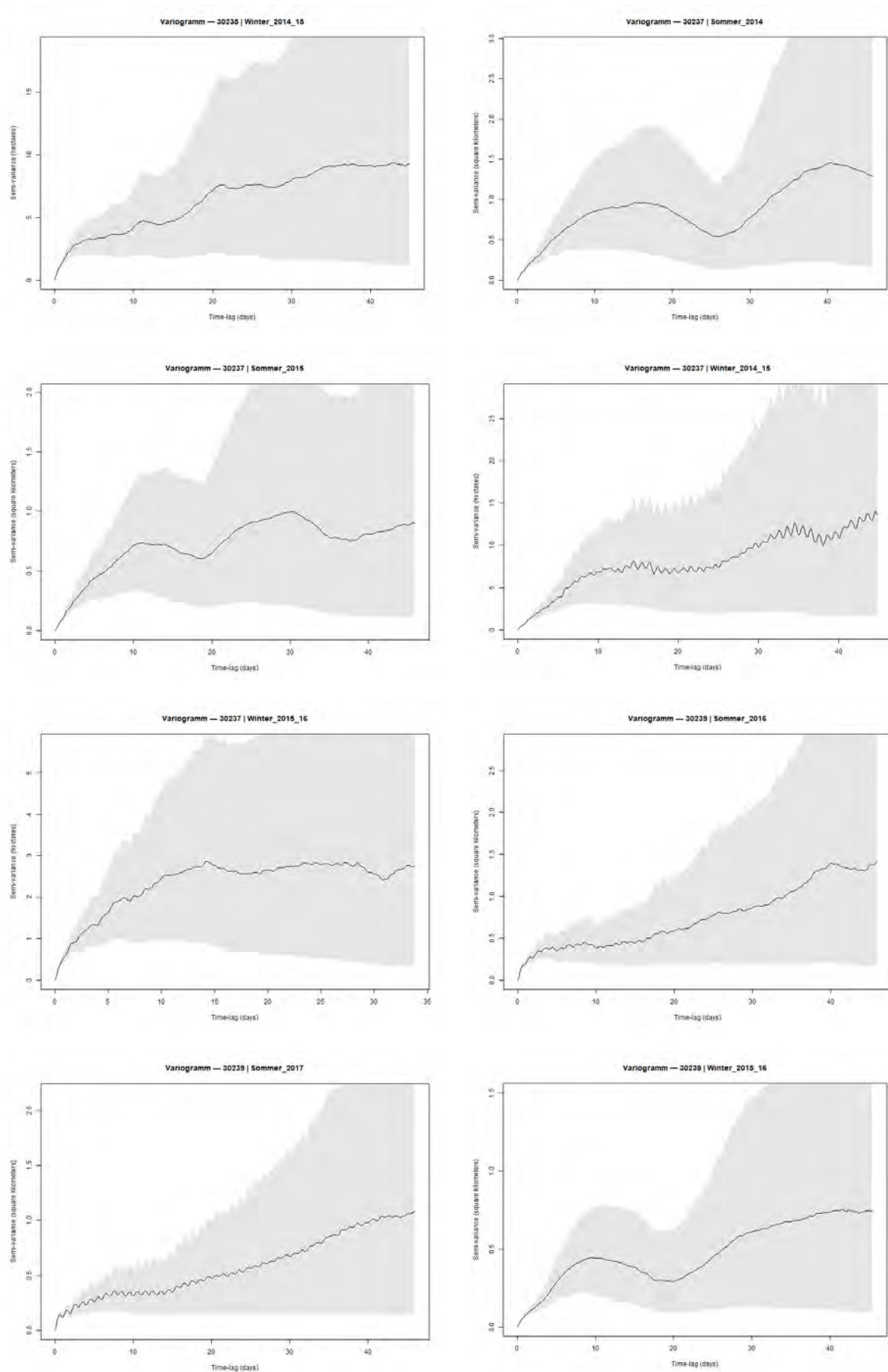


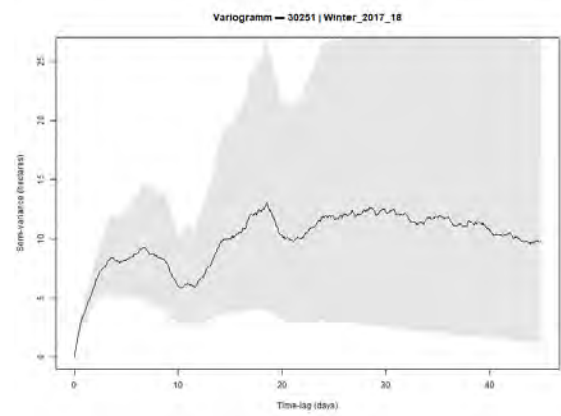
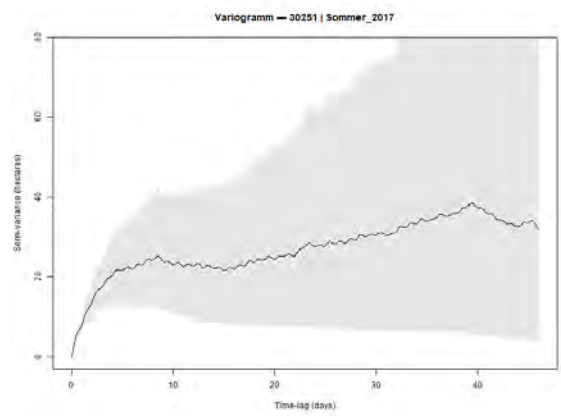
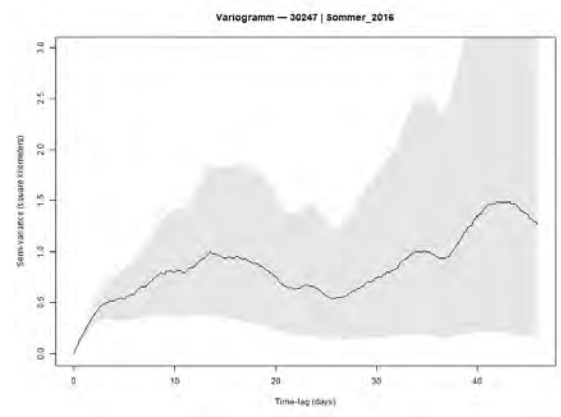
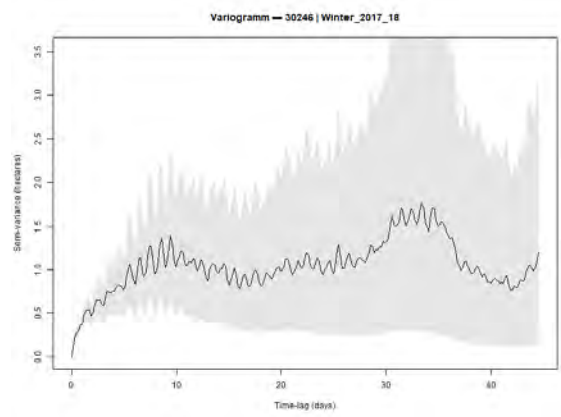
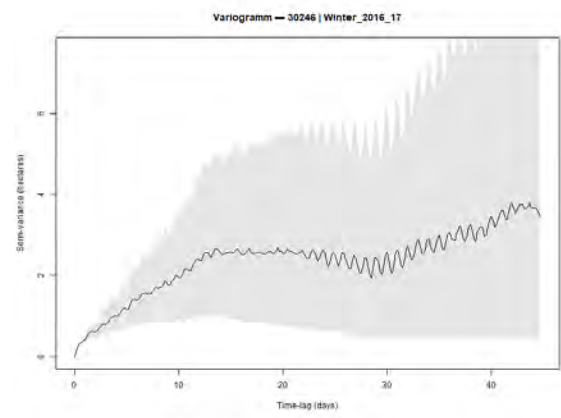
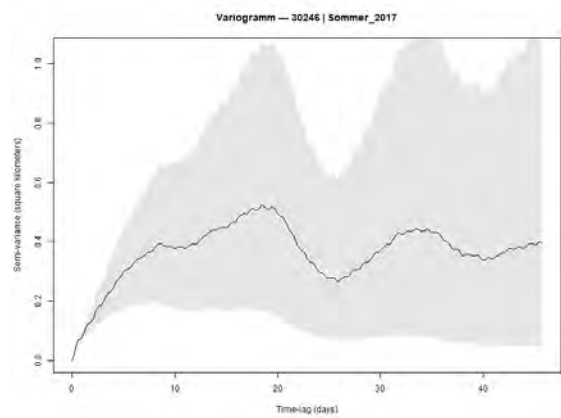
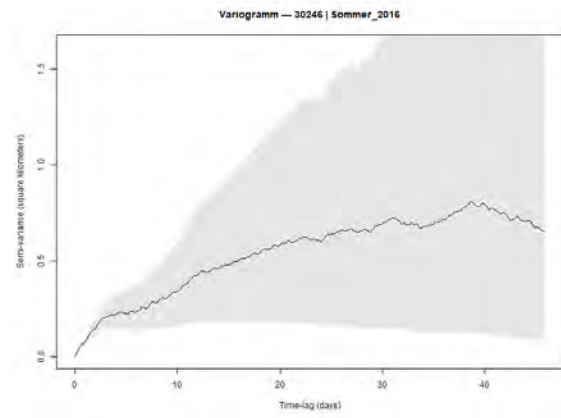
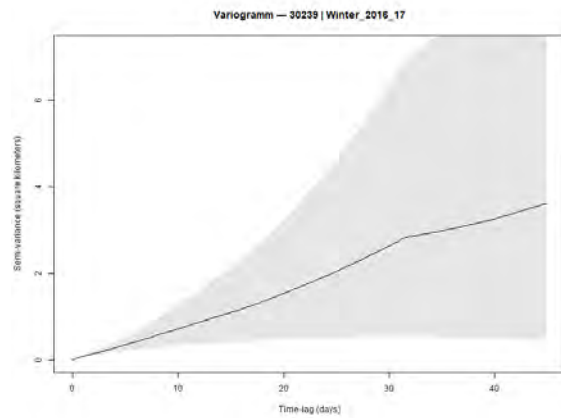


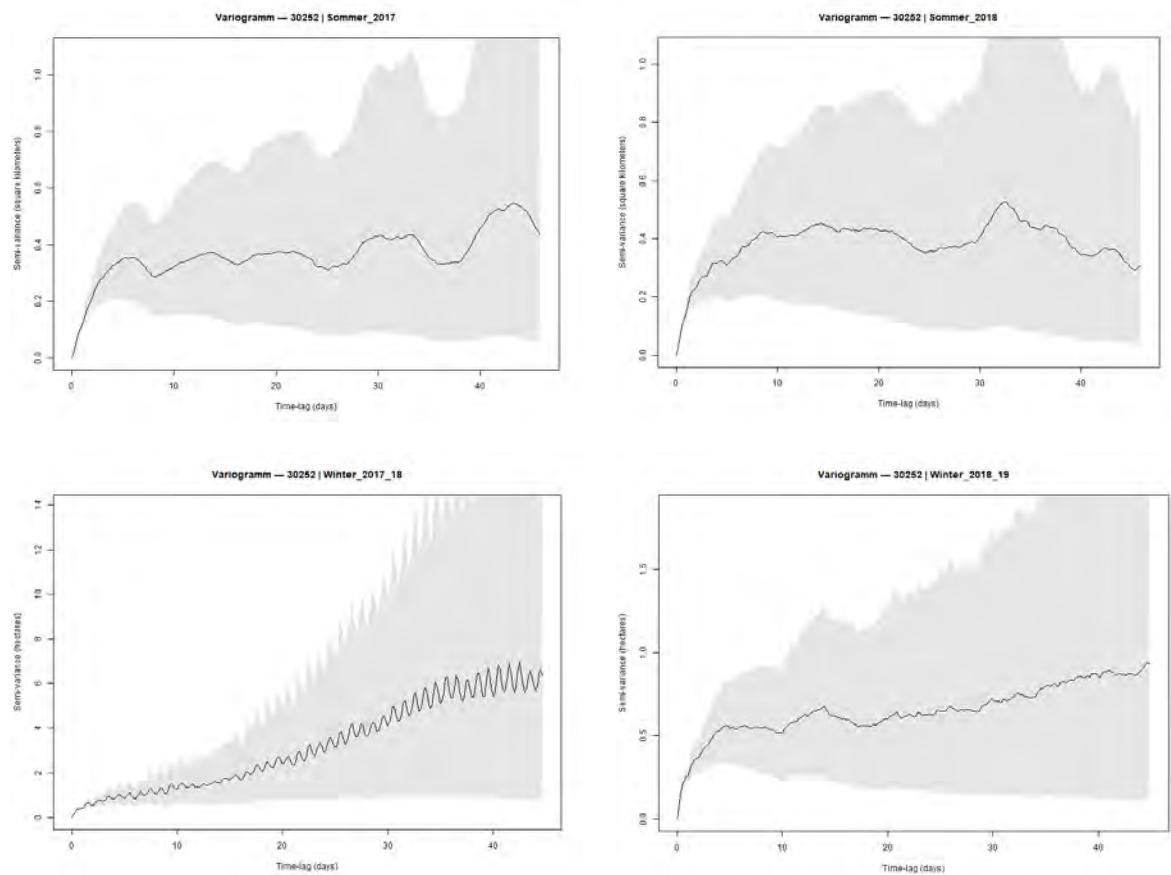
# Anhang



# Anhang







## 9.3 R Code zur Berechnung der Streifgebiete mittels AKDE

```
# author: Ilka Doretta Schneider, Bachelorarbeit Landschaftsplanung und
# Naturschutz, HfWU Nürtingen
# R version 4.5.2 (2025-10-31 ucrt)
```

```
# =====
# AKDE Home Range Analyse — Capra ibex
# Methode: ctmm / AKDE
# Koordinatensystem Export: LV95 (EPSG:2056)
#
# Anpassungen nötig:
#   - xls_pfad      (Zeile ~50)
#   - output_ordner (Zeile ~60)
#   - tier_id        (Zeile ~120)
#   - summer_periods (Zeile ~130)
#   - winter_periods (Zeile ~140)
# =====
```

```
# =====
# SCHRITT 1: Pakete prüfen und laden
# =====
```

```
required_packages <- c(
```

## Anhang

```
"readxl",      # XLS einlesen
"lubridate",   # Datum/Zeit verarbeiten
"dplyr",       # Datensatz filtern und manipulieren
"ctmm",        # Bewegungsmodelle und AKDE
"sf",          # Shapefiles erstellen und exportieren
"ggplot2"     # Diagnose-Plots
)

missing_packages <- required_packages[!(required_packages %in%
installed.packages()[, "Package"])]

if (length(missing_packages) > 0) {
  message("Folgende Pakete werden installiert: ", paste(missing_packages,
collapse = ", "))
  install.packages(missing_packages)
} else {
  message("Alle Pakete sind bereits installiert.")
}

invisible(lapply(required_packages, library, character.only = TRUE))
message("Schritt 1 abgeschlossen – alle Pakete geladen.")

# =====
# SCHRITT 2: XLS einlesen
# =====
xls_pfad <-
"C:/Ilka/Studium/Semester8/02_GIS/Daten_SNP/20260407_ibex_gps_snp_HR.xlsx"

daten_roh <- read_excel(xls_pfad)

message("Anzahl Zeilen: ", nrow(daten_roh))
message("Anzahl Spalten: ", ncol(daten_roh))
print(head(daten_roh, 5))

message("Schritt 2 abgeschlossen – XLS eingelesen.")

# =====
# SCHRITT 3: Output-Ordner definieren
# =====

output_ordner <-
"C:/Ilka/Studium/Semester8/02_GIS/Daten_SNP/20260423_ID_30223"

ordner_punkte <- file.path(output_ordner, "punkte")
ordner_linien <- file.path(output_ordner, "linien")
ordner_logs <- file.path(output_ordner, "logs")

for (ordner in c(ordner_punkte, ordner_linien, ordner_logs)) {
  if (!dir.exists(ordner)) {
    dir.create(ordner, recursive = TRUE)
    message("Ordner erstellt: ", ordner)
  }
}
```

## Anhang

```
} else {
  message("Ordner existiert bereits: ", ordner)
}
}

message("Schritt 3 abgeschlossen – Output-Ordner bereit.")

# =====
# SCHRITT 4: Zeitstempel zusammenführen (Date + Hour → POSIXct)
# =====

daten <- daten_roh %>%
  # Leere Hilfsspalte entfernen falls vorhanden
  select(-any_of("Datum (text)")) %>%
  mutate(
    datum_char = format(as.Date(Date), "%Y-%m-%d"),
    timestamp   = as.POSIXct(paste(datum_char, Hour),
                             format = "%Y-%m-%d %H:%M",
                             tz      = "Europe/Zurich")
  ) %>%
  select(-datum_char, -Date, -Hour) %>%
  filter(!is.na(timestamp)) %>%
  arrange(ID, timestamp)

message("Zeilen nach Bereinigung: ", nrow(daten))
message("Zeitraum gesamt: ", min(daten$timestamp), " bis ",
max(daten$timestamp))
message("Schritt 4 abgeschlossen – Zeitstempel zusammengeführt.")

# =====
# SCHRITT 5: Tier-ID definieren und nach Tier filtern
# =====

message("Verfügbare Tier-IDs im Datensatz:")
print(sort(unique(daten$ID)))

tier_id <- 30223

daten_tier <- daten %>%
  filter(ID == tier_id)

if (nrow(daten_tier) == 0) {
  stop("Keine Daten für Tier-ID ", tier_id, " gefunden! Bitte ID prüfen.")
}

message("Tier-ID: ", tier_id)
message("GPS-Punkte: ", nrow(daten_tier))
message("Zeitraum: ", min(daten_tier$timestamp), " bis ",
max(daten_tier$timestamp))
message("Schritt 5 abgeschlossen – Tier gefiltert.")
```

## Anhang

```
# =====
# SCHRITT 6: LV95 → WGS84 reprojizieren
# =====

daten_tier_sf <- st_as_sf(daten_tier,
                          coords = c("x", "y"),
                          crs     = 2056)

daten_tier_wgs84 <- st_transform(daten_tier_sf, crs = 4326)
coords_wgs84     <- st_coordinates(daten_tier_wgs84)

daten_tier_wgs84_df <- daten_tier %>%
  mutate(
    lon = coords_wgs84[, 1],
    lat = coords_wgs84[, 2]
  )

message("Schritt 6 abgeschlossen – LV95 nach WGS84 projiziert.")

# =====
# SCHRITT 6b: GPS-Ausreißer entfernen (Bounding Box Schweiz)
# =====

zeilen_vorher <- nrow(daten_tier_wgs84_df)

daten_tier_wgs84_df <- daten_tier_wgs84_df %>%
  filter(
    lon >= 5.9 & lon <= 10.6,
    lat >= 45.8 & lat <= 47.9
  )

zeilen_nachher <- nrow(daten_tier_wgs84_df)
entfernt       <- zeilen_vorher - zeilen_nachher

message("GPS-Punkte vor Bereinigung: ", zeilen_vorher)
message("GPS-Punkte nach Bereinigung: ", zeilen_nachher)
message("Entfernte Ausreißer:         ", entfernt)
message("Schritt 6b abgeschlossen – Ausreißer entfernt.")

# =====
# SCHRITT 7: Saisonale Zeitfenster definieren
# =====

# Hilfsfunktion: letzter Tag eines Monats (Schaltjahr-sicher)
letzter_tag <- function(jahr, monat) {
  ceiling_date(ymd(paste(jahr, monat, "01", sep = "-")), "month") - days(1)
}

# !! Zeitfenster je nach Trackingzeitraum des Tieres anpassen !!
# Sommer: 01.06. – 31.08.
```

## Anhang

```
summer_periods <- list(
  c(ymd("2007-06-01"), letzter_tag(2007, 8)), # Sommer 2007
  c(ymd("2008-06-01"), letzter_tag(2008, 8)), # Sommer 2008
  c(ymd("2009-06-01"), letzter_tag(2009, 8)), # Sommer 2009
  c(ymd("2010-06-01"), letzter_tag(2010, 8)), # Sommer 2010
  c(ymd("2011-06-01"), letzter_tag(2011, 8)), # Sommer 2011
  c(ymd("2012-06-01"), letzter_tag(2012, 8)), # Sommer 2012
  c(ymd("2013-06-01"), letzter_tag(2013, 8)), # Sommer 2013
  c(ymd("2014-06-01"), letzter_tag(2014, 8)), # Sommer 2014
  c(ymd("2015-06-01"), letzter_tag(2015, 8)), # Sommer 2015
  c(ymd("2016-06-01"), letzter_tag(2016, 8)), # Sommer 2016
  c(ymd("2017-06-01"), letzter_tag(2017, 8)), # Sommer 2017
  c(ymd("2018-06-01"), letzter_tag(2018, 8)), # Sommer 2018
  c(ymd("2019-06-01"), letzter_tag(2019, 8)) # Sommer 2019
)

# Winter: 01.12. - 31.02. des Folgejahres
winter_periods <- list(
  c(ymd("2007-12-01"), letzter_tag(2008, 2)), # Winter 2007/08
  c(ymd("2008-12-01"), letzter_tag(2009, 2)), # Winter 2008/09
  c(ymd("2009-12-01"), letzter_tag(2010, 2)), # Winter 2009/10
  c(ymd("2010-12-01"), letzter_tag(2011, 2)), # Winter 2010/11
  c(ymd("2011-12-01"), letzter_tag(2012, 2)), # Winter 2011/12
  c(ymd("2012-12-01"), letzter_tag(2013, 2)), # Winter 2012/13
  c(ymd("2013-12-01"), letzter_tag(2014, 2)), # Winter 2013/14
  c(ymd("2014-12-01"), letzter_tag(2015, 2)), # Winter 2014/15
  c(ymd("2015-12-01"), letzter_tag(2016, 2)), # Winter 2015/16
  c(ymd("2016-12-01"), letzter_tag(2017, 2)), # Winter 2016/17
  c(ymd("2017-12-01"), letzter_tag(2018, 2)), # Winter 2017/18
  c(ymd("2018-12-01"), letzter_tag(2019, 2)) # Winter 2018/19
)

# Kontrolle
message("=== Sommersaisons ===")
for (i in seq_along(summer_periods)) {
  message("Sommer ", i, ": ", summer_periods[[i]][1], " bis ",
    summer_periods[[i]][2])
}
message("=== Wintersaisons ===")
for (i in seq_along(winter_periods)) {
  message("Winter ", i, ": ", winter_periods[[i]][1], " bis ",
    winter_periods[[i]][2])
}

message("Schritt 7 abgeschlossen – Zeitfenster definiert.")

# =====
# SCHRITT 8: Filterung nach Datenkontinuität (≥ 60 unique Tage)
# =====

saison_filtern <- function(daten, zeitfenster, saison_name) {
```



## Anhang

```
start <- zeitfenster[1]
ende <- zeitfenster[2]

daten_saison <- daten %>%
  filter(as.Date(timestamp) >= start & as.Date(timestamp) <= ende)

unique_tage <- length(unique(as.Date(daten_saison$timestamp)))

message("--- ", saison_name, " ---")
message(" Zeitfenster: ", start, " bis ", ende)
message(" GPS-Punkte: ", nrow(daten_saison))
message(" Unique Tage: ", unique_tage)

if (unique_tage >= 60) {
  message(" ✓ Saison wird verwendet (≥ 60 Tage)")
  return(list(daten = daten_saison,
              name = saison_name,
              start = start,
              ende = ende,
              tage = unique_tage,
              valid = TRUE))
} else {
  message(" ✗ Saison wird NICHT verwendet (< 60 Tage)")
  return(list(daten = NULL,
              name = saison_name,
              start = start,
              ende = ende,
              tage = unique_tage,
              valid = FALSE))
}
}

# Sommer prüfen
message("===== SOMMERSAISONS =====")
sommer_namen <- paste0("Sommer_", sapply(summer_periods, function(p)
year(p[1])))
sommer_ergebnisse <- list()
for (i in seq_along(summer_periods)) {
  sommer_ergebnisse[[sommer_namen[i]]] <- saison_filtern(
    daten_tier_wgs84_df, summer_periods[[i]], sommer_namen[i]
  )
}

# Winter prüfen
message("===== WINTERSAISONS =====")
winter_namen <- paste0("Winter_", sapply(winter_periods, function(p) {
  paste0(year(p[1]), "_", substr(year(p[2]), 3, 4))
}))
winter_ergebnisse <- list()
for (i in seq_along(winter_periods)) {
  winter_ergebnisse[[winter_namen[i]]] <- saison_filtern(
    daten_tier_wgs84_df, winter_periods[[i]], winter_namen[i]
  )
}
```

## Anhang

```
)
}

# Nur valide Saisons behalten
alle_saisons <- c(sommer_ergebnisse, winter_ergebnisse)
valide_saisons <- Filter(function(s) s$valid, alle_saisons)

if (length(valide_saisons) == 0) {
  stop("Keine validen Saisons für Tier ", tier_id, "! Skript wird
abgebrochen.")
}

message("=====")
message("Valide Saisons gesamt: ", length(valide_saisons))
for (s in valide_saisons) {
  message(" → ", s$name, " (", s$stage, " Tage, ", nrow(s$daten), "
Punkte)")
}
message("Schritt 8 abgeschlossen – Saisons gefiltert.")

# =====
# SCHRITT 9: telemetry-Objekte erstellen
# =====

telemetry_liste <- list()

for (saison_name in names(valide_saisons)) {

  s <- valide_saisons[[saison_name]]

  message("Erstelle telemetry-Objekt für: ", saison_name)

  tel_df <- data.frame(
    individual.local.identifizier = as.character(s$daten$ID),
    timestamp                     = s$daten$timestamp,
    location.long                 = s$daten$lon,
    location.lat                  = s$daten$lat
  )

  tel <- as.telemetry(tel_df,
                     timeformat = "%Y-%m-%d %H:%M:%S",
                     timezone   = "Europe/Zurich")

  message(" Punkte: ", nrow(tel))
  telemetry_liste[[saison_name]] <- tel
}

message("Schritt 9 abgeschlossen – telemetry-Objekte erstellt.")

# =====
# SCHRITT 10: Variogramm plotten (visuelle Diagnose)
```

## Anhang

```
# =====

variogramm_liste <- list()

for (saison_name in names(telemetry_liste)) {

  tel <- telemetry_liste[[saison_name]]

  message("Berechne Variogramm für: ", saison_name)

  vg <- variogram(tel)

  # Plot direkt anzeigen (kein xlab/ylab – ctmm setzt diese intern)
  plot(vg, main = paste("Variogramm -", tier_id, "|", saison_name))

  # Als PNG speichern
  plot_pfad <- file.path(ordner_logs,
                          paste0(tier_id, "_", saison_name,
"_variogramm.png"))
  png(plot_pfad, width = 800, height = 600)
  plot(vg, main = paste("Variogramm -", tier_id, "|", saison_name))
  dev.off()

  message(" Variogramm gespeichert: ", plot_pfad)
  variogramm_liste[[saison_name]] <- vg
}

message("Schritt 10 abgeschlossen – Variogramme erstellt.")
message("Bitte Variogramme prüfen: Plateau vorhanden? → OUF/OU erwartet")

# =====
# SCHRITT 11: Modellselektion ctmm.select()
# =====

modell_liste <- list()

for (saison_name in names(telemetry_liste)) {

  tel <- telemetry_liste[[saison_name]]

  message("Starte Modellselektion für: ", saison_name)
  message(" (kann einige Minuten dauern...)")

  guess <- ctmm.guess(tel, interactive = FALSE)
  modell <- ctmm.select(tel,
                        CTMM = guess,
                        verbose = TRUE,
                        cores = 1)

  bestes_modell <- modell[[1]]
  modell_name <- summary(bestes_modell)$name
```

## Anhang

```
message("  ✓ Bestes Modell: ", modell_name)

modell_liste[[saison_name]] <- list(
  modell      = bestes_modell,
  alle_modelle = modell,
  name        = modell_name,
  saison      = saison_name
)
}

message("Schritt 11 abgeschlossen – Modellselektion abgeschlossen.")

# =====
# SCHRITT 12: Modell & Infos ins Log schreiben
# =====

log_pfad <- file.path(ordner_logs, paste0(tier_id, "_modell_log.txt"))

sink(log_pfad)
cat("=====\n")
cat("AKDE Modell-Log\n")
cat("Erstellt am:", format(Sys.time(), "%Y-%m-%d %H:%M:%S"), "\n")
cat("Tier-ID:", tier_id, "\n")
cat("=====\n\n")

for (saison_name in names(modell_liste)) {
  m <- modell_liste[[saison_name]]
  s <- valide_saisons[[saison_name]]
  cat("--- Saison:", saison_name, "---\n")
  cat(" Zeitraum:      ", as.character(s$start), "bis",
as.character(s$ende), "\n")
  cat(" GPS-Punkte:     ", nrow(s$daten), "\n")
  cat(" Unique Tage:    ", s$stage, "\n")
  cat(" Bestes Modell:  ", m$name, "\n\n")
  cat(" Modell-Summary:\n")
  print(summary(m$model))
  cat("\n")
}

cat("=====\n")
sink()

message("Log gespeichert: ", log_pfad)
for (saison_name in names(modell_liste)) {
  m <- modell_liste[[saison_name]]
  s <- valide_saisons[[saison_name]]
  message(" → ", saison_name,
    " | Modell: ", m$name,
    " | Punkte: ", nrow(s$daten),
    " | Tage: ", s$stage)
}
```

## Anhang

```
message("Schritt 12 abgeschlossen – Log geschrieben.")

# =====
# SCHRITT 13: IID-Warnung
# =====

for (saison_name in names(modell_liste)) {
  m <- modell_liste[[saison_name]]
  if (grepl("IID", m$name)) {
    message("⚠️ WARNUNG: ", saison_name, " – Modell ist IID!")
    message("  Keine Autokorrelation nachweisbar.")
    message("  AKDE entspricht klassischer KDE – wird trotzdem berechnet.")
  } else {
    message("✓ ", saison_name, " – Modell OK: ", m$name)
  }
}

message("Schritt 13 abgeschlossen.")

# =====
# SCHRITT 14: AKDE berechnen
# =====

akde_liste <- list()

for (saison_name in names(modell_liste)) {

  tel <- telemetry_liste[[saison_name]]
  m <- modell_liste[[saison_name]]

  message("Berechne AKDE für: ", saison_name)
  message("  (kann einige Minuten dauern...)")

  akde_obj <- akde(tel, CTMM = m$model)
  summ <- summary(akde_obj, units = FALSE)

  message("  ✓ AKDE berechnet")
  message("  95% Home Range: ",
    round(summ$CI["area (square meters)", "est"] / 1e6, 4), " km²")

  akde_liste[[saison_name]] <- akde_obj
}

message("Schritt 14 abgeschlossen – AKDE berechnet.")

# =====
# SCHRITT 15 & 16: Isoplethen extrahieren (95% und 50%)
# =====
```

## Anhang

```
isoplethen_liste <- list()

for (saison_name in names(akde_liste)) {

  akde_obj <- akde_liste[[saison_name]]

  message("Extrahiere Isoplethen für: ", saison_name)

  # Isoplethen extrahieren
  iso_95 <- SpatialPolygonsDataFrame.UD(akde_obj, level.UD = 0.95)
  iso_50 <- SpatialPolygonsDataFrame.UD(akde_obj, level.UD = 0.50)

  # sp → sf konvertieren
  iso_95_sf <- st_as_sf(iso_95)
  iso_50_sf <- st_as_sf(iso_50)

  # Nur mittlere Schätzung (est) behalten – grepl wegen Namen wie "30208
  95% est"
  iso_95_sf <- iso_95_sf[grepl("est", iso_95_sf$name), ]
  iso_50_sf <- iso_50_sf[grepl("est", iso_50_sf$name), ]

  # Direkt von ctmm-Projektion (tpeqd) nach LV95 transformieren
  iso_95_sf <- st_transform(iso_95_sf, crs = 2056)
  iso_50_sf <- st_transform(iso_50_sf, crs = 2056)

  # Metadaten hinzufügen
  iso_95_sf$tier_id <- tier_id
  iso_95_sf$saison <- saison_name
  iso_95_sf$isoplethe <- "95%"

  iso_50_sf$tier_id <- tier_id
  iso_50_sf$saison <- saison_name
  iso_50_sf$isoplethe <- "50%"

  message(" ✓ 95% Isoplethe: ", nrow(iso_95_sf), " Feature(s) | CRS: ",
st_crs(iso_95_sf)$epsg)
  message(" ✓ 50% Isoplethe: ", nrow(iso_50_sf), " Feature(s) | CRS: ",
st_crs(iso_50_sf)$epsg)

  isoplethen_liste[[saison_name]] <- list(
    iso_95 = iso_95_sf,
    iso_50 = iso_50_sf
  )
}

message("Schritt 15 & 16 abgeschlossen – Isoplethen extrahiert.")

# =====
# SCHRITT 17, 18 & 19: Punkte & Isoplethen als Shapefile exportieren
# =====
```

## Anhang

```
for (saison_name in names(valide_saisons)) {

  s <- valide_saisons[[saison_name]]

  message("Exportiere Shapefiles für: ", saison_name)

  # --- GPS-Punkte: WGS84 → LV95 → Shapefile ---
  punkte_sf <- st_as_sf(s$daten,
                        coords = c("lon", "lat"),
                        crs     = 4326)
  punkte_sf <- st_transform(punkte_sf, crs = 2056)
  punkte_sf$tier_id <- tier_id
  punkte_sf$saison  <- saison_name

  dateiname_punkte <- paste0(tier_id, "_", saison_name, "_punkte.shp")
  pfad_punkte      <- file.path(ordner_punkte, dateiname_punkte)
  st_write(punkte_sf, pfad_punkte, delete_dsn = TRUE, quiet = TRUE)
  message("  ✓ Punkte gespeichert:      ", dateiname_punkte)

  # --- Isoplethen: 95% & 50% zusammenführen → Shapefile ---
  iso          <- isoplethen_liste[[saison_name]]
  iso_gesamt   <- rbind(iso$iso_95, iso$iso_50)

  dateiname_linien <- paste0(tier_id, "_", saison_name, "_linien.shp")
  pfad_linien      <- file.path(ordner_linien, dateiname_linien)
  st_write(iso_gesamt, pfad_linien, delete_dsn = TRUE, quiet = TRUE)
  message("  ✓ Isoplethen gespeichert: ", dateiname_linien)
}

# =====
# ABSCHLUSS
# =====

message("")
message("=====")
message("Analyse abgeschlossen für Tier: ", tier_id)
message("Valide Saisons: ", length(valide_saisons))
for (s in valide_saisons) {
  message("  → ", s$name, " (", s$stage, " Tage, ", nrow(s$daten), "
Punkte)")
}
message("Shapefiles Punkte:      ", ordner_punkte)
message("Shapefiles Isoplethen:", ordner_linien)
message("Logs:                      ", ordner_logs)
message("=====")
```

## 9.4 R-Code zur Korrelationsanalyse der Aufenthaltshöhe und Temperatur

```
# author: Ilka Doretta Schneider, Bachelorarbeit Landschaftsplanung und
Naturschutz, HfWU Nürtingen
# R version 4.5.2 (2025-10-31 ucrt)

# =====
# Tiertracking - Korrelation Höhe & Temperatur pro Jahr
# VERSION: Rolling Mean (7-Tage zentriert, Lücken via NA)
# =====

# — 1. PAKETE PRÜFEN UND LADEN —————

required_packages <- c("readxl", "dplyr", "lubridate", "ggplot2", "scales",
"tidyr", "zoo")

for (pkg in required_packages) {
  if (!requireNamespace(pkg, quietly = TRUE)) {
    message("Installiere Paket: ", pkg)
    install.packages(pkg)
  }
  library(pkg, character.only = TRUE)
}

# — 2. XLS EINLESEN —————

file_path <-
"C:/Ilka/Studium/Semester8/02_GIS/Daten_SNP/20260407_ibex_TEMP.xlsx"

raw_data <- read_excel(file_path)

message("Spaltennamen: ", paste(names(raw_data), collapse = ", "))
print(head(raw_data, 5))

# — 3. AUSGABEORDNER DEFINIEREN —————

output_dir <- "C:/Ilka/Studium/Semester8/02_GIS/Daten_SNP/20260521_Temp"

if (!dir.exists(output_dir)) {
  dir.create(output_dir, recursive = TRUE)
  message("Ordner erstellt: ", output_dir)
}

# — 4. SPALTEN VEREINHEITLICHEN & ZEITSTEMPEL ZUSAMMENFÜHREN —

data <- raw_data %>%
  rename(
    id          = ID,
```



## Anhang

```
sex          = Sex,
date_col     = Date,
hour_col     = Hour,
temperature  = Temperature,
height       = Height
) %>%
mutate(
  date_col = as.Date(date_col),
  hour_col = as.integer(hour_col),
  datetime = as.POSIXct(
    paste(date_col, sprintf("%02d:00:00", hour_col)),
    format = "%Y-%m-%d %H:%M:%S"
  )
)

# — 5. DATEN BEREINIGEN —————

n_start <- nrow(data)
message("Datensätze gesamt: ", n_start)

# 5a. Geschlecht vereinheitlichen
message("\nEindeutige Werte in 'sex': ", paste(sort(unique(data$sex)),
collapse = ", "))

data <- data %>%
  mutate(sex = recode(sex,
    "male" = "M", "female" = "F",
    "m"    = "M", "f"      = "F",
    "1"    = "M", "2"      = "F",
    "männlich" = "M", "weiblich" = "F"
  ))

n_unknown_sex <- sum(!data$sex %in% c("M", "F"), na.rm = TRUE)
message("Datensätze mit unbekanntem Geschlecht (entfernt): ",
n_unknown_sex)

data <- data %>% filter(sex %in% c("M", "F"))
message("Datensätze nach Geschlechts-Filter: ", nrow(data))

# 5b. Höhenausreißer entfernen
message("\nHöhen-Prüfung:")
message("  Werte unter 1700 m:  ", sum(data$height < 1700, na.rm = TRUE))
message("  Werte über 3200 m:   ", sum(data$height > 3200, na.rm = TRUE))
message("  Fehlende Werte (NA): ", sum(is.na(data$height)))

data <- data %>% filter(height >= 1700, height <= 3200)
message("Datensätze nach Höhen-Filter: ", nrow(data))

# 5c. Zusammenfassung
n_end <- nrow(data)
message("\n—————")
message("Datensätze vor Bereinigung:  ", n_start)
```

## Anhang

```
message("Datensätze nach Bereinigung: ", n_end)
message("Entfernt insgesamt:          ", n_start - n_end,
        " (", round((n_start - n_end) / n_start * 100, 1), " %)")
message("_____")

# 5d. Tierübersicht
overview <- data %>%
  group_by(id, sex) %>%
  summarise(
    Anzahl_Messungen = n(),
    Erster_Tag       = min(date_col, na.rm = TRUE),
    Letzter_Tag      = max(date_col, na.rm = TRUE),
    .groups          = "drop"
  ) %>%
  arrange(sex, id)

message("\nTierübersicht:")
print(overview)

# 5e. Jahresübersicht
jahre_vorhanden <- data %>%
  mutate(jahr = year(date_col)) %>%
  group_by(jahr) %>%
  summarise(
    Messungen = n(),
    Tiere     = n_distinct(id),
    Maennlich = n_distinct(id[sex == "M"]),
    Weiblich  = n_distinct(id[sex == "F"]),
    .groups   = "drop"
  ) %>%
  arrange(jahr)

message("\nJahresübersicht:")
print(jahre_vorhanden)

# — 6. ROLLING MEAN - PARAMETER —————
#
# roll_k      : Fenstergröße in Tagen (7 = 3 Tage davor + aktueller Tag +
#               3 Tage danach)
# max_na_frac : Maximaler NA-Anteil im Fenster, ab dem kein Wert
#               berechnet wird.
#               0.4 = mehr als 2 von 7 Tagen fehlen → NA →
#               Linienunterbruch im Plot.
#               Kleinere Lücken (1-2 Tage) werden sanft überbrückt.

roll_k      <- 7
max_na_frac <- 0.4

# — 7. HILFSFUNKTION: ROLLING MEAN MIT LÜCKENERKENNUNG —————
#
# Ablauf:
```

## Anhang

```
# 1) Tagesaggregation (Mittelwert aller Stundenmessungen je Tag)
# 2) Vollständige Jahreszeitreihe aufspannen → fehlende Tage werden NA
# 3) zoo::rollapply berechnet den gleitenden Mittelwert über k Tage
#    (zentriert)
#    Falls zu viele NAs im Fenster → Ergebnis bleibt NA
# 4) ggplot2 bricht die Linie automatisch bei NA-Werten ab

compute_rolling_mean <- function(dates, values, yr, k = 7, max_na_frac =
0.4) {

  # Schritt 1: Tagesaggregation
  daily <- data.frame(date = as.Date(dates), val = values) %>%
    group_by(date) %>%
    summarise(val = mean(val, na.rm = TRUE), .groups = "drop")

  # Schritt 2: Vollständige Jahreszeitreihe (1. Jan - 31. Dez)
  all_dates <- seq(
    as.Date(paste0(yr, "-01-01")),
    as.Date(paste0(yr, "-12-31")),
    by = "day"
  )

  full <- data.frame(date = all_dates) %>%
    left_join(daily, by = "date") # fehlende Tage erhalten NA

  # Schritt 3: Gleitender Mittelwert
  rolled <- rollapply(
    full$val,
    width = k,
    align = "center",
    fill = NA,
    FUN = function(x) {
      if (sum(is.na(x)) / length(x) > max_na_frac) return(NA)
      mean(x, na.rm = TRUE)
    }
  )

  data.frame(date = all_dates, value = rolled)
}

# — 8. SKALIERUNGSPARAMETER —————
# → Diese vier Werte können jederzeit angepasst werden

temp_min <- -24
temp_max <- 18
height_min <- 1900
height_max <- 3200

h_to_t <- function(h) (h - height_min) / (height_max - height_min) *
  (temp_max - temp_min) + temp_min

t_to_h <- function(t) (t - temp_min) / (temp_max - temp_min) *
```

## Anhang

```
(height_max - height_min) + height_min

temp_breaks <- seq(temp_min, temp_max, by = 6)
height_breaks <- round(t_to_h(temp_breaks))

message("\nSkalierung:")
message("  Temperatur: ", temp_min, "°C bis ", temp_max, "°C")
message("  Höhe:      ", height_min, " m bis ", height_max, " m")

# — 9. PLOT-LOOP —————

years_to_plot <- 2007:2019

for (yr in years_to_plot) {

  year_data <- data %>% filter(year(date_col) == yr)

  if (nrow(year_data) == 0) {
    message("Keine Daten für ", yr, " - übersprungen.")
    next
  }

  # Tierlabels mit Geschlecht
  animal_labels <- year_data %>%
    select(id, sex) %>%
    distinct() %>%
    arrange(id) %>%
    mutate(label = paste0(id, " (", tolower(sex), ")")) %>%
    pull(label)

  message("Verarbeite ", yr, " | Tiere: ", paste(animal_labels, collapse =
    ", "),
        " | n = ", nrow(year_data))

  # — Rolling Mean Temperatur —————
  rolling_temp <- compute_rolling_mean(
    dates = year_data$date_col,
    values = year_data$temperature,
    yr      = yr,
    k       = roll_k,
    max_na_frac = max_na_frac
  )

  # Manuelle Lücke 2010: keine Wetterdaten in diesem Zeitraum
  # (Falls die Rohdaten hier fehlerhafte statt fehlende Werte enthalten,
  # werden sie hier explizit auf NA gesetzt - Rolling Mean erkennt Lücken
  # mit fehlenden Rohdaten automatisch.)
  if (yr == 2010) {
    rolling_temp <- rolling_temp %>%
      mutate(value = ifelse(
        date >= as.Date("2010-10-06") & date <= as.Date("2010-11-18"),
        NA, value
      ))
  }
}
```

## Anhang

```
    ))
  }

# — Rolling Mean Höhe Männlich —————
data_m <- year_data %>% filter(sex == "M")

if (nrow(data_m) == 0) {
  rolling_m <- data.frame(date = as.Date(character()), value = numeric())
} else {
  rolling_m <- compute_rolling_mean(
    dates = data_m$date_col,
    values = data_m$height,
    yr     = yr,
    k      = roll_k,
    max_na_frac = max_na_frac
  )
}

# — Rolling Mean Höhe Weiblich —————
data_f <- year_data %>% filter(sex == "F")

if (nrow(data_f) == 0) {
  rolling_f <- data.frame(date = as.Date(character()), value = numeric())
} else {
  rolling_f <- compute_rolling_mean(
    dates = data_f$date_col,
    values = data_f$height,
    yr     = yr,
    k      = roll_k,
    max_na_frac = max_na_frac
  )
}

# — DIAGRAMM —————
p <- ggplot() +

  # Rolling Mean Höhe Männlich
  geom_line(
    data = rolling_m,
    aes(x = date, y = h_to_t(value)),
    color = "#E07B00", linewidth = 0.9, na.rm = FALSE
  ) +

  # Rolling Mean Höhe Weiblich
  geom_line(
    data = rolling_f,
    aes(x = date, y = h_to_t(value)),
    color = "#2E8B57", linewidth = 0.9, na.rm = FALSE
  ) +

  # Rolling Mean Temperatur grau
  geom_line(
    data = rolling_temp,
```

## Anhang

```
    aes(x = date, y = value),
    color = "grey50", linewidth = 0.8, na.rm = FALSE
  ) +

  # X-Achse: Monate
  scale_x_date(
    date_breaks = "1 month",
    date_labels = "%b",
    limits      = as.Date(c(paste0(yr, "-01-01"), paste0(yr, "-12-31"))),
    expand      = c(0.01, 0)
  ) +

  # Y-Achsen
  scale_y_continuous(
    name      = "Temperatur (°C)",
    limits    = c(temp_min, temp_max),
    breaks    = temp_breaks,
    sec.axis  = sec_axis(
      transform = ~ t_to_h(.),
      name      = "Höhe (m ü. M.)",
      breaks    = height_breaks
    )
  ) +

  labs(
    title      = paste("Jahresübersicht", yr),
    subtitle   = paste0(
      "Tiere: ", paste(animal_labels, collapse = ", "),
      " | Messpunkte: ", nrow(year_data)
    ),
    x          = NULL,
    caption    = paste0(
      "Grau = Rolling Mean Temperatur | ",
      "Orange = Rolling Mean Höhe Männlich | Grün = Rolling Mean Höhe  
Weiblich | ",
      "Linienunterbruch = Datenlücke (> ", max_na_frac * 100, " % fehlend  
im ",
      roll_k, "-Tage-Fenster)"
    )
  ) +

  theme_minimal(base_size = 9) +
  theme(
    plot.title      = element_text(face = "bold", size = 10),
    plot.subtitle   = element_text(size = 7.5, color = "grey40"),
    plot.caption    = element_text(size = 6.5, color = "grey50", hjust
= 0),
    axis.title.y.left = element_text(color = "black", margin = margin(r
= 6)),
    axis.title.y.right = element_text(color = "grey40", margin = margin(l
= 6)),
    panel.grid.major.x = element_line(color = "grey88", linewidth = 0.3),
    panel.grid.major.y = element_line(color = "grey92", linewidth = 0.3),
```

## Anhang

```
    panel.grid.minor    = element_blank(),
    legend.position     = "none",
    plot.margin         = margin(6, 10, 4, 6)
  )

  # Export A5 Querformat, 300 dpi
  filename <- file.path(output_dir, paste0("tracking_rollingmean_", yr,
".png"))
  ggsave(filename = filename, plot = p,
    width = 210, height = 148, units = "mm", dpi = 300)

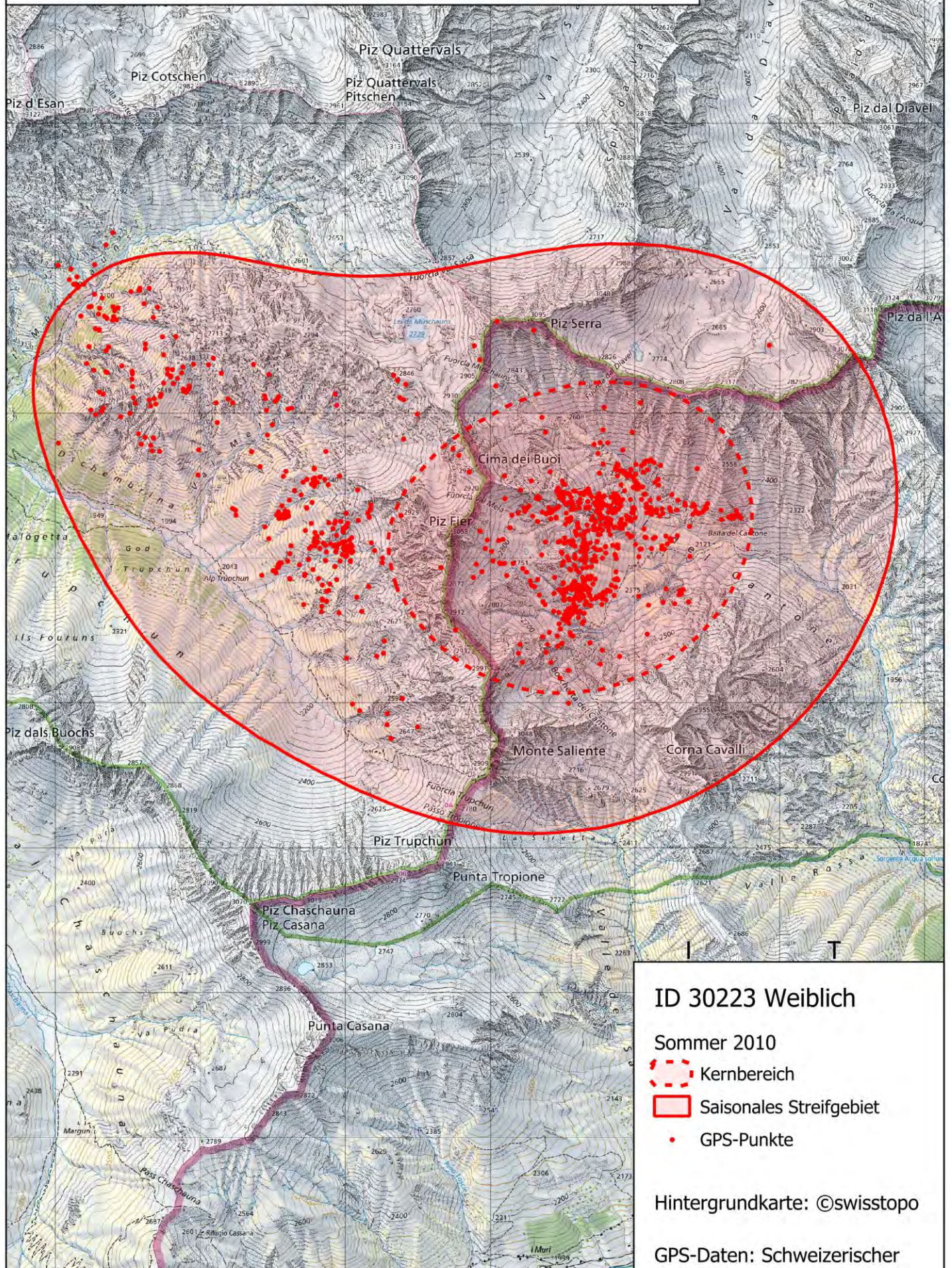
  message("Gespeichert: ", filename)
}

message("\nAlle Diagramme fertig in: ", output_dir)
```

## 9.5 Karten der Streifgebiete



# Streifgebiet ID 30223 Sommer 2010



ID 30223 Weiblich

Sommer 2010

 Kernbereich

 Saisonales Streifgebiet

 GPS-Punkte

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer  
Nationalpark (SNP)

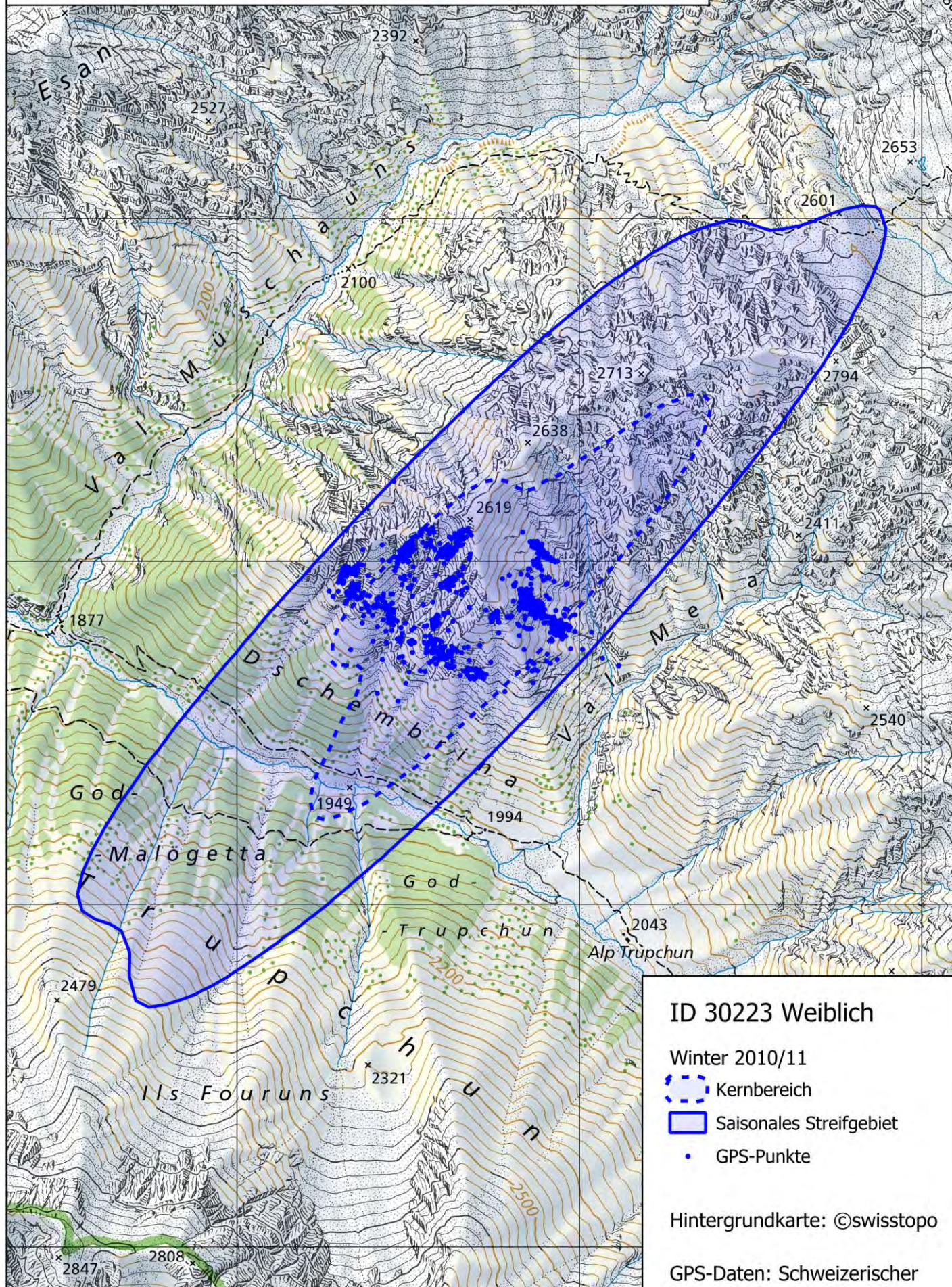
Maßstab 1:35.000

0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 km





# Streifgebiet ID 30223 Winter 2010/11



ID 30223 Weiblich

Winter 2010/11

 Kernbereich

 Saisonales Streifgebiet

 GPS-Punkte

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer  
Nationalpark (SNP)

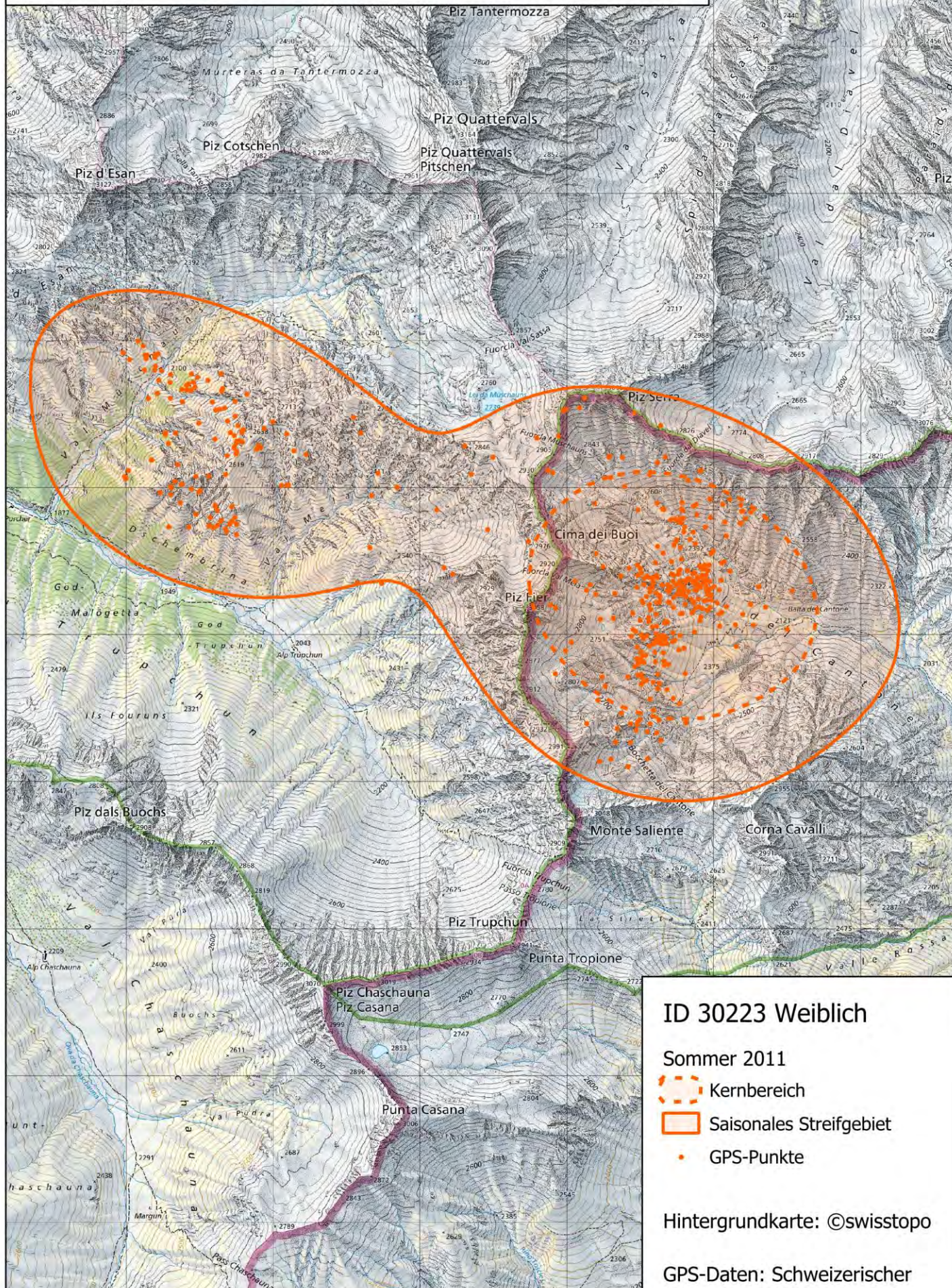
Maßstab 1:15.000

0 0,25 0,5 0,75 1 1,25 km





# Streifgebiet ID 30223 Sommer 2011



ID 30223 Weiblich

Sommer 2011

 Kernbereich

 Saisonales Streifgebiet

 GPS-Punkte

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer  
Nationalpark (SNP)

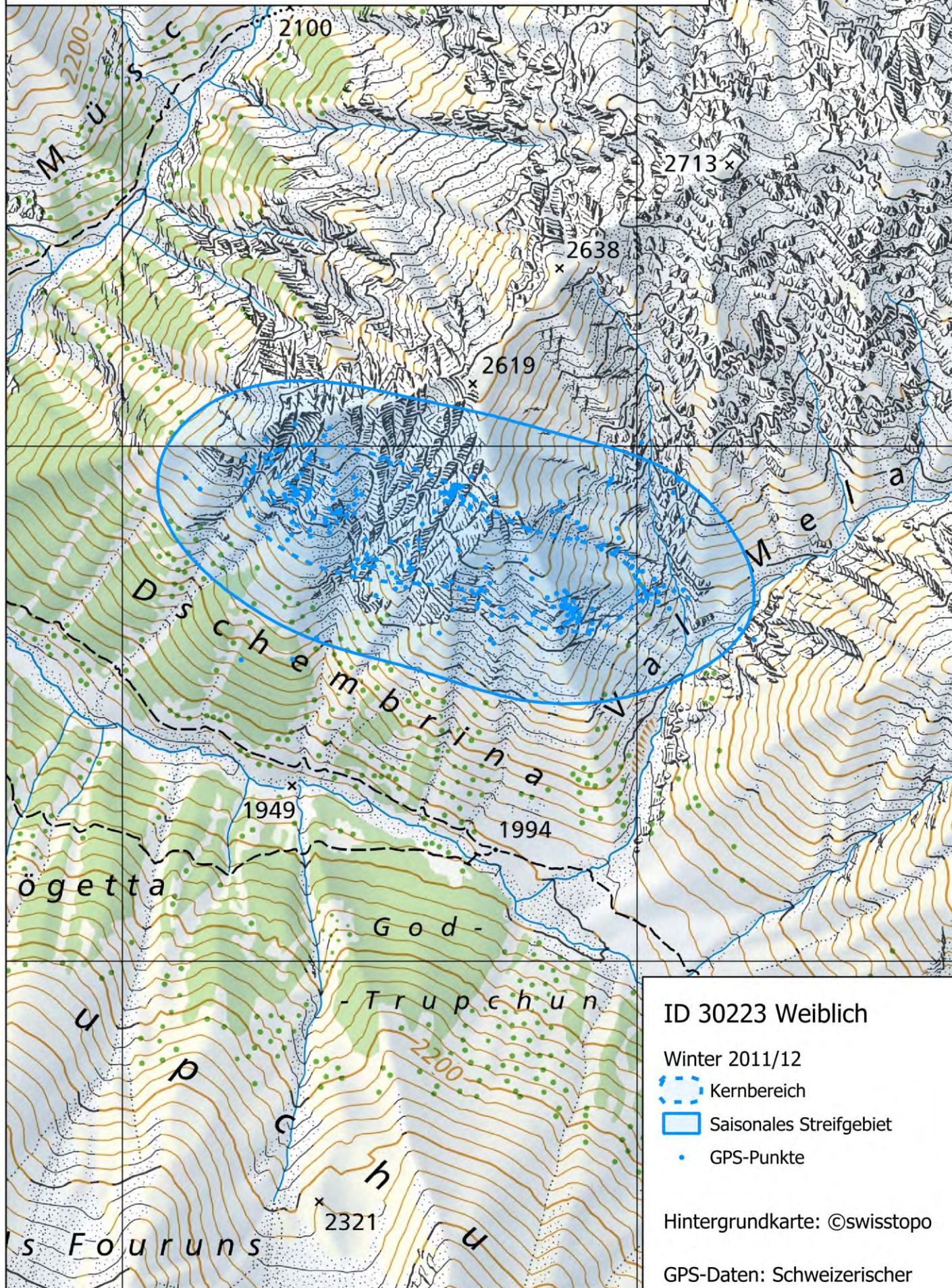
Maßstab 1:35.000

0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 km





# Streifgebiet ID 30223 Winter 2011/12

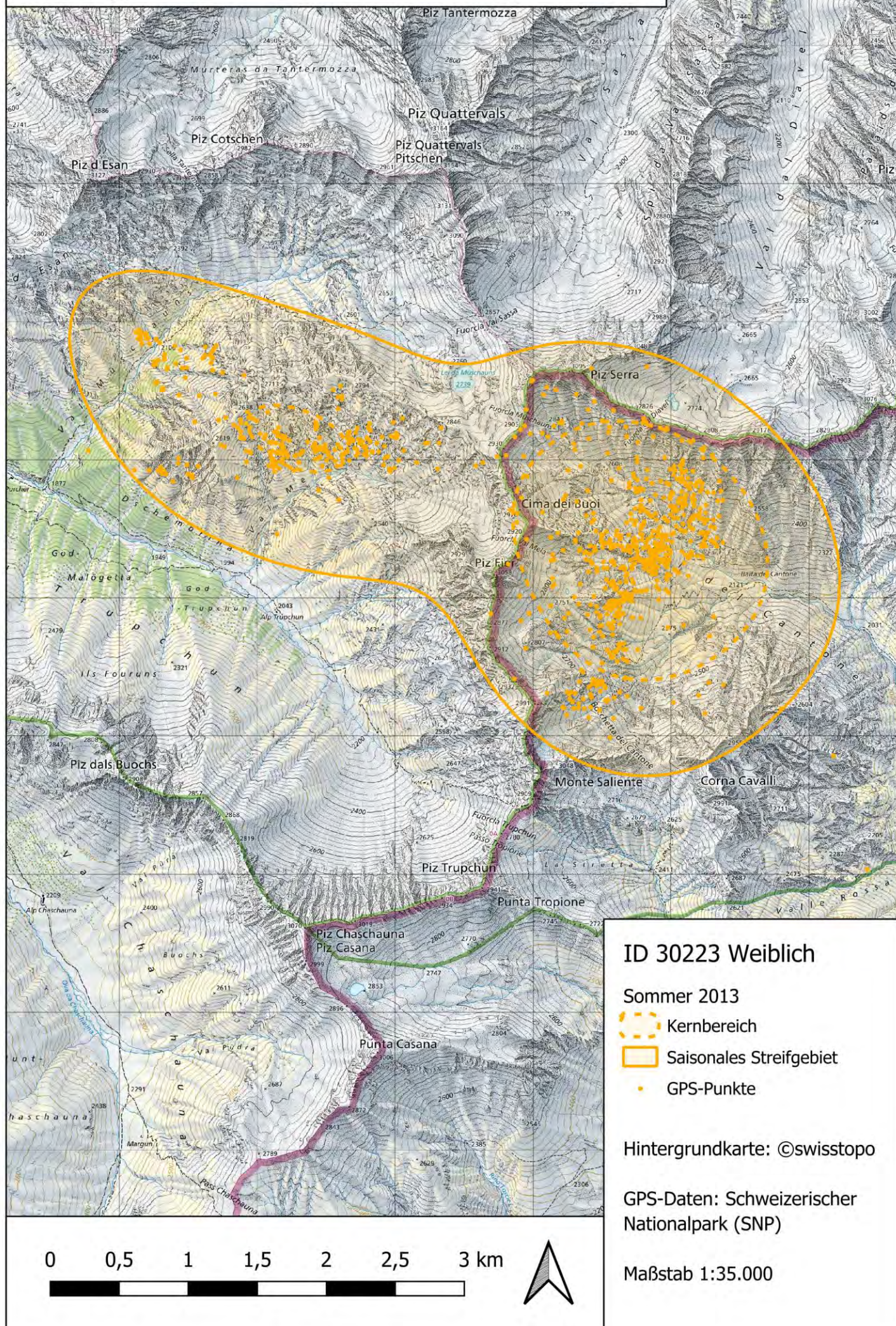


0 0,25 0,5 0,75 km



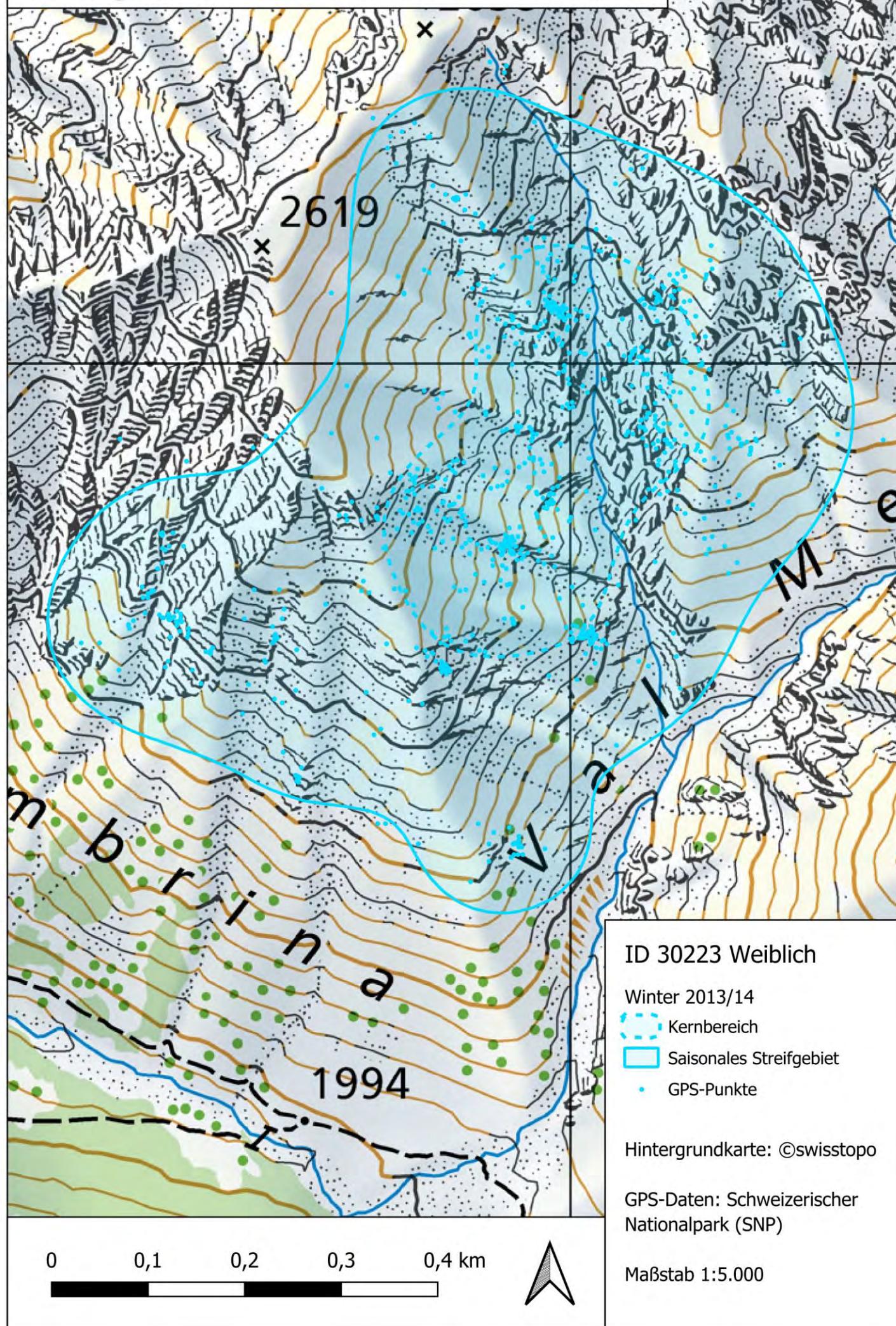


# Streifgebiet ID 30223 Sommer 2013



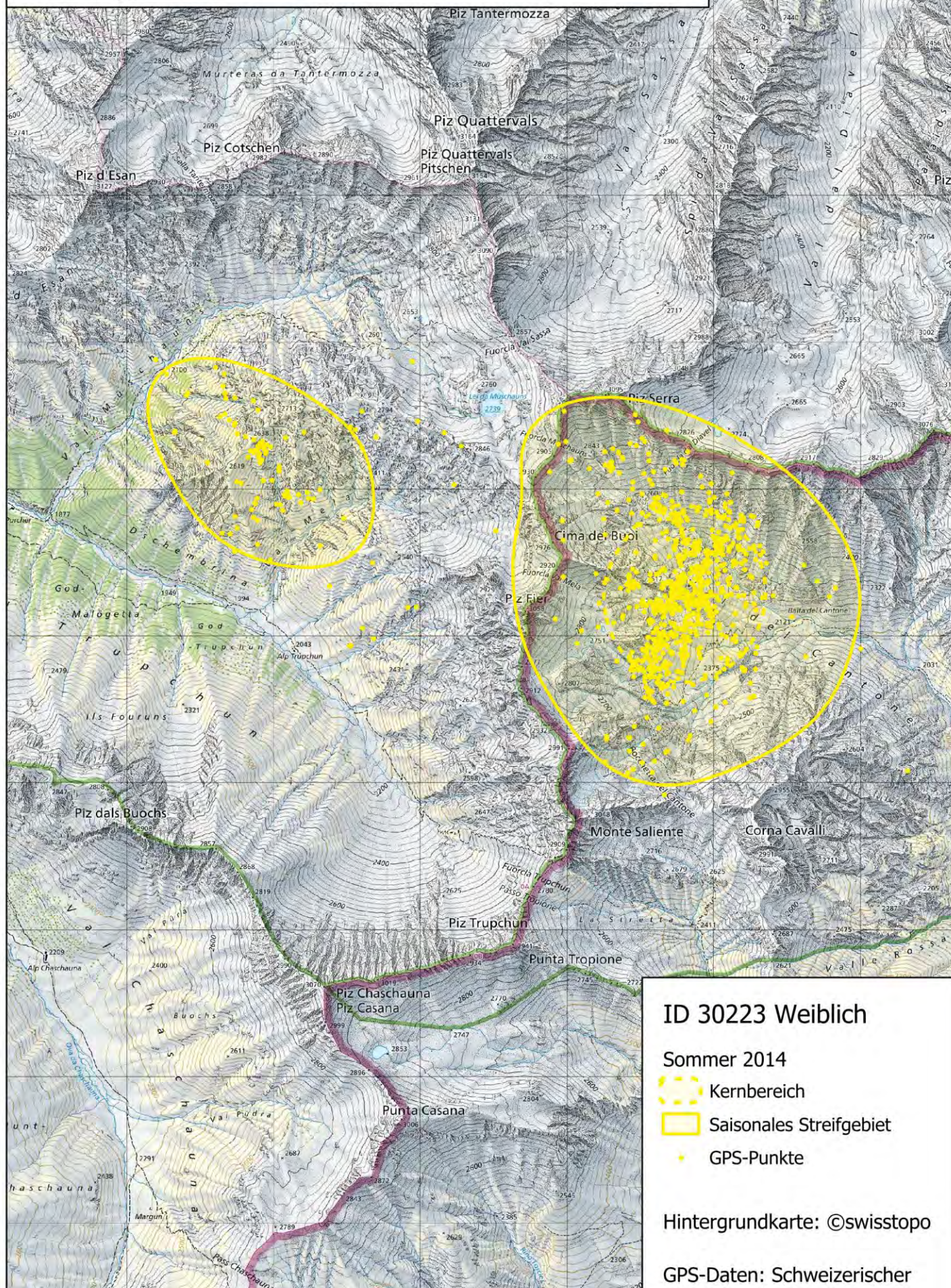


# Streifgebiet ID 30223 Winter 2013/14





# Streifgebiet ID 30223 Sommer 2014



ID 30223 Weiblich

Sommer 2014

 Kernbereich

 Saisonales Streifgebiet

 GPS-Punkte

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer  
Nationalpark (SNP)

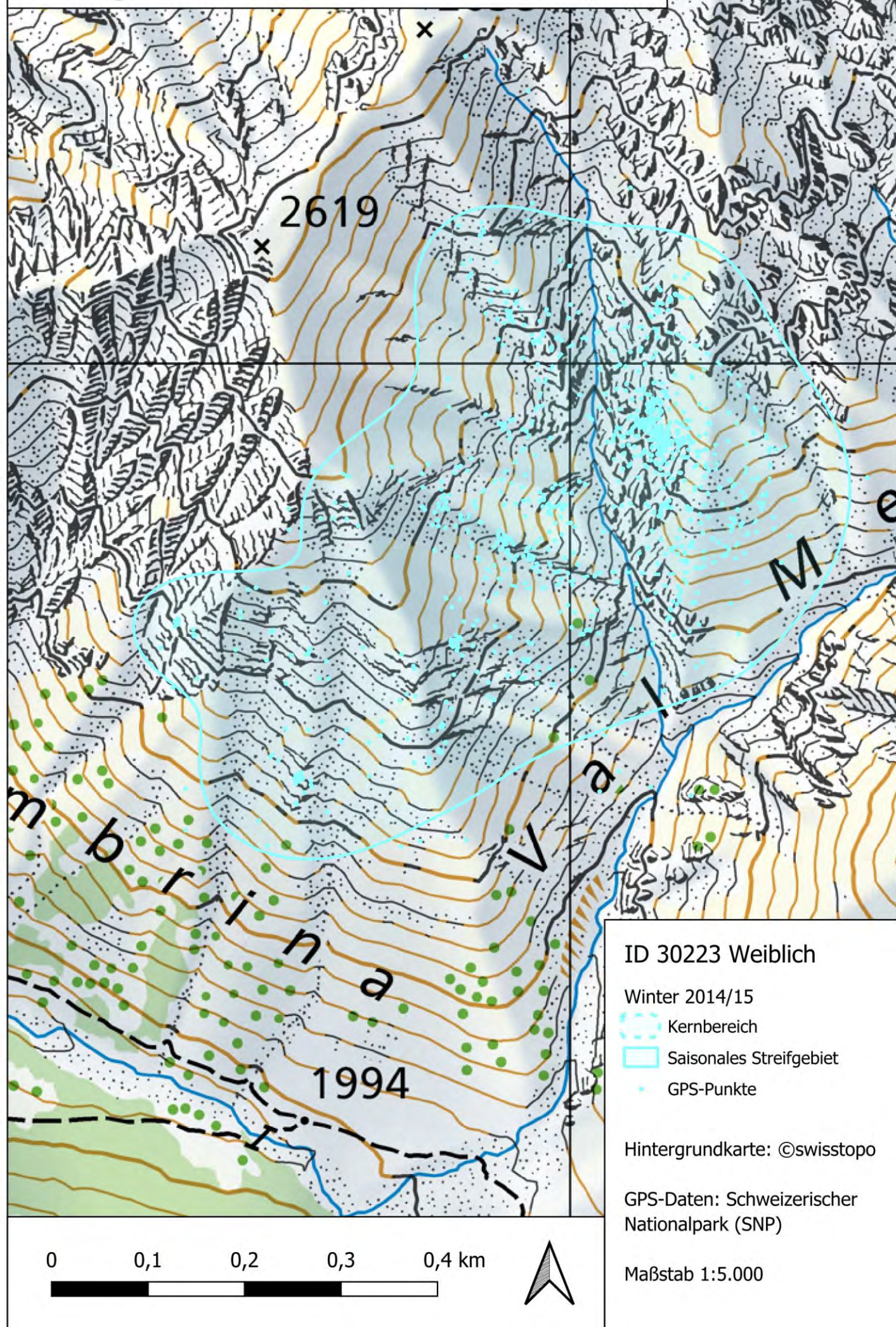
Maßstab 1:35.000

0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 km





# Streifgebiet ID 30223 Winter 2014/15





Streifgebiete ID 30223

Übersichtskarte

0 5 10 15 km

Maßstab 1:350.000

ID 30223 Weiblich

- Sommer 2010

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet
- Winter 2013/14

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet
- Winter 2010/11

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet
- Sommer 2014

Kernbereiche

Saisonales Streifgebiet
- Sommer 2011

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet
- Winter 2011/12

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet
- Sommer 2013

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet
- Winter 2014/15

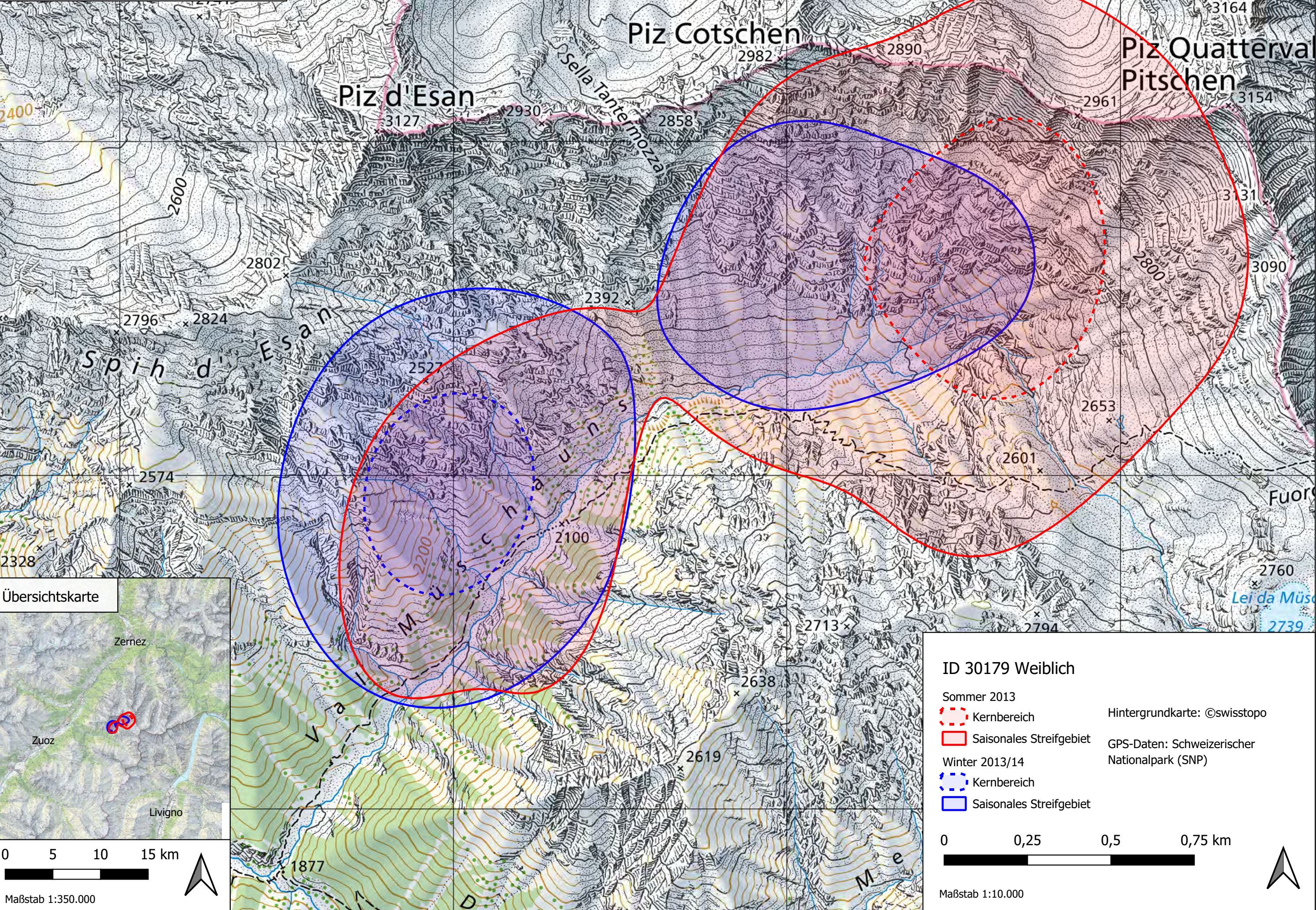
Kernbereich

Saisonales Streifgebiet
- Hintergrundkarte: ©swisstopo
- GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

0 0,5 1 1,5 2 km

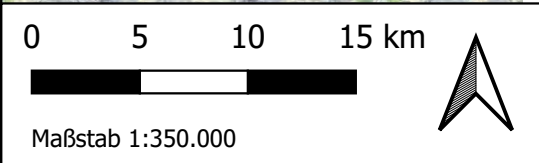
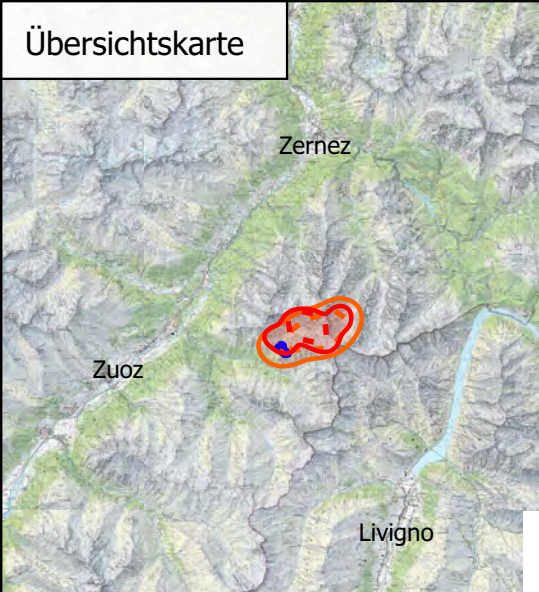
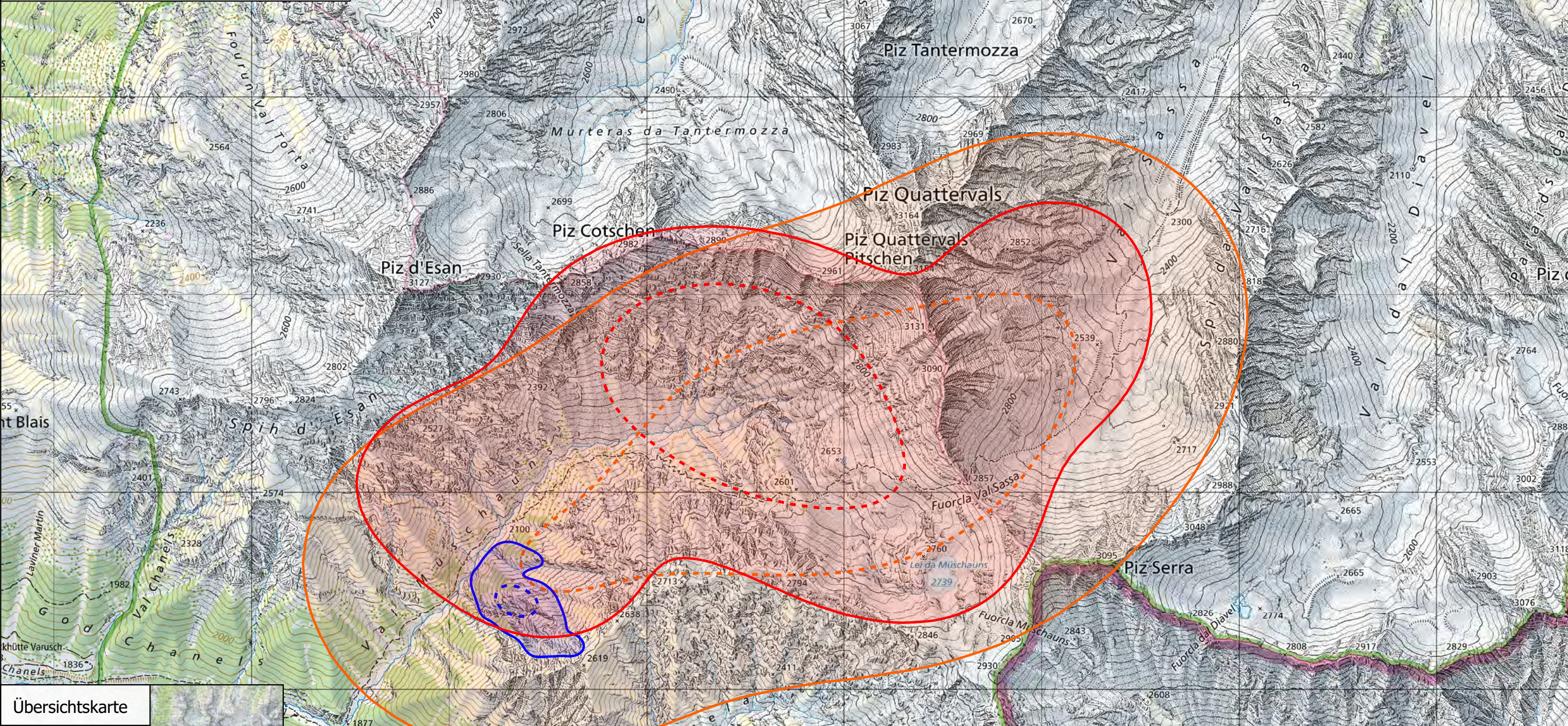
Maßstab 1:25.000







Streifgebiete ID 30194



ID 30194 Weiblich

- |                         |                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Sommer 2007             | Sommer 2008                                   |
| Kernbereich             | Kernbereich                                   |
| Saisonales Streifgebiet | Saisonales Streifgebiete                      |
| Winter 2007/08          | Hintergrundkarte: ©swisstopo                  |
| Kernbereich             | GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP) |
| Saisonales Streifgebiet |                                               |

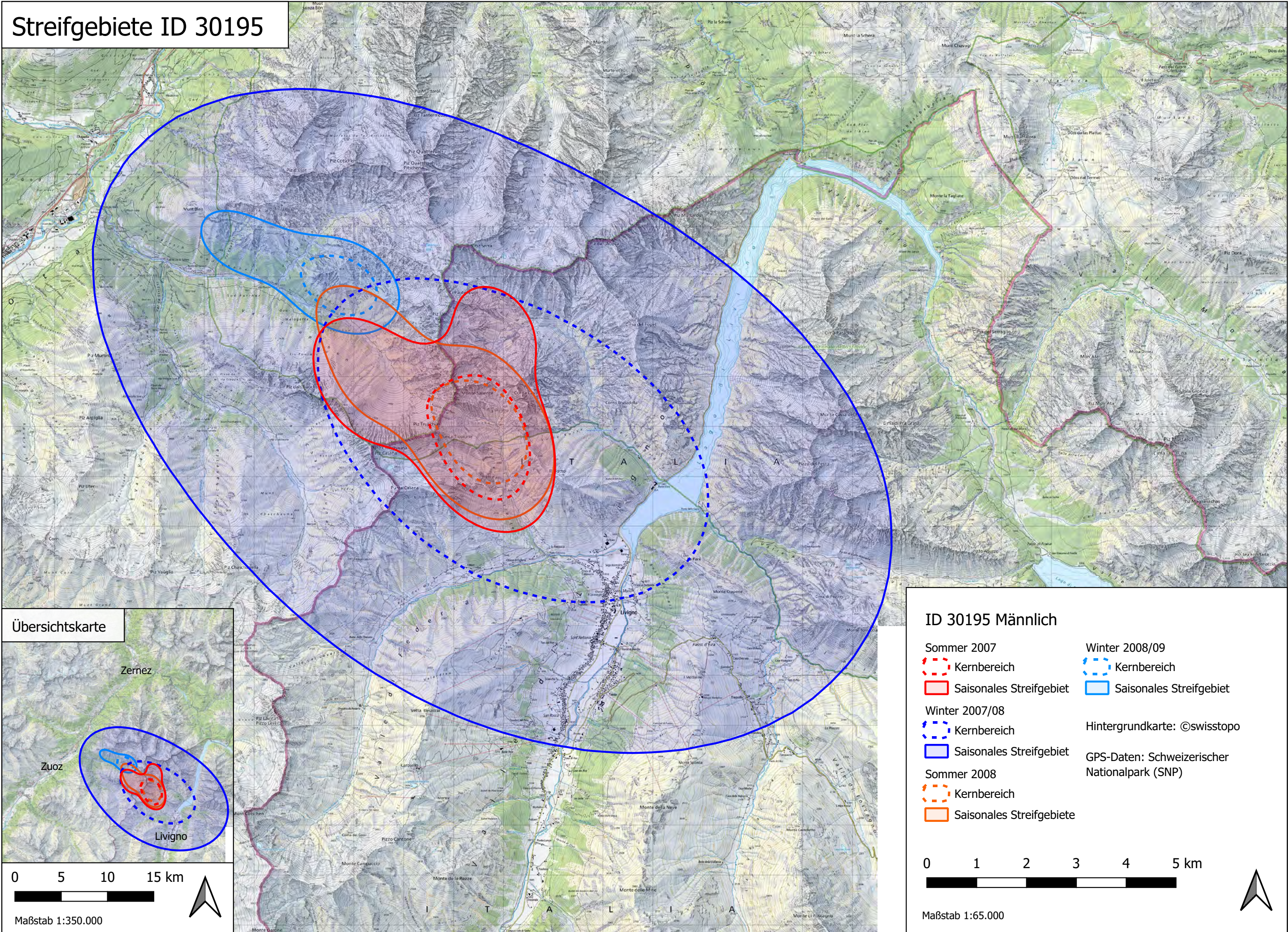


Maßstab 1:20.000





# Streifgebiete ID 30195



Übersichtskarte

Zernez

Zuoz

Livigno

## ID 30195 Männlich

Sommer 2007

--- Kernbereich

--- Saisonales Streifgebiet

Winter 2007/08

--- Kernbereich

--- Saisonales Streifgebiet

Sommer 2008

--- Kernbereich

--- Saisonales Streifgebiete

Winter 2008/09

--- Kernbereich

--- Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

0 1 2 3 4 5 km

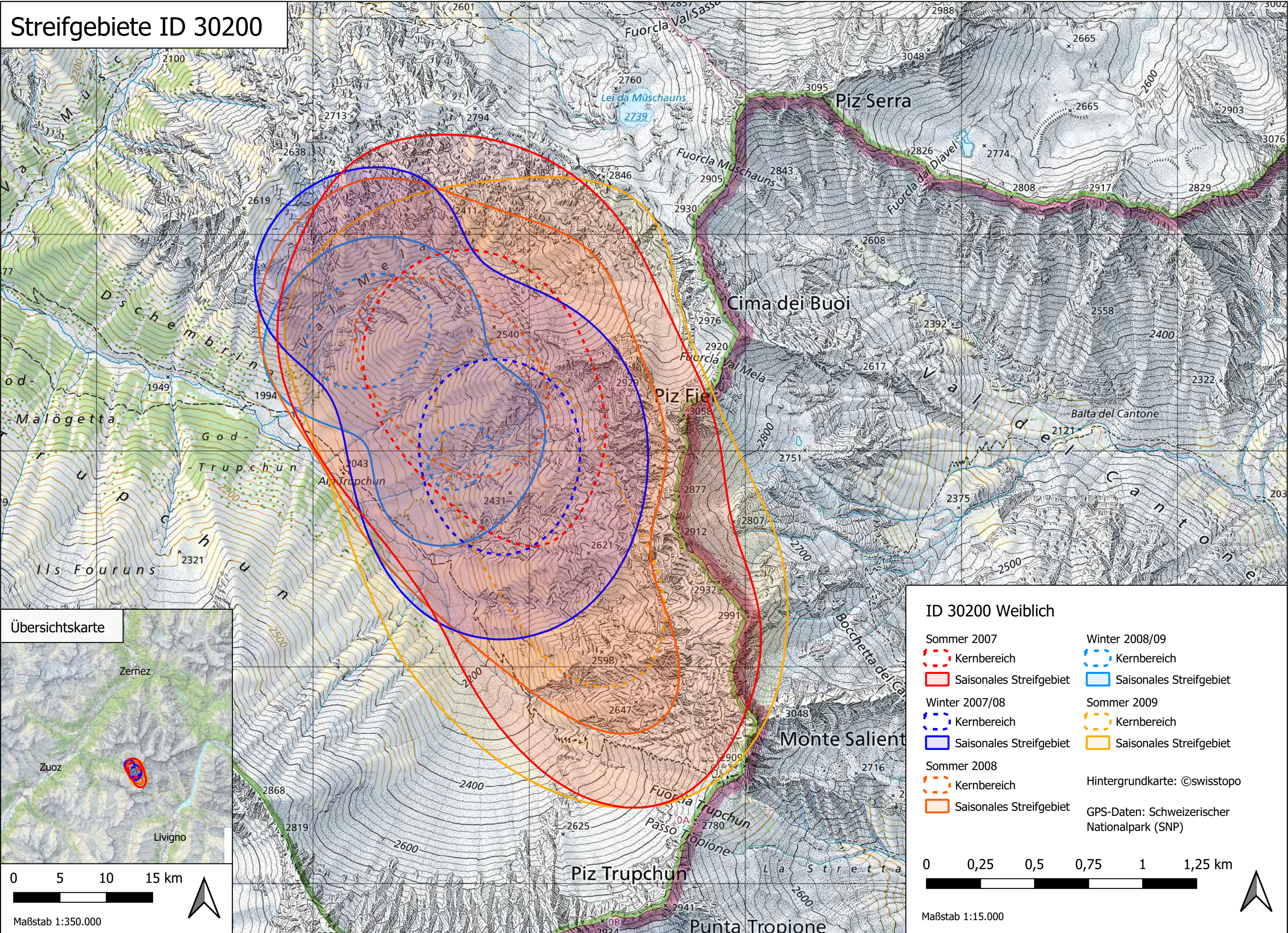
Maßstab 1:65.000

0 5 10 15 km

Maßstab 1:350.000

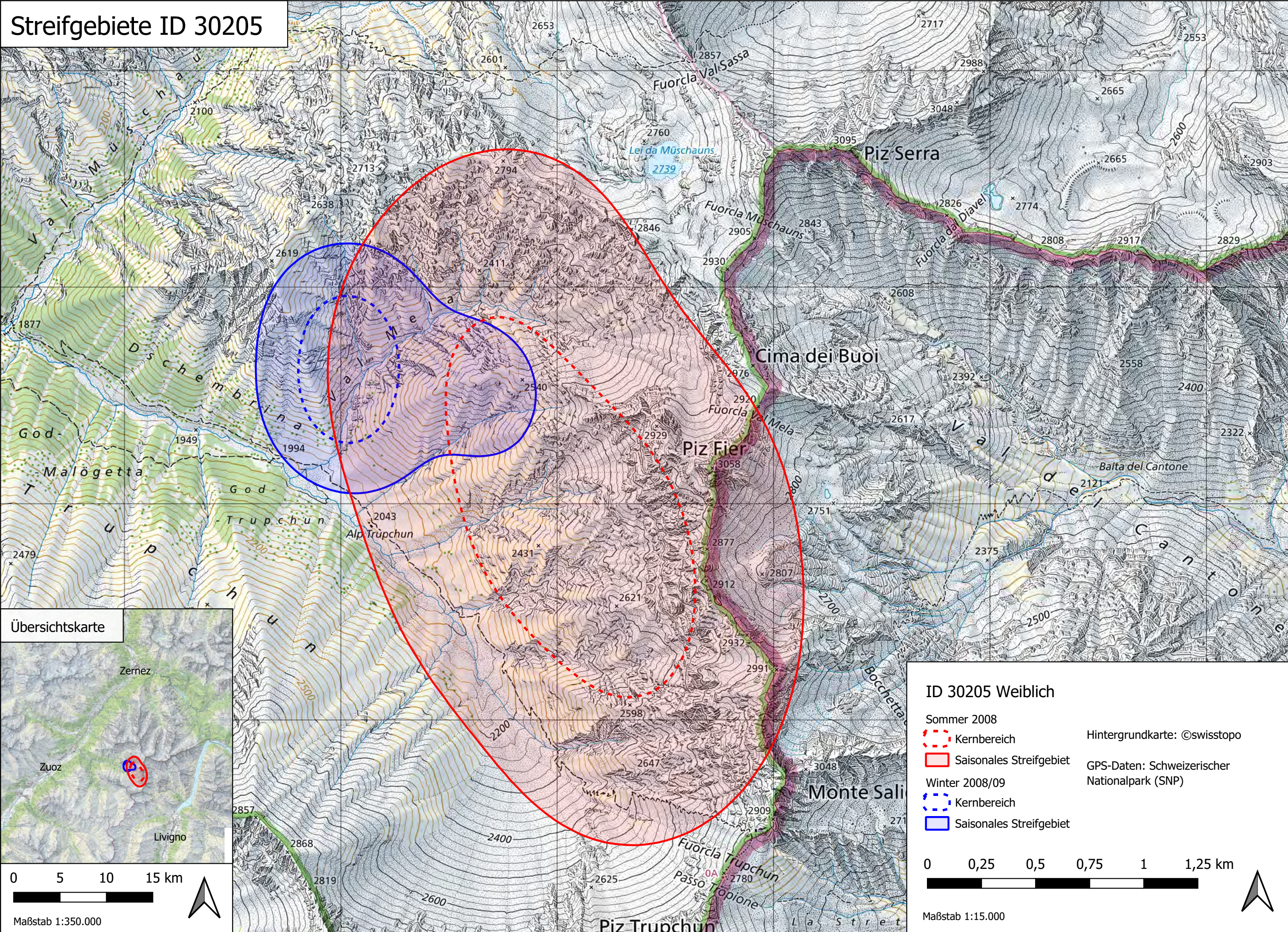


Streifgebiete ID 30200



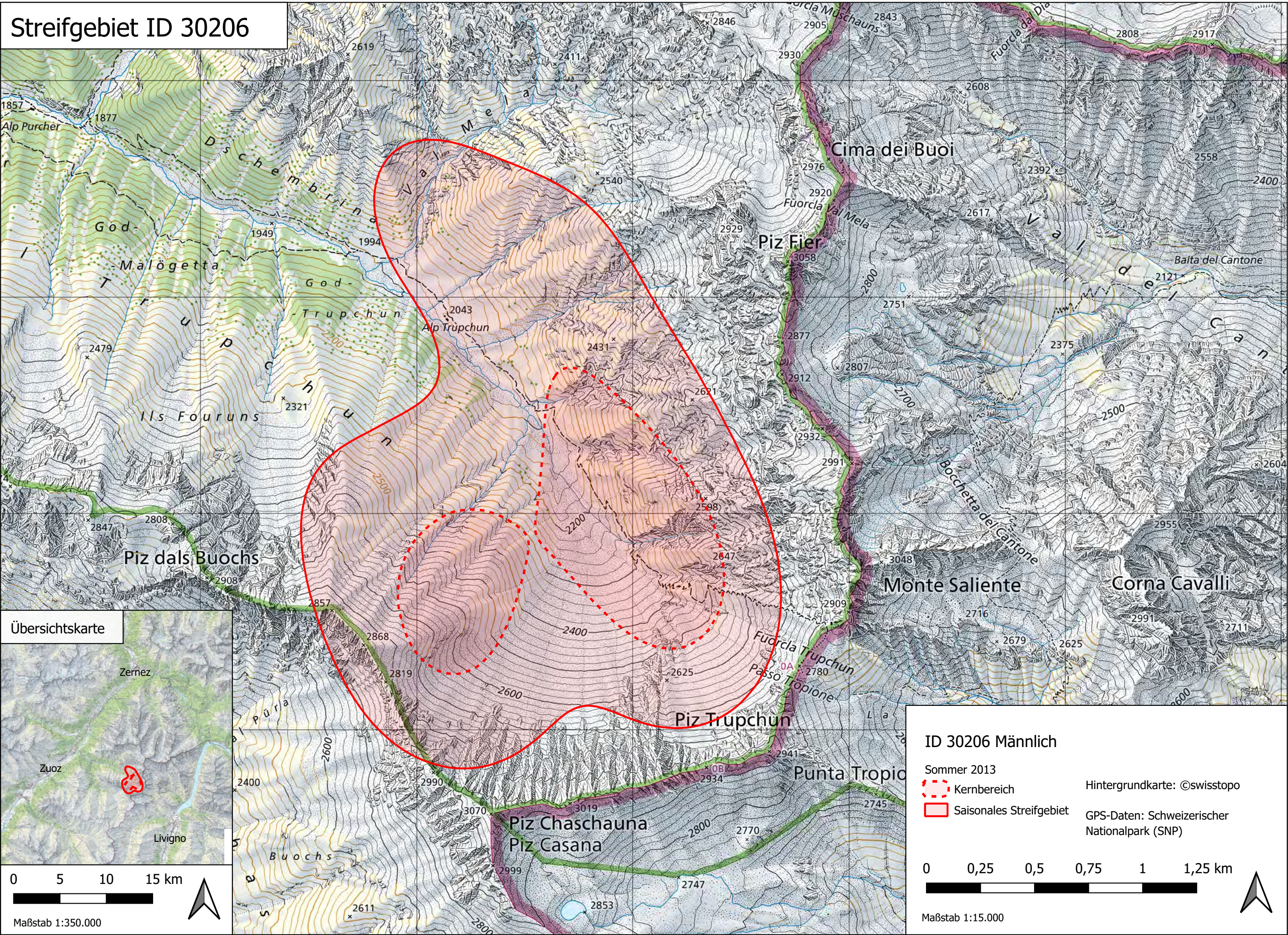


Streifgebiete ID 30205





Streifgebiet ID 30206



ID 30206 Männlich

Sommer 2013

■ Kernbereich

■ Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

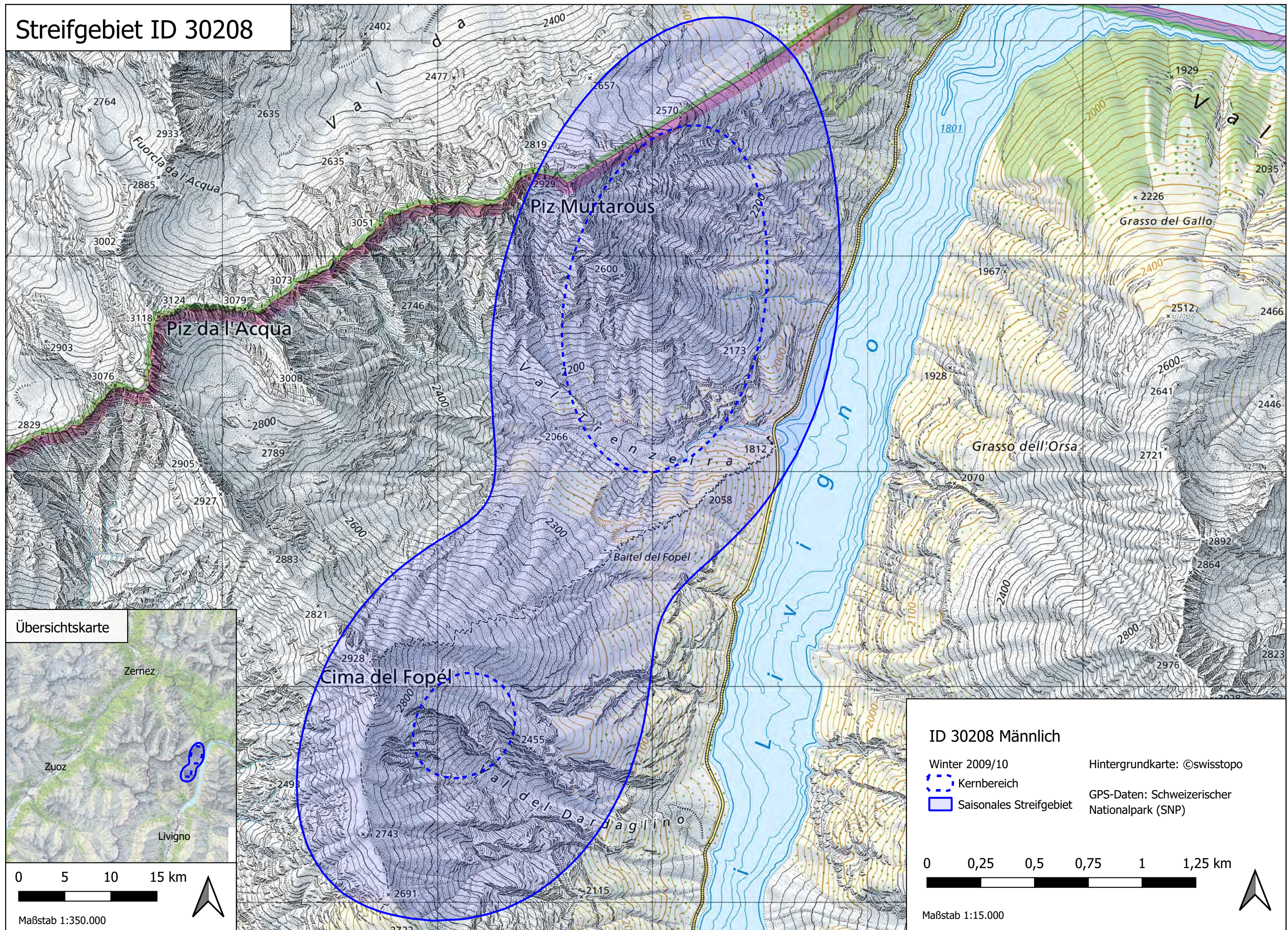
GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

0 0,25 0,5 0,75 1 1,25 km

Maßstab 1:15.000

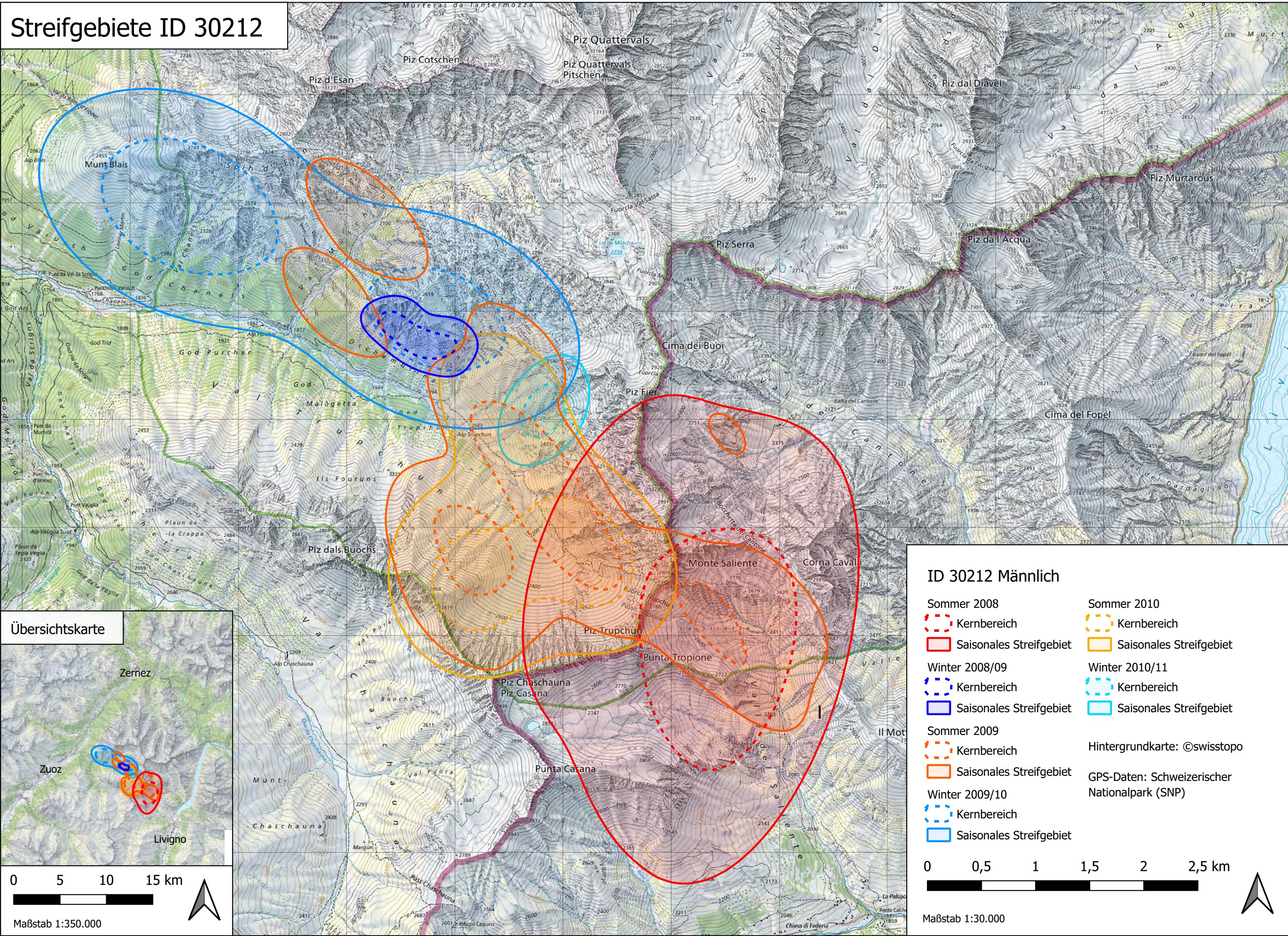


# Streifgebiet ID 30208





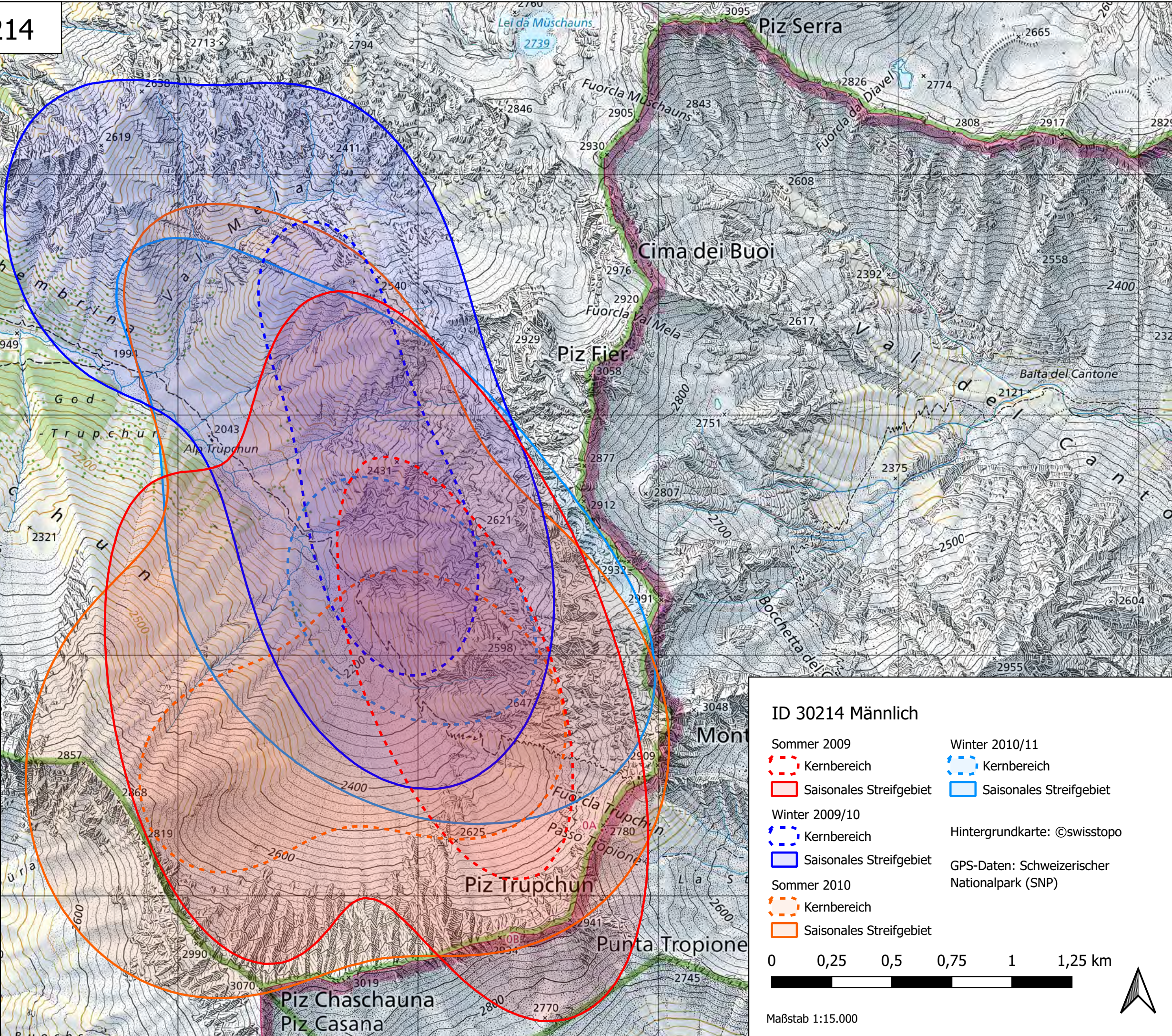
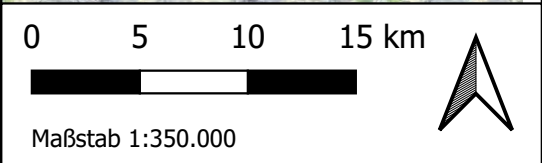
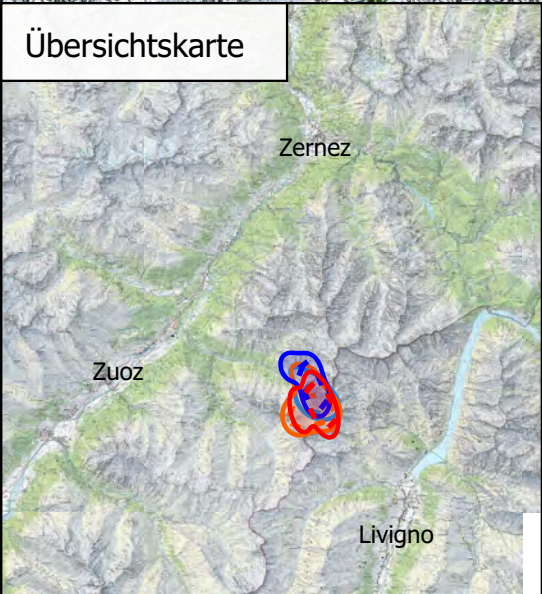
# Streifgebiete ID 30212





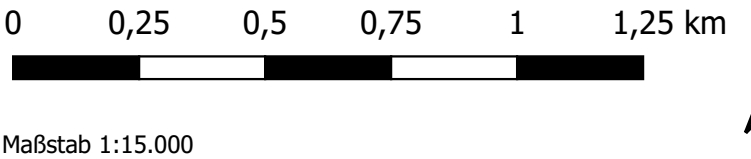
Streifgebiete ID 30214

Übersichtskarte



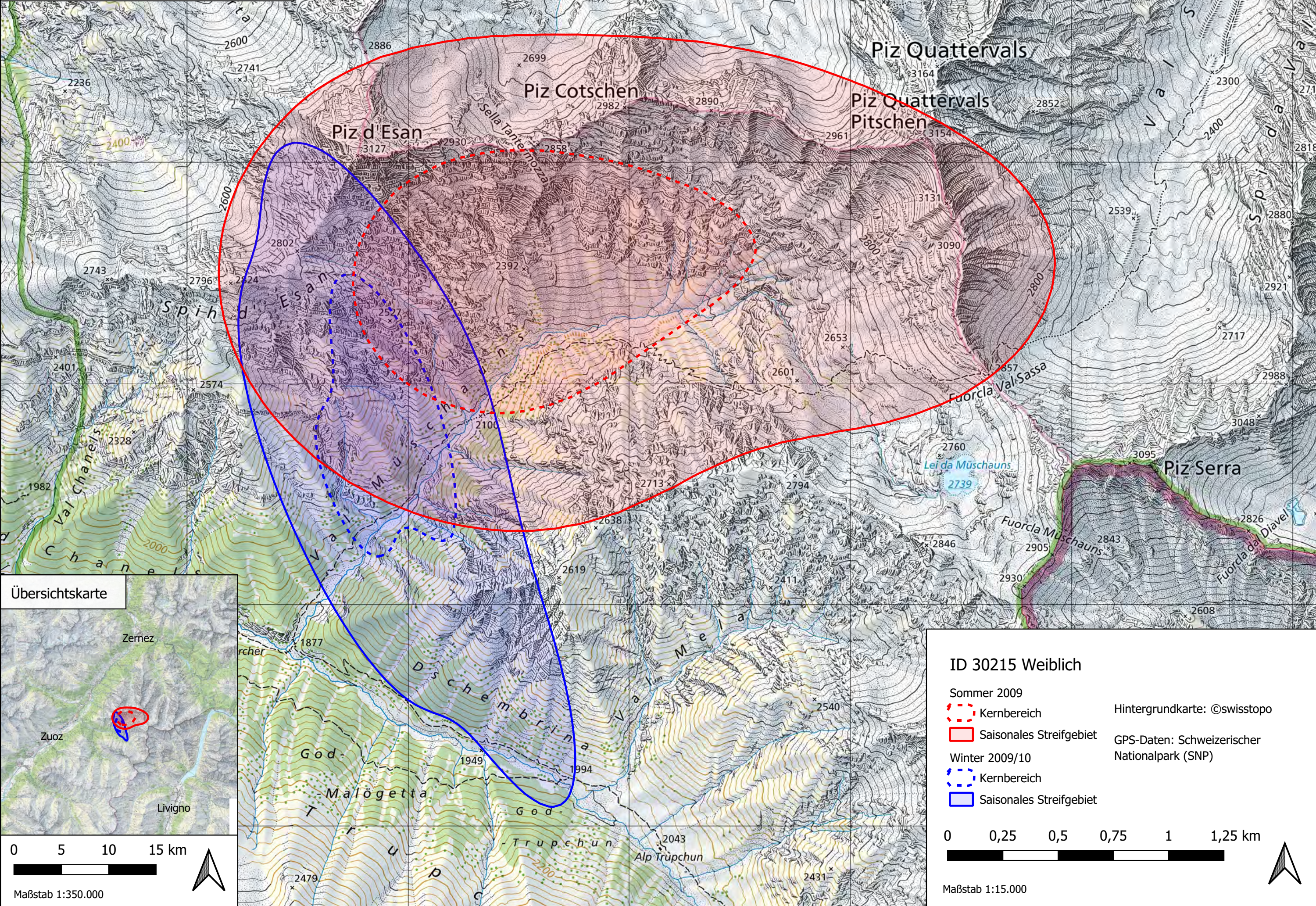
ID 30214 Männlich

- |                         |                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Sommer 2009             | Winter 2010/11                                |
| Kernbereich             | Kernbereich                                   |
| Saisonales Streifgebiet | Saisonales Streifgebiet                       |
| Winter 2009/10          | Hintergrundkarte: ©swisstopo                  |
| Kernbereich             | GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP) |
| Saisonales Streifgebiet |                                               |
| Sommer 2010             |                                               |
| Kernbereich             |                                               |
| Saisonales Streifgebiet |                                               |



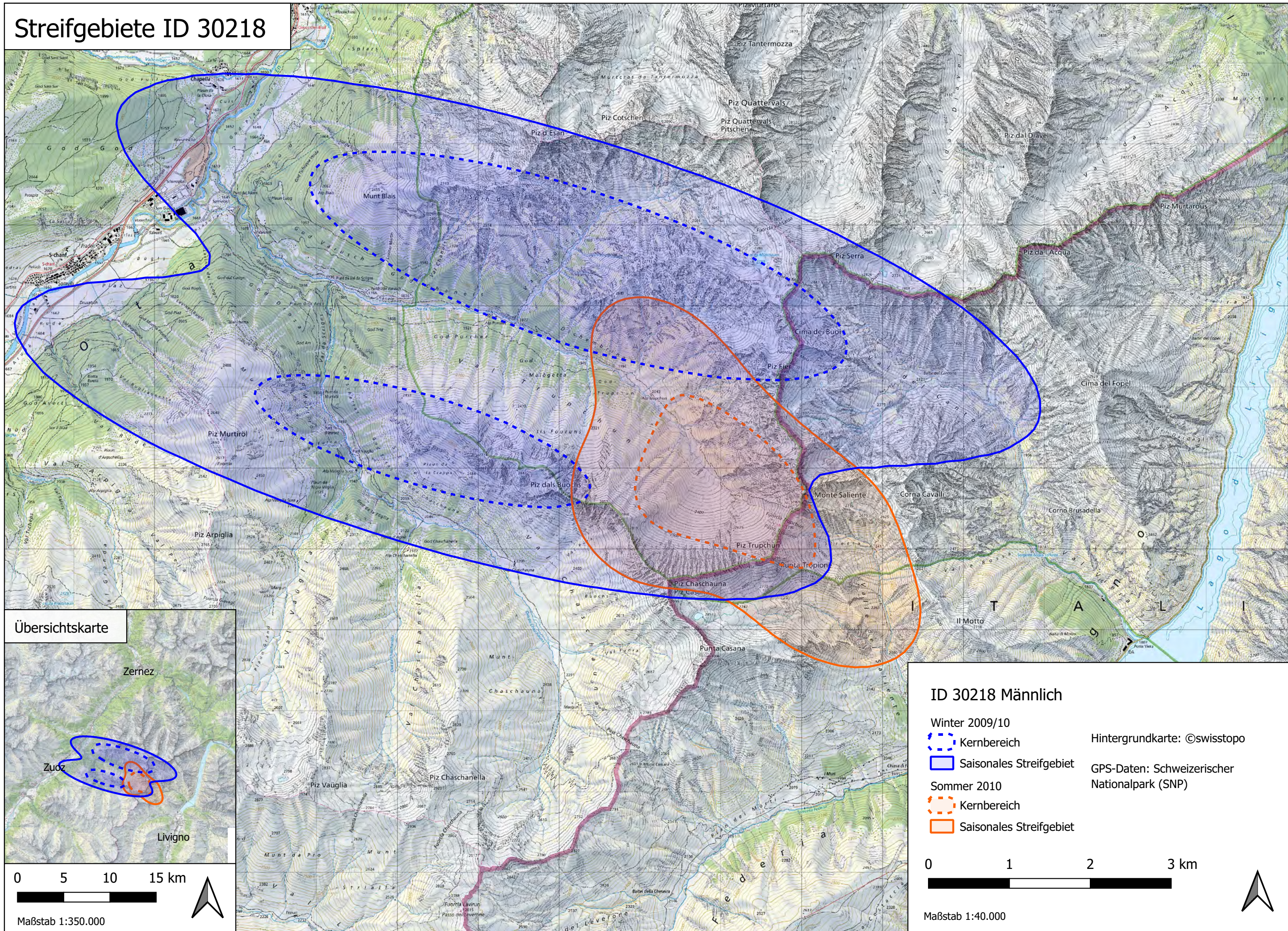


Streifgebiete ID 30215



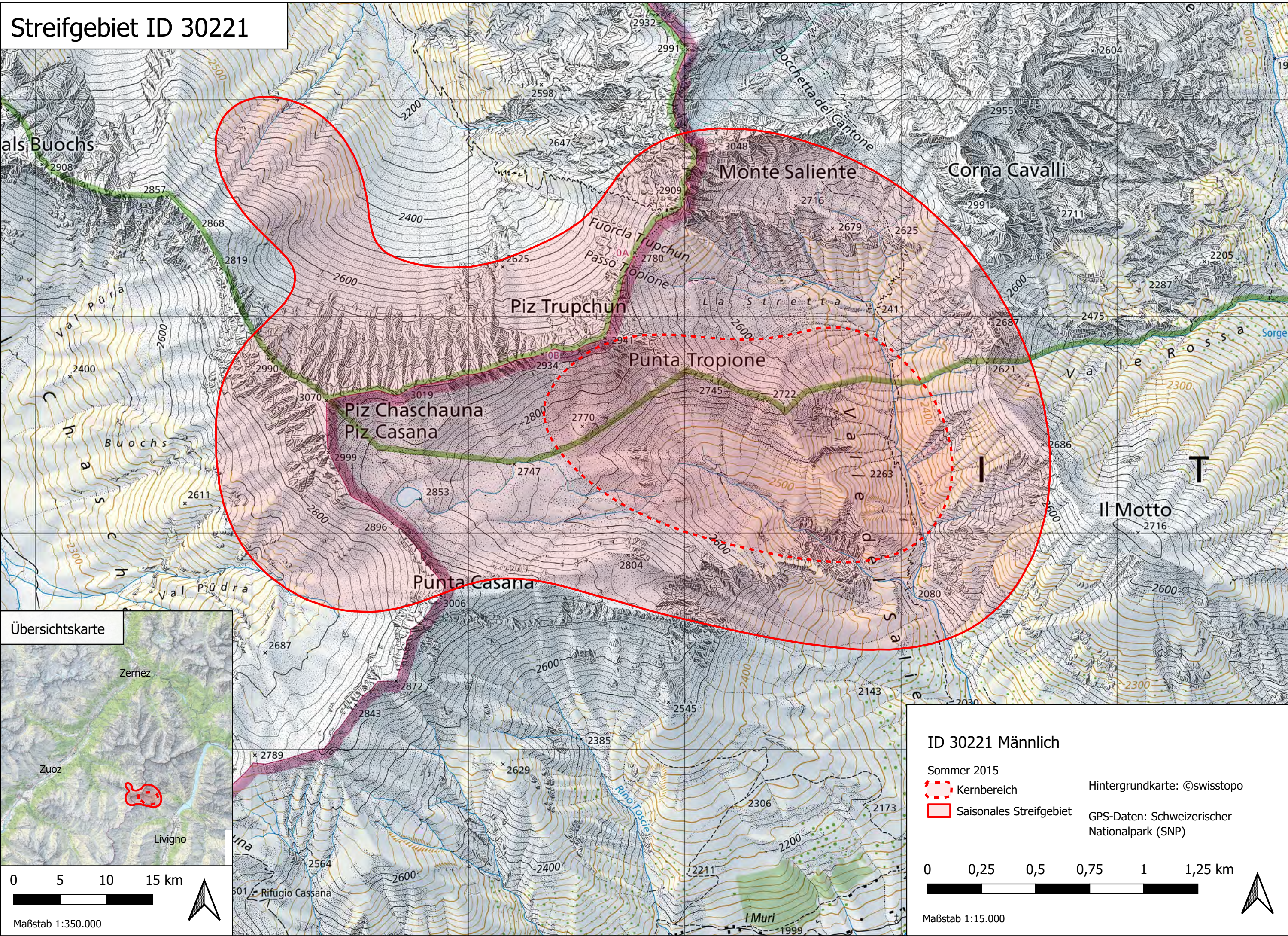


## Streifgebiete ID 30218



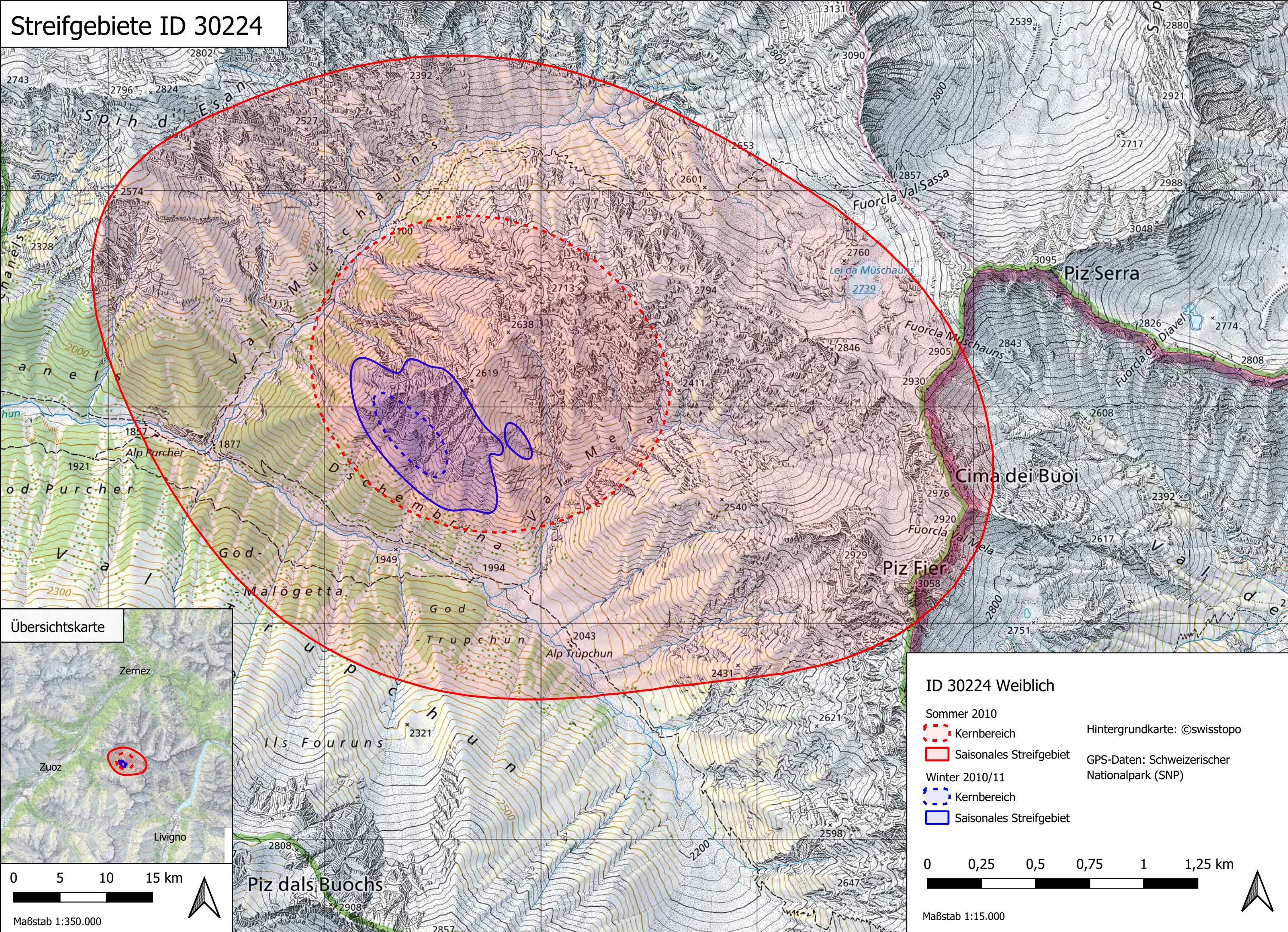


Streifgebiet ID 30221



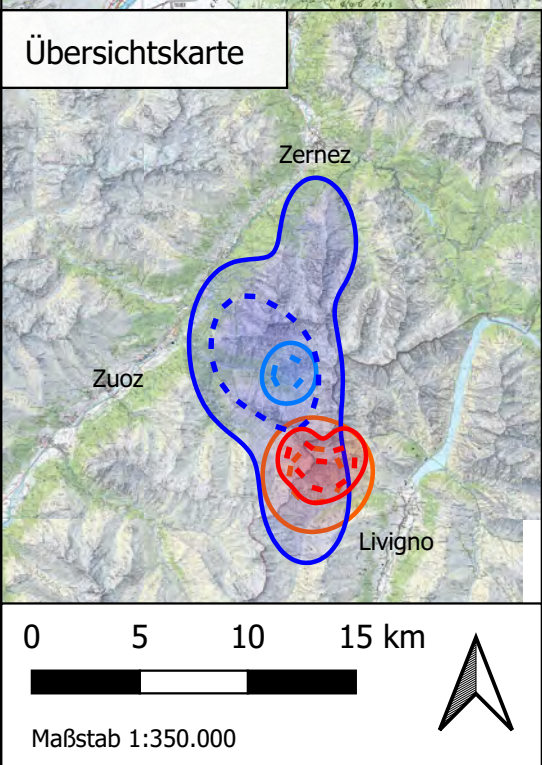
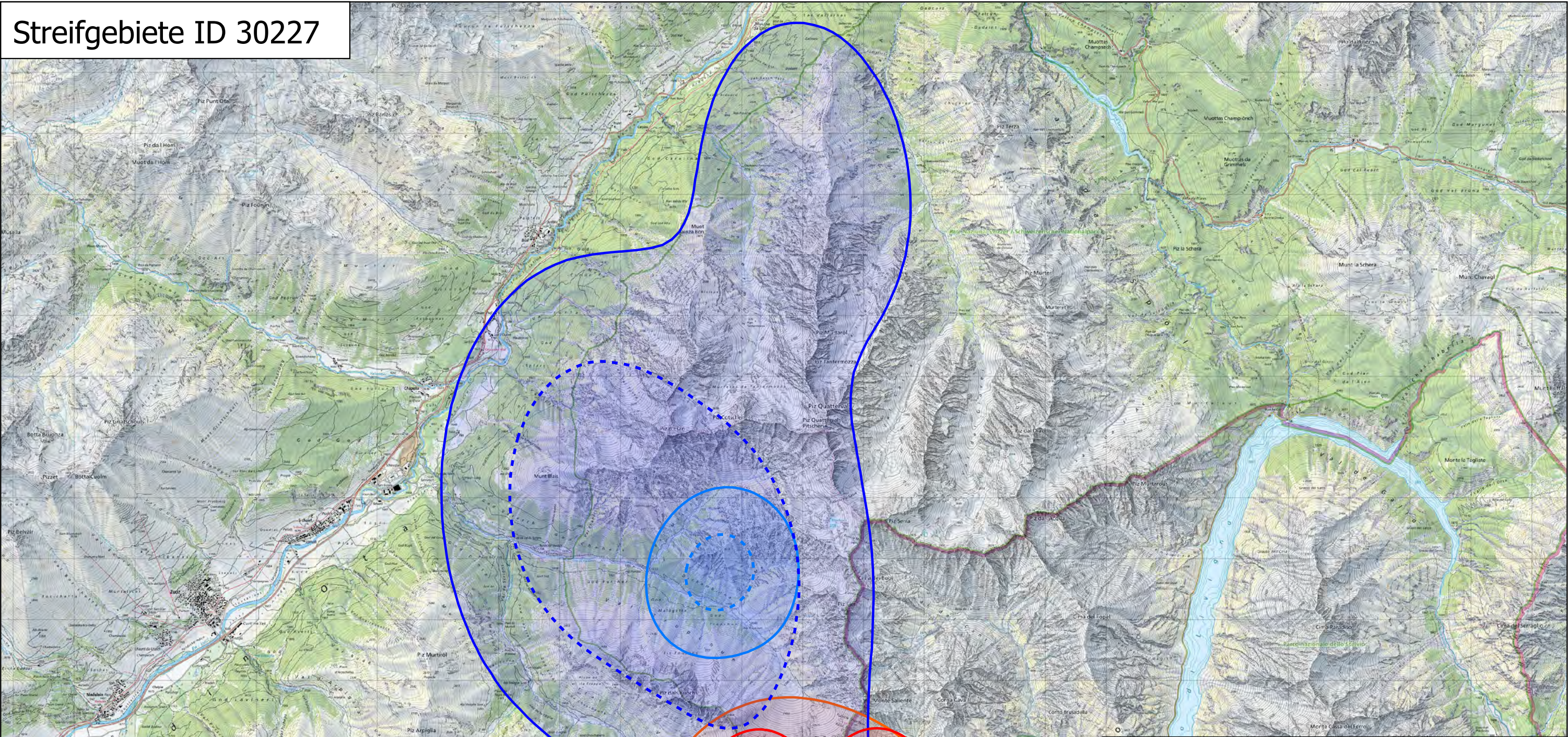


Streifgebiete ID 30224



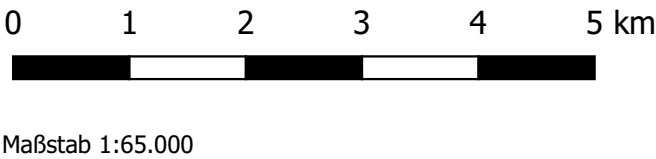


Streifgebiete ID 30227



ID 30227 Männlich

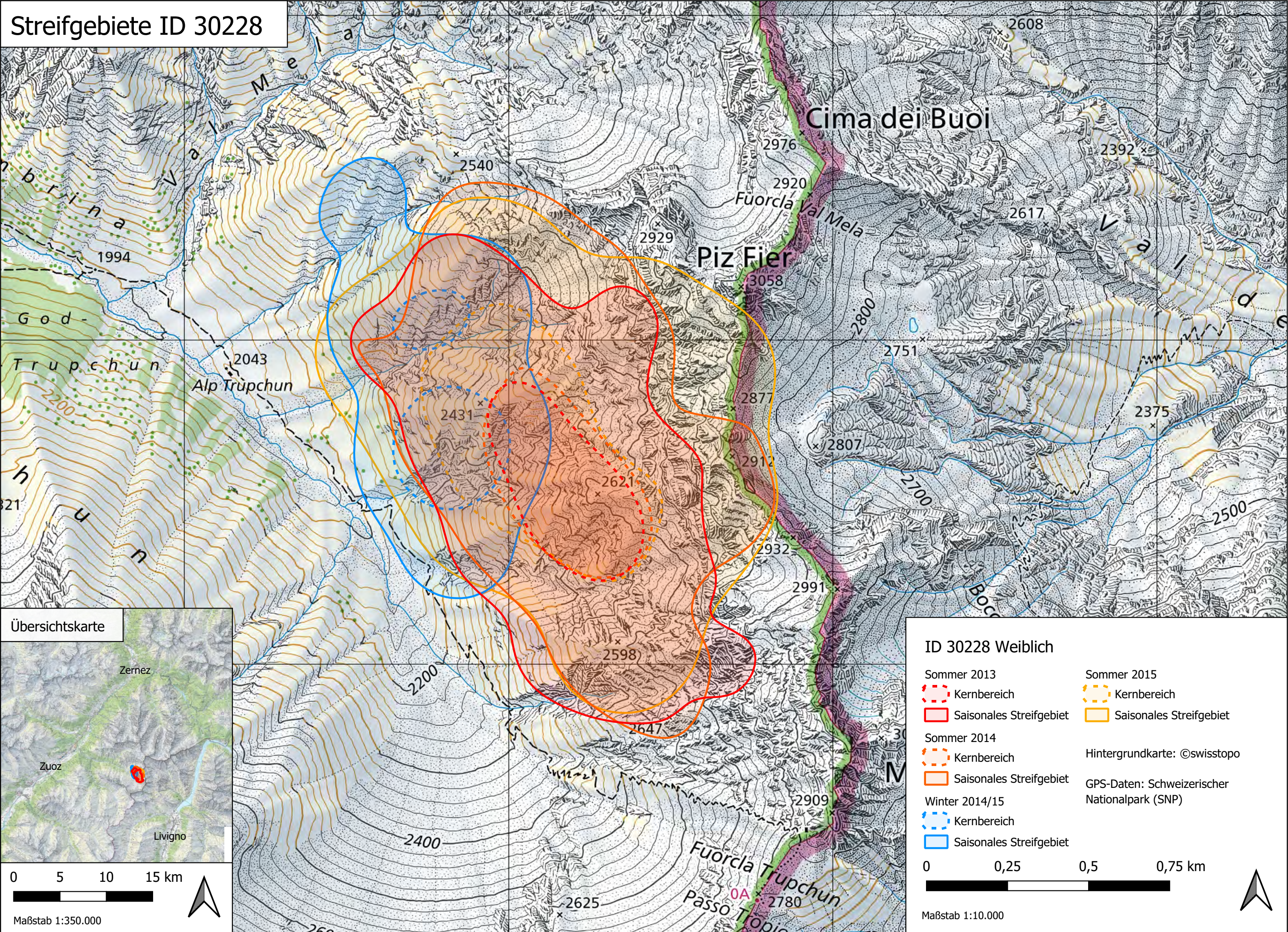
- |                         |                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Sommer 2011             | Winter 2012/13                                |
| Kernbereich             | Kernbereich                                   |
| Saisonales Streifgebiet | Saisonales Streifgebiet                       |
| Winter 2011/12          | Hintergrundkarte: ©swisstopo                  |
| Kernbereich             | GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP) |
| Saisonales Streifgebiet |                                               |
| Sommer 2012             |                                               |
| Kernbereich             |                                               |
| Saisonales Streifgebiet |                                               |



Maßstab 1:65.000

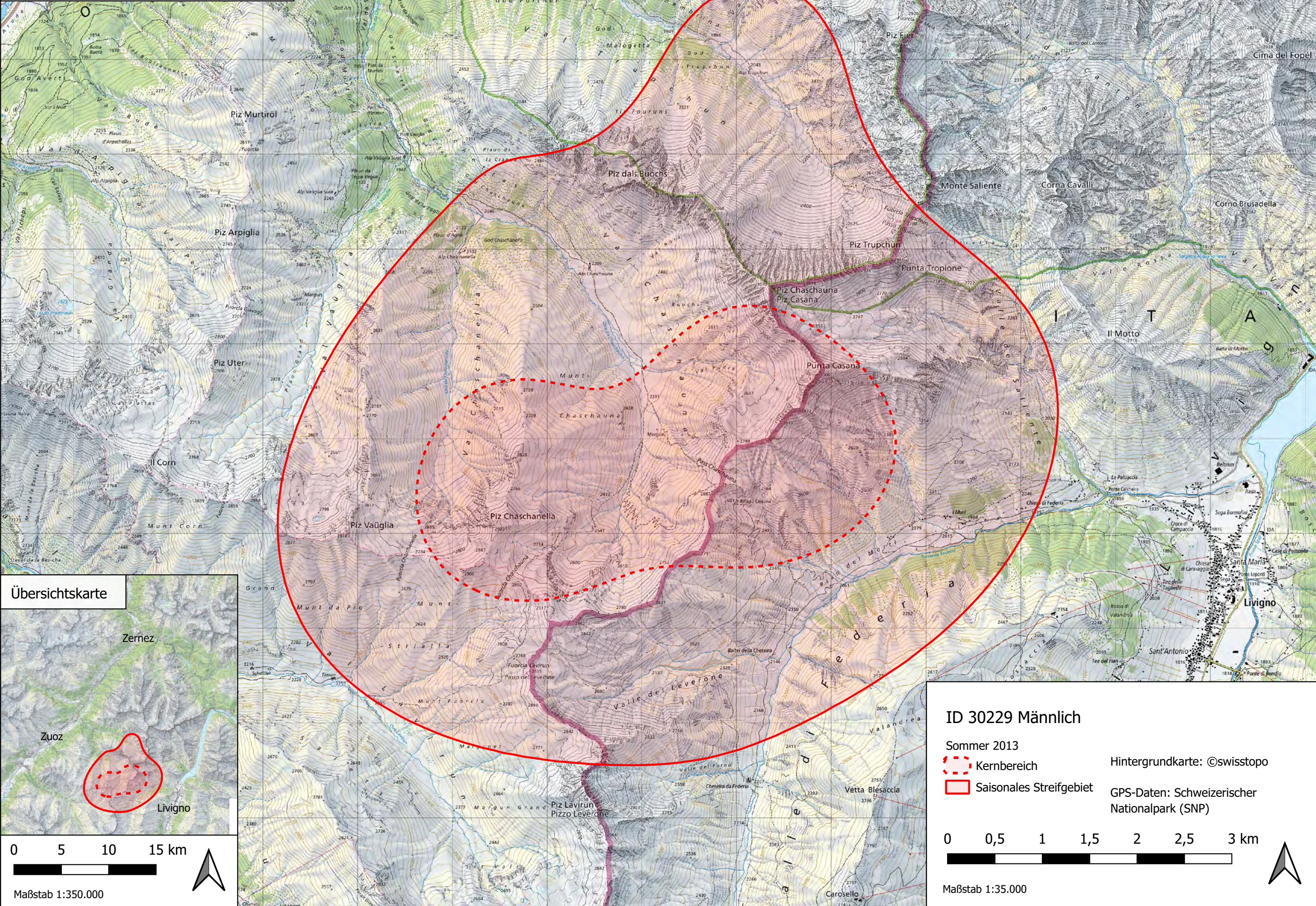


Streifgebiete ID 30228



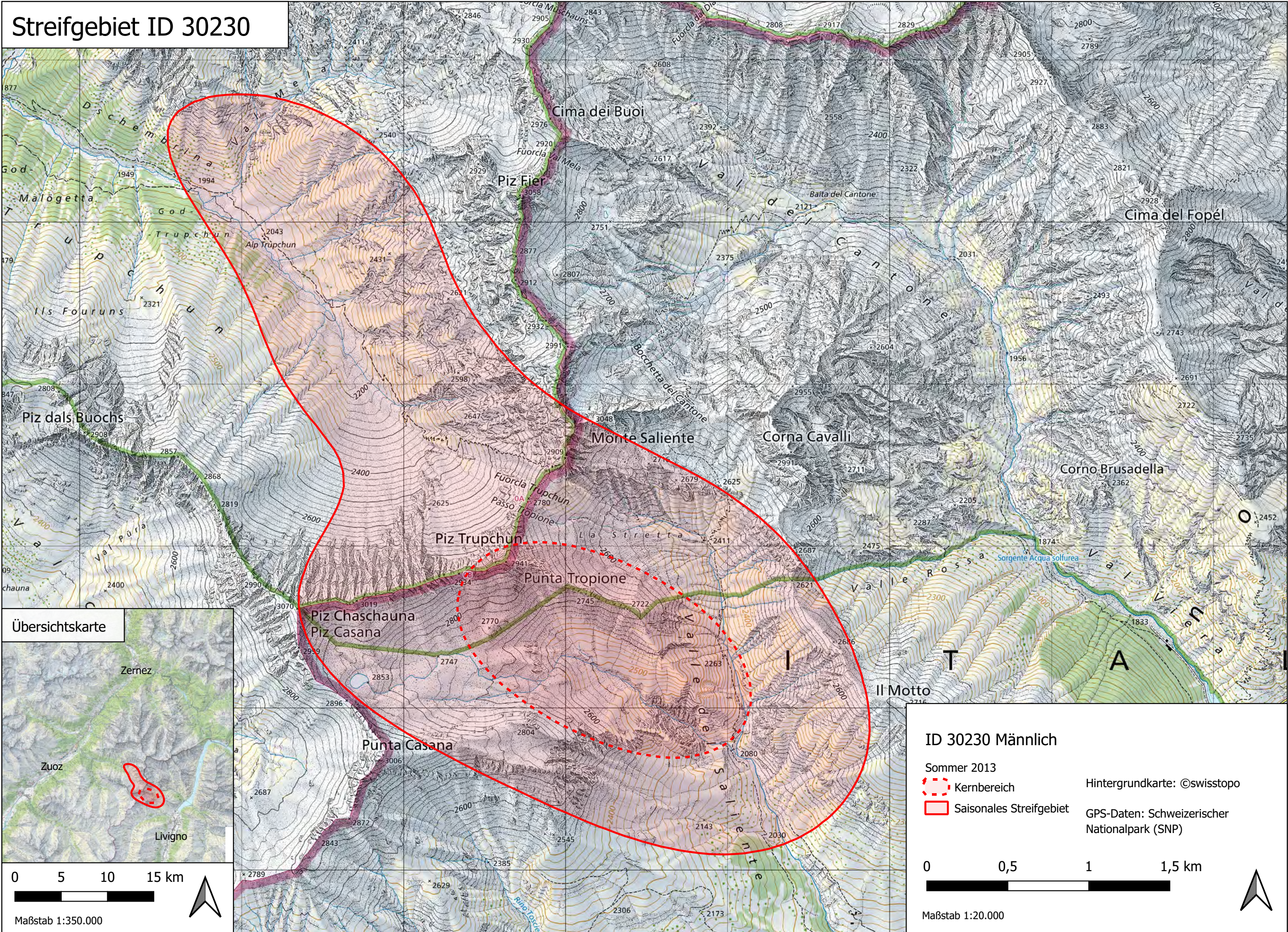


Streifgebiet ID 30229





Streifgebiet ID 30230



Übersichtskarte

ID 30230 Männlich

Sommer 2013

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

0 0,5 1 1,5 km

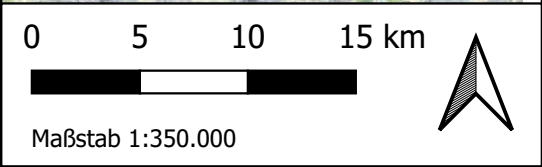
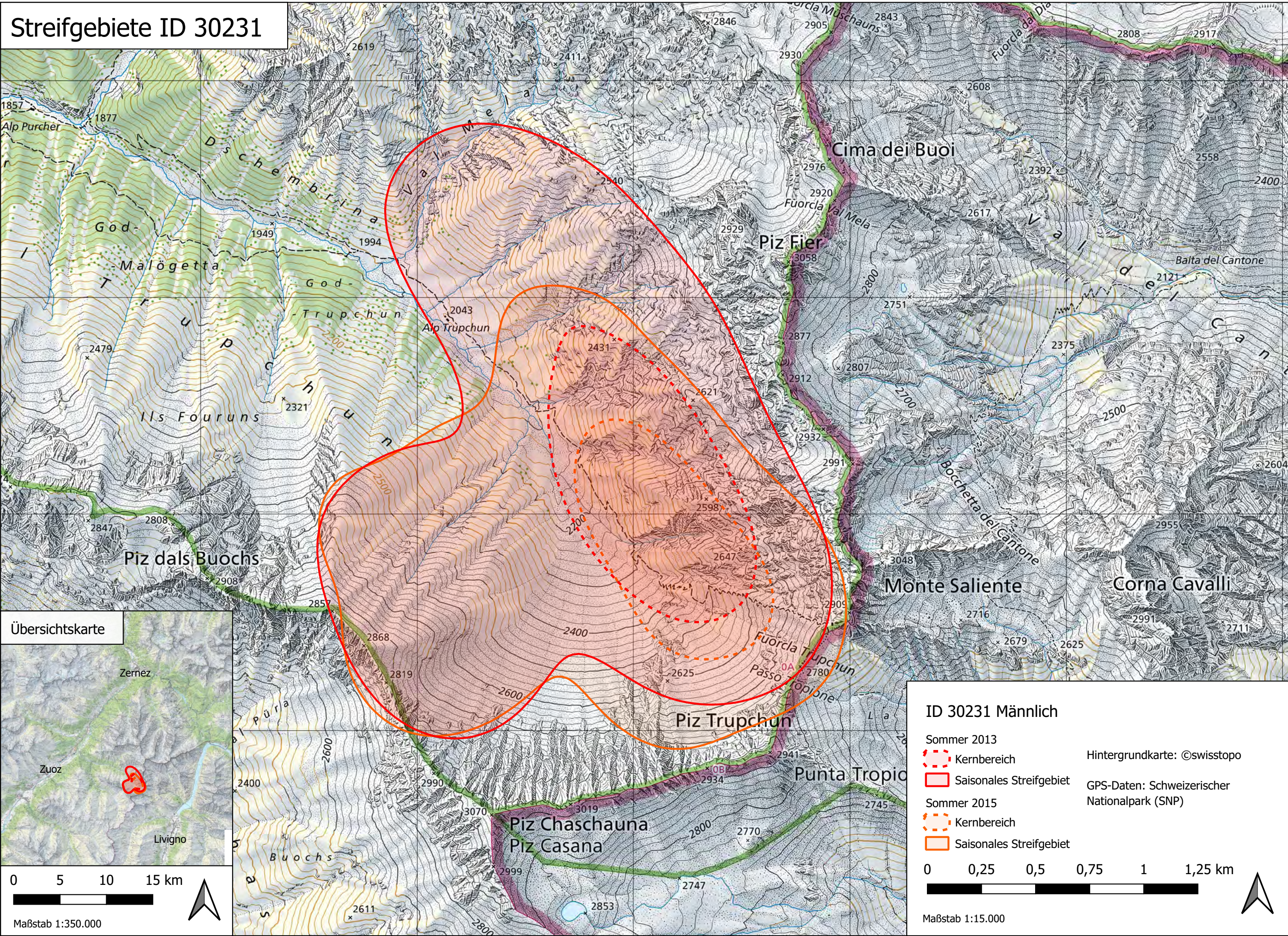
Maßstab 1:20.000

0 5 10 15 km

Maßstab 1:350.000



Streifgebiete ID 30231



ID 30231 Männlich

Sommer 2013

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Sommer 2015

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

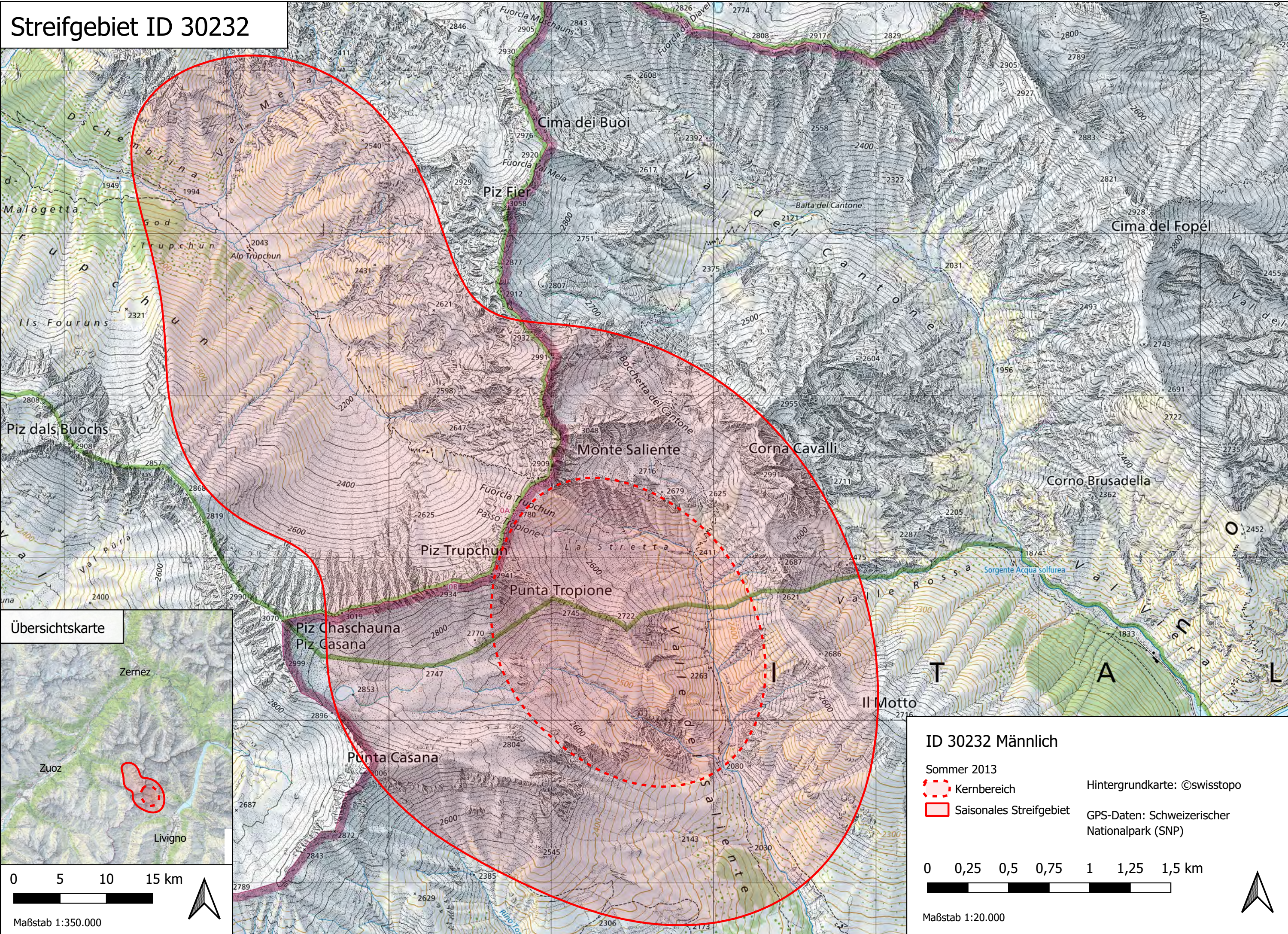
0 0,25 0,5 0,75 1 1,25 km

Maßstab 1:15.000

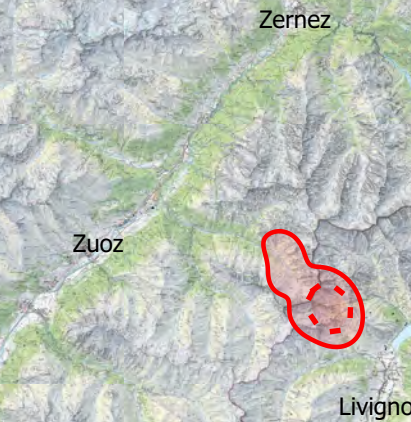




Streifgebiet ID 30232



Übersichtskarte



0 5 10 15 km

Maßstab 1:350.000

ID 30232 Männlich

Sommer 2013

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

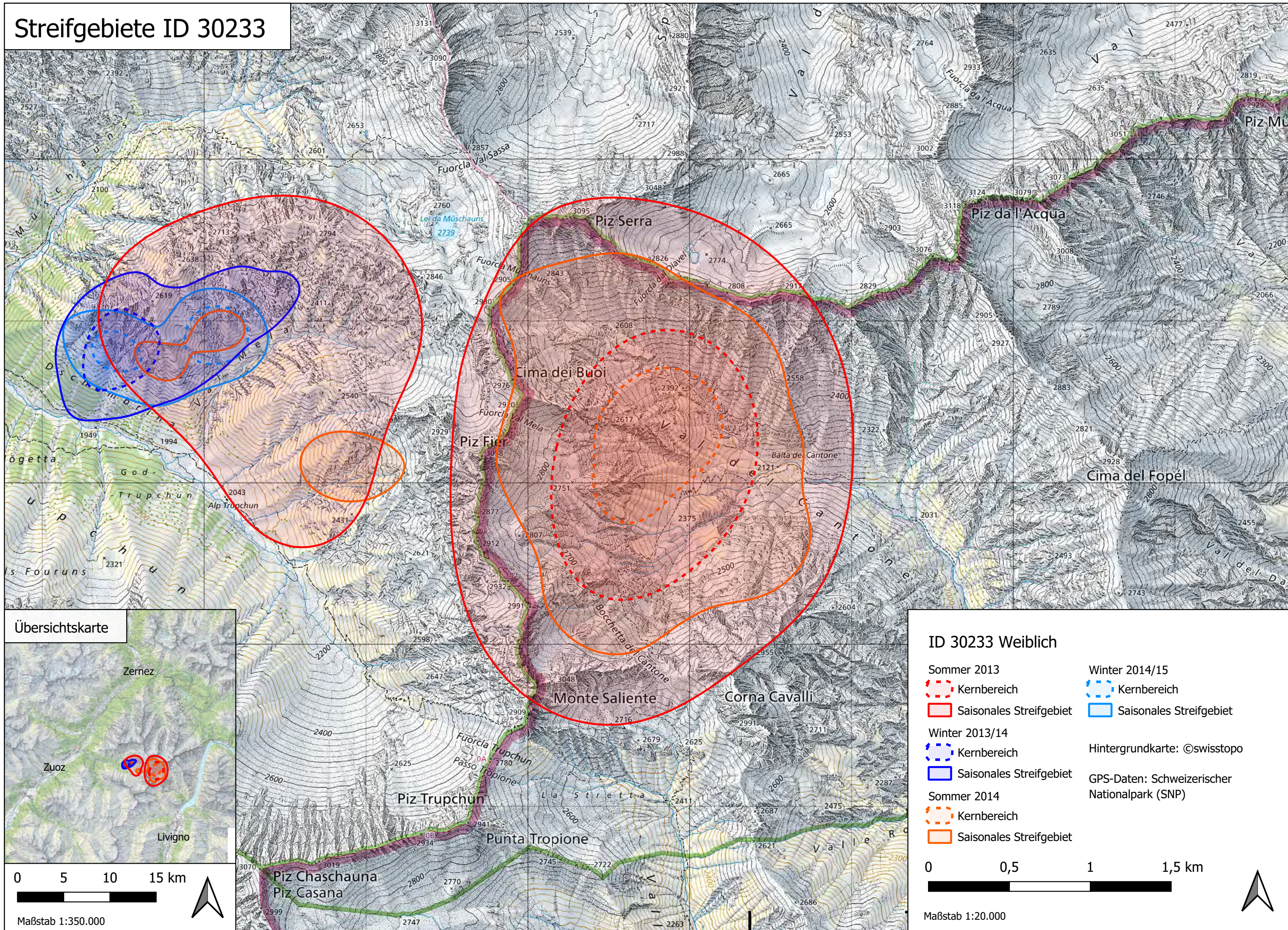
0 0,25 0,5 0,75 1 1,25 1,5 km

Maßstab 1:20.000



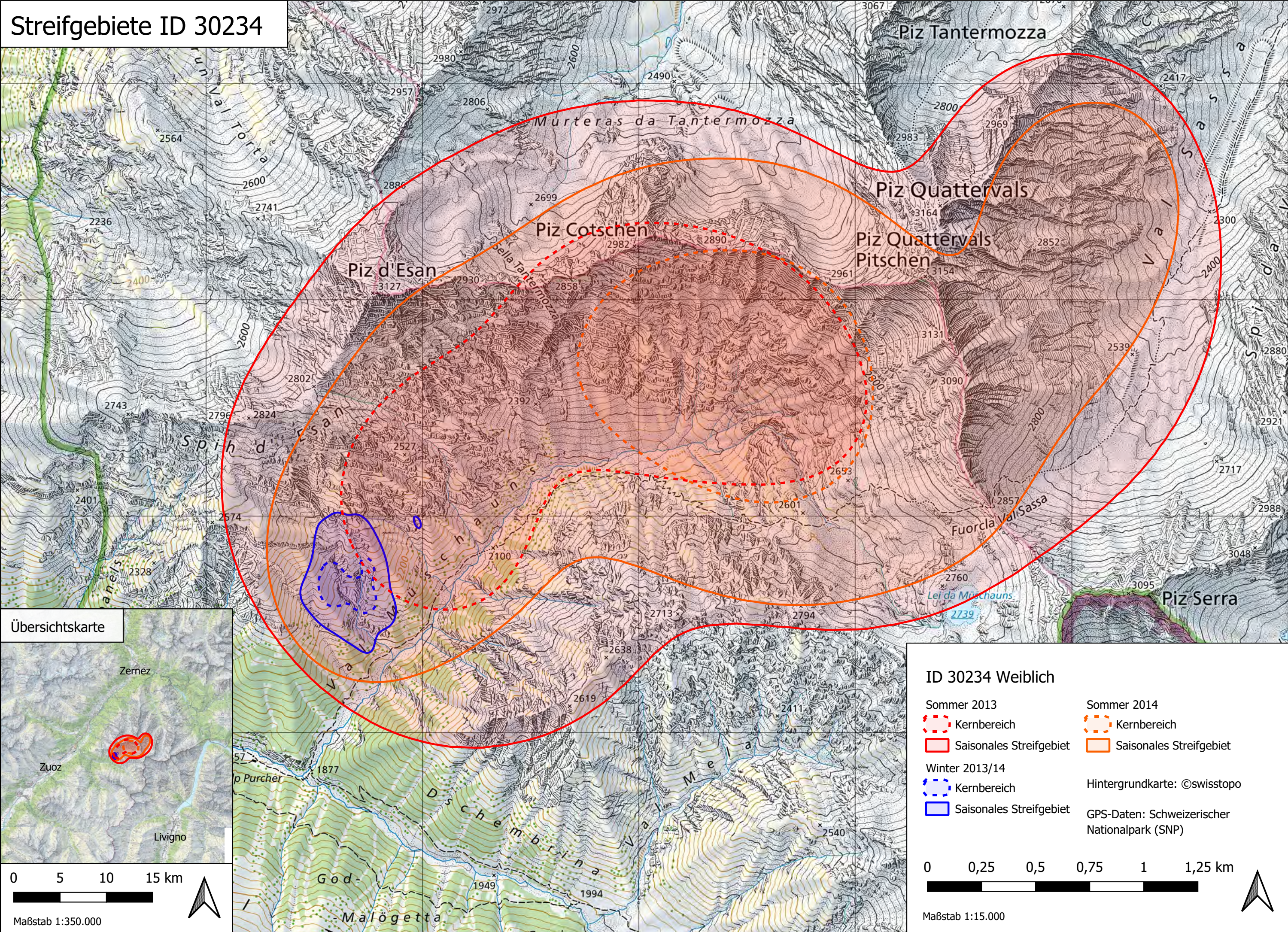


## Streifgebiete ID 30233



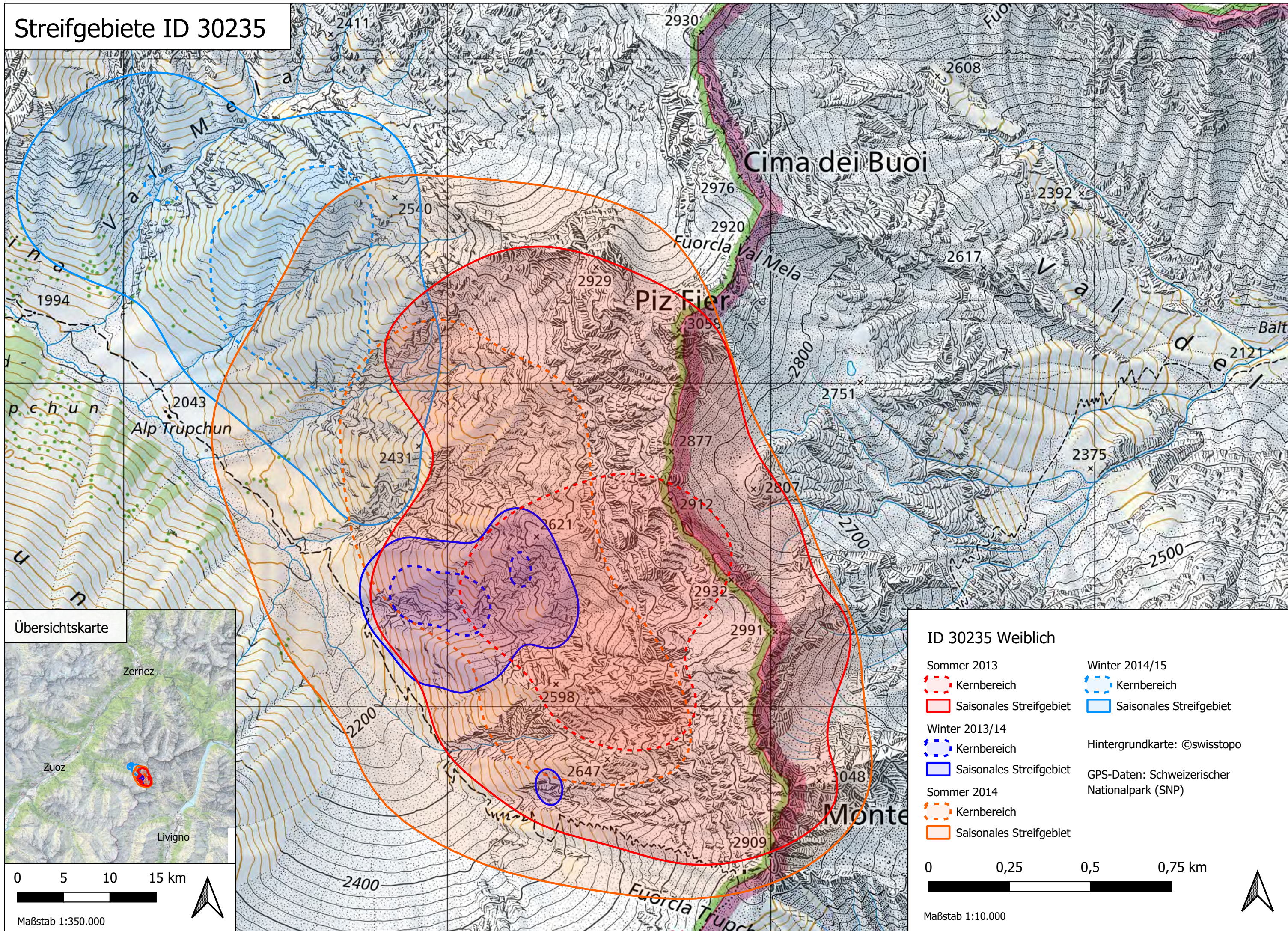


Streifgebiete ID 30234



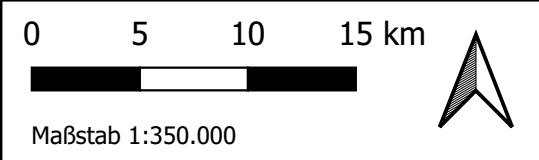
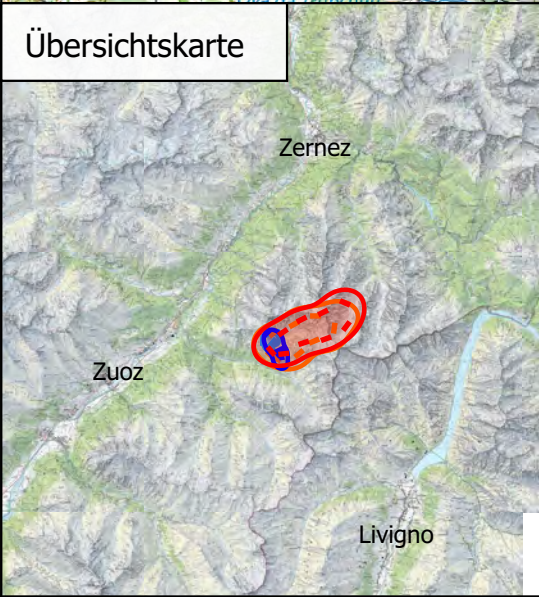
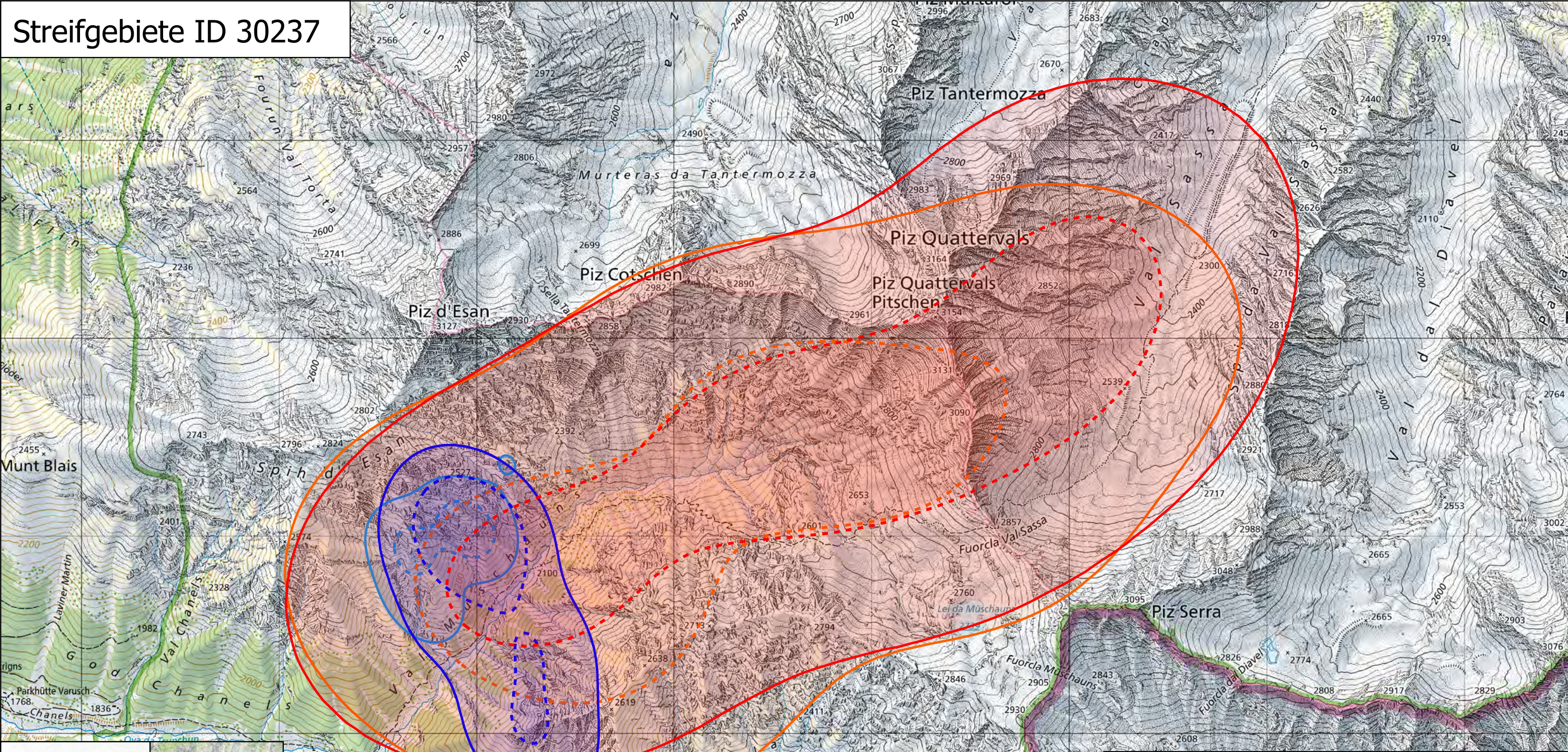


## Streifgebiete ID 30235





Streifgebiete ID 30237



ID 30237 Weiblich

Sommer 2014

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Winter 2014/15

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Sommer 2015

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Winter 2015/16

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

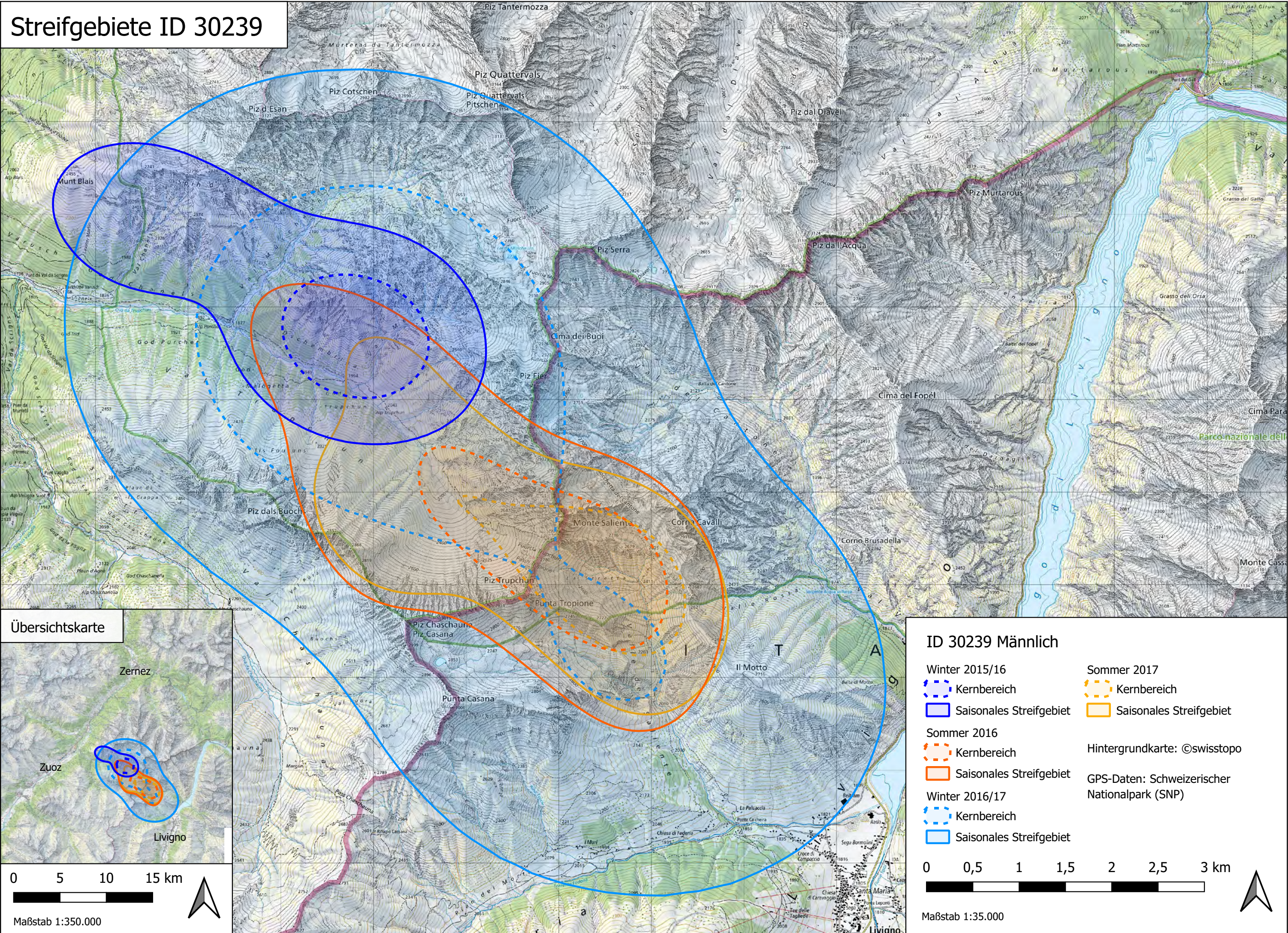
0 0,5 1 1,5 km

Maßstab 1:20.000



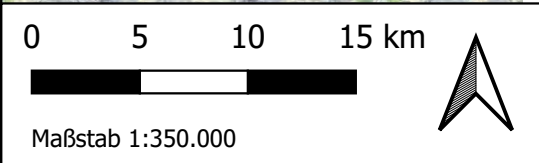
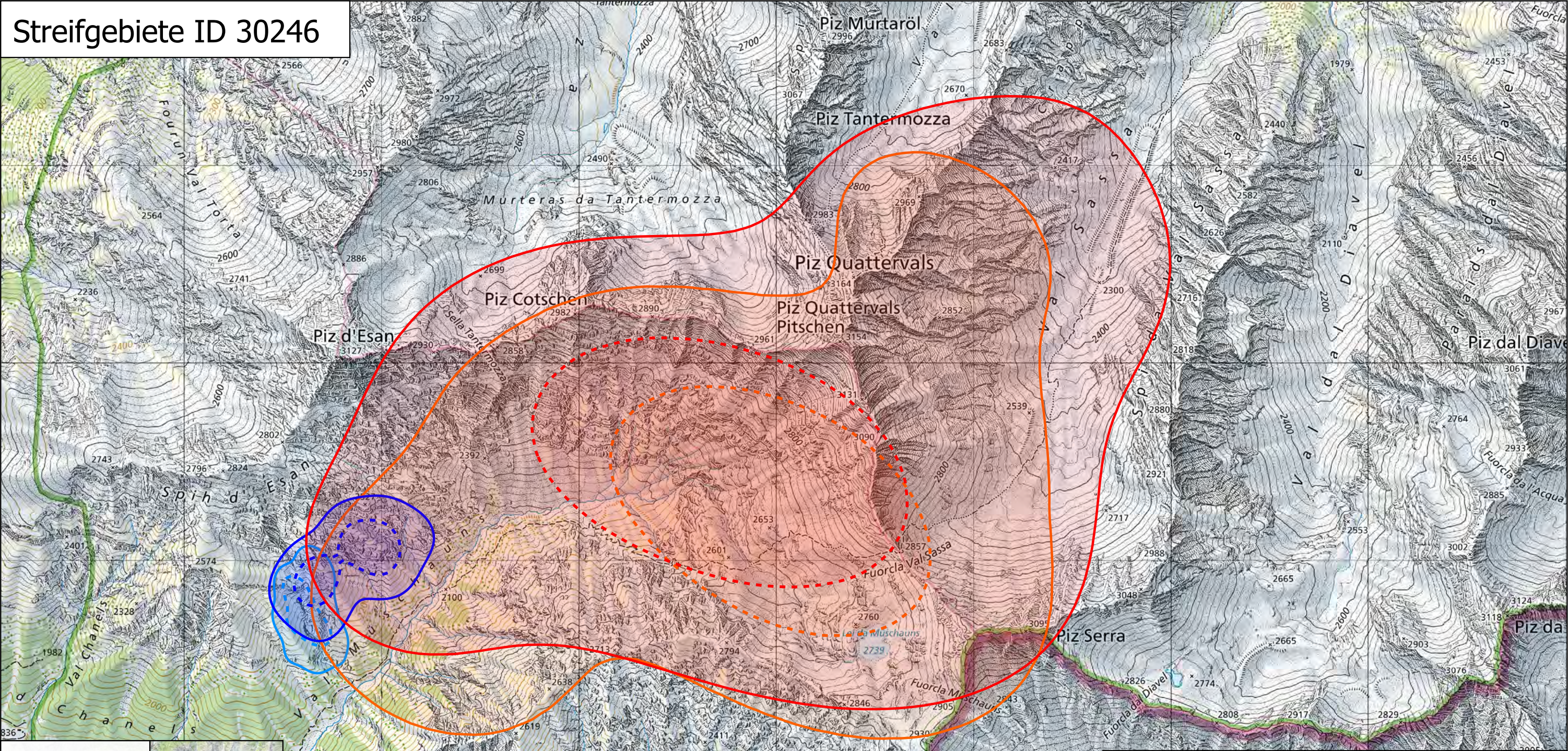


Streifgebiete ID 30239





Streifgebiete ID 30246



ID 30246 Weiblich

Sommer 2016

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Winter 2016/17

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Sommer 2017

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Winter 2017/18

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

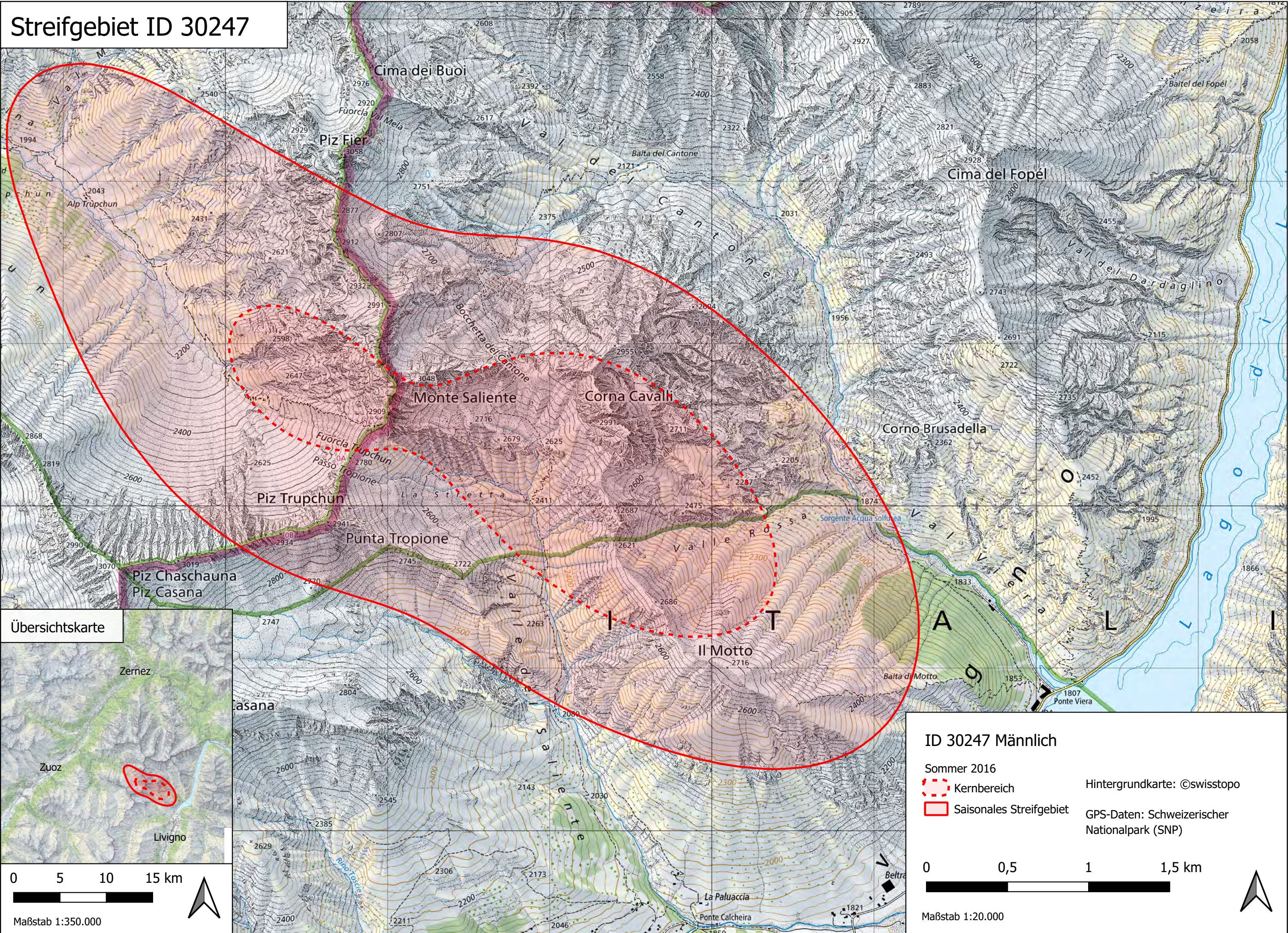
0 0,5 1 1,5 km

Maßstab 1:20.000





Streifgebiet ID 30247



Übersichtskarte

ID 30247 Männlich

Sommer 2016

Kernbereich

Saisonales Streifgebiet

Hintergrundkarte: ©swisstopo

GPS-Daten: Schweizerischer Nationalpark (SNP)

0 0,5 1 1,5 km

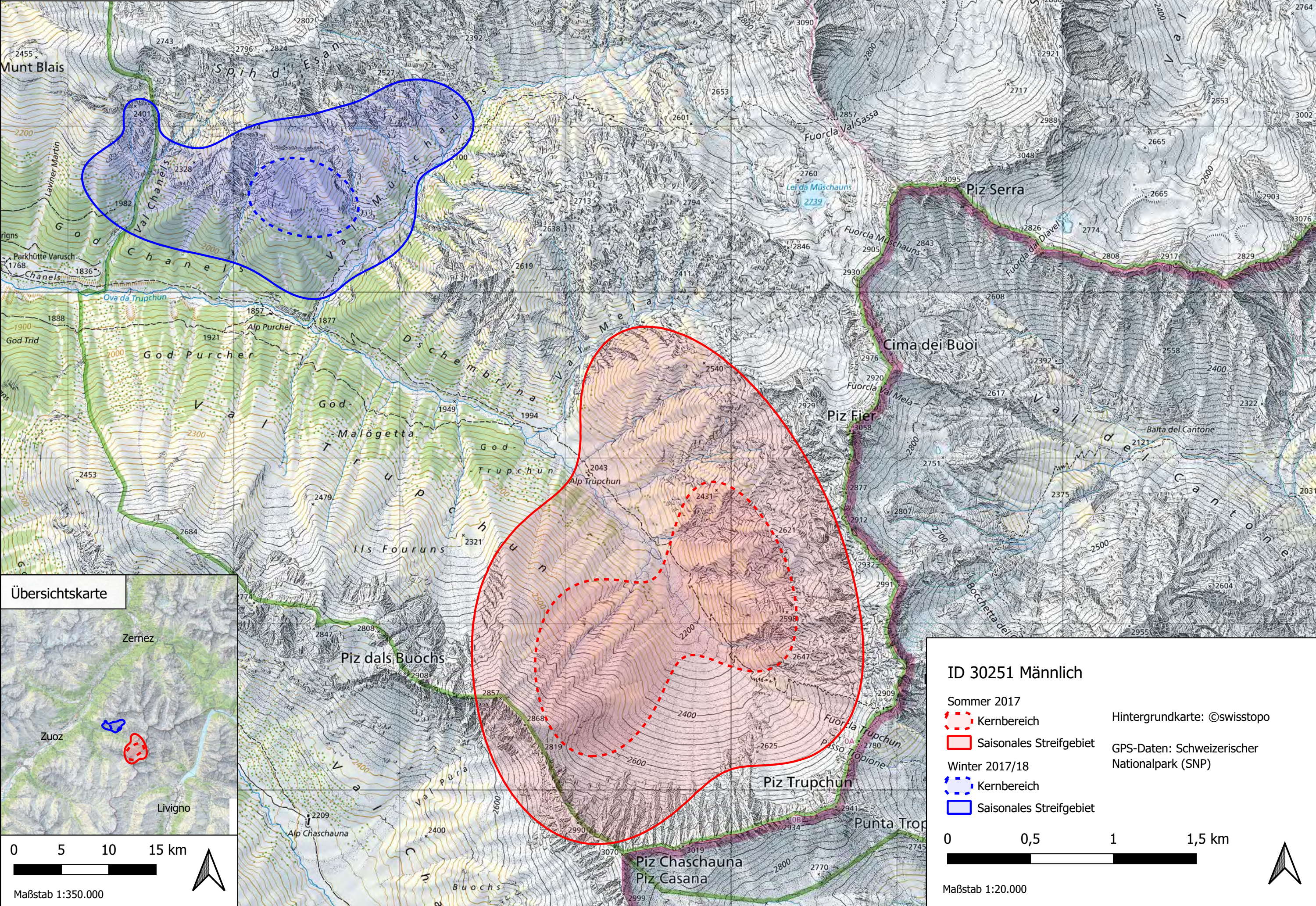
Maßstab 1:20.000

0 5 10 15 km

Maßstab 1:350.000



Streifgebiete ID 30251





Streifgebiete ID 30252

