

Schlussbericht des Projektes „Baumartenempfehlungen Klimawandel und Ergänzungen Standortkarte FL“

Monika Frehner, Andreas Zischg, Päivi Gubelmann



Monika Frehner
Sargans

u^b

b
**UNIVERSITÄT
BERN**



Autoren

Monika Frehner², Andreas Zischg³, Päivi Gubelmann¹

¹ Abenis AG, Quaderstrasse 7, 7000 Chur

² Forstingenieurbüro, Sixerstrasse 9, 7320 Sargans

³ Mobilier Lab für Naturrisiken, Oeschger Zentrum für Klimaforschung, Geographisches Institut, Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern

Projektlaufzeit: 1.10.2018 bis 30.7.2021.

Zitierung

Frehner, M., Zischg, A. & Gubelmann, P. (2021). Schlussbericht des Projektes «Baumartenempfehlungen Klimawandel und Ergänzung Standortkarte FL» Sargans, Forstingenieurbüro Frehner, Universität Bern, Chur, Abenis AG & Bern. xx Seiten.

Inhalt

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Ausgangslage | 5 |
| 2 | Teil Ergänzung der Standortkarte FL..... | 6 |
| 2.1 | Einleitung | 6 |
| 2.2 | Entwicklungen in der Waldstandortkunde zwischen 1988 und 2019..... | 6 |
| 2.3 | Anpassungen in der Standortkarte FL..... | 6 |
| 3 | Teil Baumartenempfehlungen und sensitive Standorte | 8 |
| 3.1 | Einleitung | 8 |
| 3.2 | Neue Klimaszenarien von CH2018..... | 8 |
| 3.3 | Weitere verwendete Grundlagen | 9 |
| 3.4 | Automatisierung der Baumartenempfehlungen | 9 |
| 3.5 | Herleitung von sensitiven Standorten | 17 |
| 3.6 | Resultate Automatisierung der Baumartenempfehlungen | 19 |
| 3.7 | Resultate Sensitive Standorte | 34 |
| 3.8 | Erwartete Dynamik auf sensitiven Standorten | 39 |
| 3.9 | Umgang mit krankheitsgefährdeten Baumarten..... | 40 |
| 4 | Schlussfolgerungen | 41 |
| 5 | Literatur | 42 |
| 6 | Anhang | 44 |
| 6.1 | Grundlagen zum Teil „Ergänzung der Standortkarte FL“ | 44 |
| 6.2 | Downscaling CH2018. Berechnung von Meteo- und Trockenheitsindizes für die Waldforschung, Methoden und Resultate (Version 2, 2020) | 50 |

Zusammenfassung

In diesem Bericht wird in einem ersten Schritt dargestellt, wie die Waldstandortkarte FL ergänzt und in NaiS-Standorttypen übersetzt wurde. In einem zweiten Schritt wird die Herleitung der Baumartenempfehlungen für die neuen CH2018 Szenarien (NCCS 2018), Periode 2070-2099 aufgezeigt. Dabei wurde beim RCP 4.5 Szenario die Modellkombination SMHI-RCA_MPIESM_EUR44 (mittlerer Klimawandel) und beim RCP 8.5 die Modellkombination CLMCOM-CCLM5_HADGEM_EUR44 (starker Klimawandel) verwendet. Ebenfalls wird aufgezeigt, wie sensitive Standorte im Fürstentum Liechtenstein modelliert wurden. Die sensitiven Standorte wurden direkt aus den Baumartenempfehlungen abgeleitet.

1 Ausgangslage

Der Klimawandel ist bereits heute im Wald sichtbar. Es bestehen grosse Unsicherheiten betreffend der künftigen Entwicklung der Waldbestände. Vor allem im Schutzwald ist entscheidend, wie widerstands- und anpassungsfähig die heutigen Bestände noch sind und sein werden. Unser Ziel sind die flächige Darstellung von Baumartenempfehlungen sowie die Identifizierung von Standorten, die besonders sensitiv/empfindlich auf den Klimawandel reagieren werden, wie beispielsweise Standorte, an denen die Baumartenzusammensetzung vollständig ändern dürfte.

Das Projekt stützt sich auf die Grundlagen der Projekte „Adaptierte Ökogramme“ (Frehner & Huber et al. 2019) und „Sensitive Standorte und Bestände, Teil 3: Modellierung von sensitiven Standorten und Beständen für den Kanton Graubünden“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“ (Frehner et al. 2021).

Das Projekt wurde in zwei Schritten durchgeführt. 2019 wurde die Standortkarte FL ergänzt und 2021 wurden die Baumartenempfehlungen und die sensitiven Standorte berechnet.

2 Teil Ergänzung der Standortkarte FL

2.1 Einleitung

Die Standortkarte FL (Schmider&Burnand 1988) wurde 2019 von Monika Frehner angepasst, um die Baumartenempfehlungen Klimawandel damit herleiten zu können. Dazu wurden die Standorttypen FL in NaiS-Standorttypen umgewandelt. Grundlage dafür waren einzelne Feldbegehungen und die Bachelorarbeit von Larissa Schädler.

Die Standortkarte FL wurde 1988 publiziert. Zu dieser Zeit gab es schon relativ viel Erfahrung beim Kartieren im Mittelland, es waren aber erst wenige Kartierungen im Gebirge vorhanden. Auch in Ellenberg & Klötzli (1972), die Grundlage für die Kartierungen, sind die Mittellandstandorte deutlich besser abgedeckt als die Standorte der höheren Lagen.

2.2 Entwicklungen in der Waldstandortskunde zwischen 1988 und 2019

Die Standorte werden von verschiedenen Faktoren bestimmt, die sich kontinuierlich ändern können, das heisst, die Standorte, die wir beschreiben sind nicht von Natur aus gegeben. Deshalb wird zwischen Standort und Standorttyp (Ott et al. 1996) unterschieden:

Definition Standort:

Unter dem «Standort» eines Baumbestandes verstehen wir die Gesamtheit aller Einflüsse, die auf die Bäume des Waldbestandes wirken (zum Beispiel Klima, Eigenarten des Bodens, Lawinen, Steinschlag).

Definition Standorttyp:

Aus der Betrachtung realer Standorte abgeleitete idealisierte Beschreibung eines Standortes. In dieser Beschreibung kann ein ähnlicher realer Standort erkannt werden. Der Standorttyp wird durch floristische aber auch durch standörtliche und strukturelle Merkmale charakterisiert.

Ursprünglich war für die Ausscheidung von Standorten die Krautschicht sehr wichtig. So waren z. B. auch die Arten der Krautschicht sehr wichtig für die Abgrenzung der Höhenstufen. Seit Ott et al. (1996) werden die Standorttypen auf die Anwendung im Waldbau optimiert, für die Abgrenzung der Höhenstufen werden vor allem Baumarten verwendet.

Die NaiS-Standortstypen basieren auf Frehner et al. (2005/2009), im Rahmen vom Projekt «NaiS-LFI: Zuordnung der LFI-Stichprobenpunkte zu Waldgesellschaften» vom Bafu wurden soweit ergänzt, dass alle LFI-Probeflächen der Schweiz einem NaiS-Standorttyp zugeordnet werden können. Zudem wurden sie soweit unterteilt, dass die dominierenden Baumarten klar ersichtlich sind. Die Entwicklung in der Standortkunde und die Entstehung der NaiS-Standorttypen ist in Frey et al. (2021) dargestellt.

2.3 Anpassungen in der Standortkarte FL

Mit Hilfe der Geländebegehungen, der Bachelorarbeit von Larissa Schädler, dem Höhenstufenmodell Abenis (Gubelmann et al. 2018) und Erfahrung wurden die Karte soweit angepasst, dass nachher die FL-Karte mit einer Tabelle in NaiS-Standorttypen umgewandelt werden kann.

Dazu wurden die Höhenstufen angepasst, bei den meisten Höhenstufen gab es nur kleine Änderungen, das heisst, die Höhenstufen von FL wurden übernommen, aber Standorttypen, die in einer anderen Höhenstufe vorkommen wurden angepasst. So wurde z. B. in der untermontanen Stufe (mehrheitlich sind auf der Standortkarte FL hier verschiedene 8 und 12 vorhanden) folgende Änderungen gemacht: 11 > 12g, 24 > 25. Die Höhenstufe hochmontan wurde neu eingeführt, das heisst, die Grenze hochmontan – subalpin wurde auf dem Grundlagenplan eingezeichnet. Basis dafür war das Höhenstufenmodell Abenis. Ausser auf den Extremstandorten wie Föhrenwaldstandorte 67,

65 kann die Tanne in der hochmontanen Stufe gut gedeihen, z. B. bei Malbun Aslamagee steht eine gut entwickelte Tanne 20 m oberhalb der eingezeichneten Grenze hochmontan – subalpin.

Die Höhenstufengrenzen in der Standortkarte entsprechen dem Klima 1961-1990. Inzwischen hat schon eine Erwärmung stattgefunden. In der Schweiz betrug diese schon mehr als 1°C (Abb. 1), im Fürstentum Liechtenstein sind die Veränderungen in einem ähnlichen Rahmen. Da die Höhenstufengrenzen anhand der Baumarten im Baumholz bestimmt werden sind auch heute noch im Gelände mehrheitlich die Höhenstufengrenzen vom Klima 1961-1990 zu sehen. Die Kraut- und Strauchschicht hingegen kann schon auf die Klimaveränderung reagiert haben, im Vergleich zum Klima 1961-1990 gibt es schon eine Verschiebung von ca 150 – 200 Höhenmeter bergwärts.

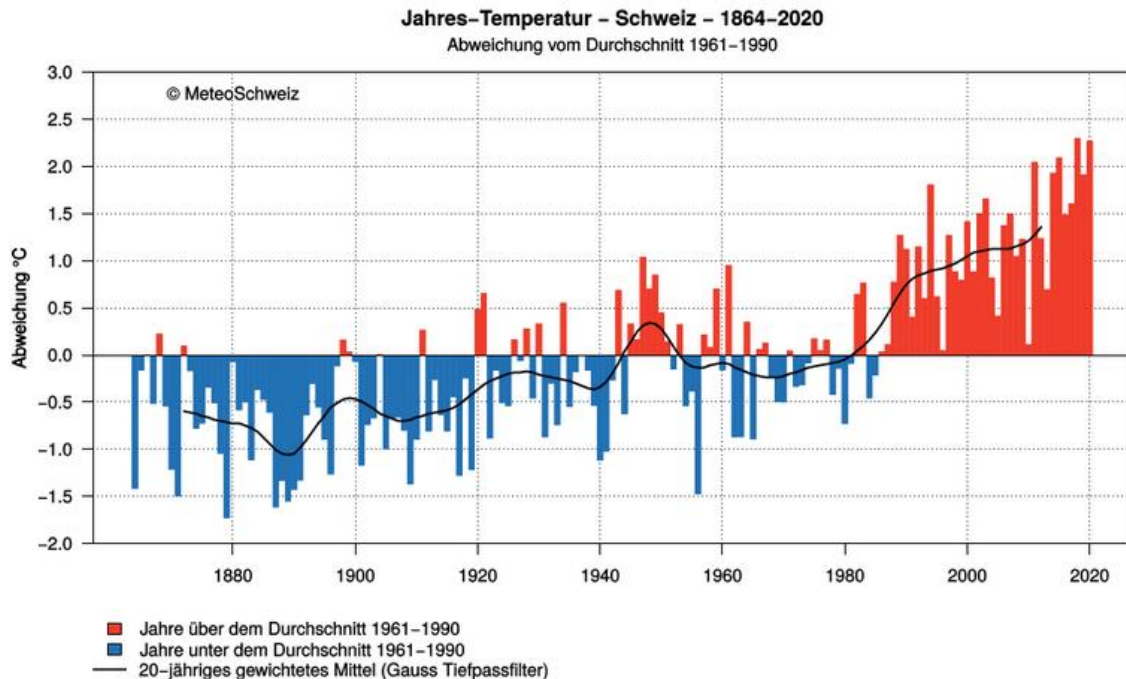


Abb. 1: Jahrestemperatur Schweiz 1864 – 2020. Quelle MeteoSchweiz

Im Gebiet mit Löss am Hangfuss wurden folgende Geländebegehungen durchgeführt: im Iragehböchel, Schlosswald – Verhau, Fanola. Im Gebiet oberhalb vom Duxwald war eine Geländebegehung geplant, wegen Holzschlag wurde aber darauf verzichtet.

Die übrigen Geländebegehungen wurden vor allem in den oberen Lagen durchgeführt, da dort die Unterschiede zwischen der Standortkarte FL und NaiS grösser sind als in den unteren Lagen: die hochmontanen Stufe wurde eingeführt, bei NaiS gibt es mehr Standorttypen als bei FL.

Leichte Verschiebungen der Grenzlinien wurden nicht korrigiert, z. B ist das 32 im Saminatal teilweise leicht verschoben zum Fluss eingezeichnet.

In der beiliegende Excel-Tabelle „WaldgesellschaftenFL_NaiS_20190410.xlsx“ sind die Änderungen von „Standortkarte FL“ zu „Standortkarte FL bereinigt“ (hier können zum grossen Teil die Beschreibungen von Schmider&Burnand 1988 verwendet werden) und zu den „NaiS-Standorttypen“ (diese werden verwendet, um die Baumartenempfehlungen herzuleiten) im Detail aufgeführt. Die NaiS-Standorttypen sind im Schlussbericht zum Projekt Nais-LFI (ARGE Frehner et al. 2020) beschrieben. Im Anhang 6.1 sind jene Ökogramme aus diesem Bericht dargestellt, die in FL vorkommen.

3 Teil Baumartenempfehlungen und sensitive Standorte

3.1 Einleitung

Ziel sind einerseits die flächige Darstellung von Baumartenempfehlungen. Dies erlaubt es, pro Baumart für 2 Klimazukünfte einen Überblick über die mögliche Entwicklung darzustellen. Andererseits werden Standorte identifiziert, die besonders sensitiv/empfindlich auf den Klimawandel reagieren werden, wie beispielsweise Standorte, an denen die Baumartenzusammensetzung vollständig ändern dürfte. Diese Arbeiten werden mit den neusten Daten (CH2018) und einer verbesserten Höhenstufenmodellierung ausgeführt (Zischg et al. 2021).

3.2 Neue Klimaszenarien von CH2018

2018 wurden die neuen CH2018 Szenarien (NCCS 2018) veröffentlicht. Diese umfassen Gitterdaten mit einer räumlichen Auflösung von ca. 2 km sowie Punktdaten für MeteoSchweiz Messstandorte (herunterskalierte Tageswerte) für diverse Szenarien. Die CH2018 Szenarien gelten als der neue Standard für Klimaanalysen in der Schweiz. Die Datensätze für Trockenheitsanalysen von Wäldern sollten deshalb neu auf CH2018 basierten Daten in 250 m Auflösung zur Verfügung gestellt werden (aus Remund 2020). Eine Expertengruppe (Meteotest, MeteoSchweiz, BAFU- und WSL-Vertreter) wählte drei Klimamodelle für die Szenarien RCP 2.6, 4.5 und 8.5 aus (Vorgehen siehe Remund 2020, Ergebnisse zu den gewählten Szenarien siehe Anhang 6.2). Für das Szenario RCP 2.6 wurde die Modellkombination **DMI_HIRHAM_ECEARTH_EUR11** (entspricht etwa der Einhaltung des 2° C Zieles des Pariser Abkommen) ausgewählt. Für das RCP 4.5 Szenario kam die Modellkombination **SMHI-RCA_MPIESM_EUR44** (mittlerer Klimawandel) den „Zielwerten“ (Remund 2020, z.B. was die regionale Verteilung der Niederschläge betrifft) am nächsten, für das RCP 8.5 Szenario wurde die Modellkombination **CLMCOM-CCLM5_HADGEM_EUR44** (starker Klimawandel) ausgewählt. Die Modellkombinationen wurden dann auf 250 m Auflösung heruntergerechnet und die abgeleiteten Anomalien-Karten für die Simulation der Vegetationshöhenstufen auf die Auflösung von 25 m x 25 m gebracht. Da das Szenario RCP 2.6 von vielen Fachleuten als unrealistisch eingeschätzt wird, wurde auf die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 fokussiert und wurden diese in die Modellierung integriert. Nachfolgend werden die Anomalien der Sommerwerte (April – August) exemplarisch vorgestellt.

Tab. 1: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 2.6 für die Periode 2070-2099, Modell DMI_HIRHAM_ECEARTH_EUR11 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010 für Aarau und Locarno. Legende: Tas = Lufttemperatur, Pr = Niederschlag. Diff. Tas Anom. /Pr Anom. = Differenzen der Temperatur (Tas)- und der Niederschlags (Pr)- Anomalien, d.h. wie stark sich die Anomalie von einem bestimmten Modell vom gewünschten Wert der Anomalie unterscheidet.

| Ort | Tas [°C] | Pr [mm] | Tas Anomalie [°C] | Pr Anomalie [%] | Trocken-tage Anomalie [N] | Letzter Frosttag Anomalie [d] | Diff. Tas Anom. [°C] | Diff. Pr Anom. [%] |
|---------|----------|---------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Aarau | 15.4 | 509.7 | 1.0 | -2.1 | -0.8 | 1.3 | 0.0 | -0.4 |
| Locarno | 18.0 | 918.3 | 0.8 | 1.7 | -0.7 | -6.2 | -0.2 | -3.4 |

Tab. 2: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 4.5 für die Periode 2070-2099, Modell SMHI-RCA_MPIESM_EUR44 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010 für Aarau und Locarno. Legende: Tas = Lufttemperatur, Pr = Niederschlag. Diff. Tas Anom. /Pr Anom. = Differenzen der Temperatur (Tas)- und der Niederschlags (Pr)- Anomalien, d.h. wie stark sich die Anomalie von einem bestimmten Modell vom gewünschten Wert der Anomalie unterscheidet.

| Ort | Tas [°C] | Pr [mm] | Tas Anomalie [°C] | Pr Anomalie [%] | Trocken-tage Anomalie [N] | Letzter Frosttag Anomalie [d] | Diff. Tas Anom. [°C] | Diff. Pr Anom. [%] |
|---------|----------|---------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Aarau | 15.2 | 486.2 | 1.8 | -4.0 | 1.6 | -5.5 | -0.1 | -1.9 |
| Locarno | 17.9 | 831.7 | 2.3 | -0.5 | 2.3 | -19.1 | 0.2 | 7.9 |

Tab. 3: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 8.5 für die Periode 2070-2099, Modell CLMCOM-CCLM5_HADGEM_EUR44 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010 für Aarau und Locarno. Legende: Tas = Lufttemperatur, Pr = Niederschlag. Diff. Tas Anom. /Pr Anom. = Differenzen der Temperatur (Tas)- und der Niederschlags (Pr)- Anomalien, d.h. wie stark sich die Anomalie von einem bestimmten Modell vom gewünschten Wert der Anomalie unterscheidet.

| Ort | Tas [°C] | Pr [mm] | Tas Anomalie [°C] | Pr Anomalie [%] | Trocken-tage Anomalie [N] | Letzter Frosttag Anomalie [d] | Diff. Tas Anom. [°C] | Diff. Pr Anom. [%] |
|---------|----------|---------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Aarau | 15.3 | 491.6 | 4.4 | -17.0 | 3.4 | -28.8 | 0.0 | 0.7 |
| Locarno | 18.0 | 933.5 | 4.4 | -24.9 | 4.4 | -34.2 | -0.4 | 2.4 |

3.3 Weitere verwendete Grundlagen

Folgende Daten wurden für die Berechnungen verwendet:

- Waldstandortkarte FL, Version NaiS-Standorttypen 2019
- Vegetationshöhenstufenkarten CH2018, Periode 2070-2099, Emissions-Szenarien RCP 4.5 und 8.5 (Zischg et al. 2021)

3.4 Automatisierung der Baumartenempfehlungen

Für die Herleitung der Baumartenempfehlungen wurden für die Transformation der heutigen in zukünftige Standorttypen in Abhängigkeit der Klimawandelszenarien Projektionswege definiert, diese werden auch in der Tree App verwendet. Das Konzept der Herleitung von Baumartenempfehlungen in einem sich ändernden Klima wurde von Frehner & Zürcher-Gasser (2019) entwickelt und soll aufzeigen, welche Baumarten in Zukunft an einem Standort ausfallen oder neu aufkommen können. Damit sollen Försterinnen und Förster die Folgen des Klimawandels antizipieren und heute schon entsprechend reagieren können. Das Konzept ist im Projekt „Adaptierte Ökogramme Teil 5“ beschrieben (Frehner & Zürcher-Gasser 2019).

Diese Projektionswege wurden automatisiert. Sie basieren generell auf der Überlagerung des heutigen Standorttyps und der heutigen Höhenstufe mit einer zukünftigen Höhenstufenkarte (siehe Anhang 6.3). Aus der Veränderung der Höhenstufe wird der zukünftige Waldstandorttyp abgeleitet. Für die Modellierung der Projektionswege sind neben der zukünftigen Höhenstufe noch weitere Lageparameter erforderlich: die NaiS-Standortregion, Neigung, Strahlung und Geländelage (Kuppe, Mulde, Hang, Hangfuss, Ebene) in einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m. Abb. 2 zeigt schematisch diese Überlagerung auf. Das Ergebnis ist ein Datensatz, der den heutigen Standorttyp (Standortkarte FL bereinigt und NaiS-Standorttyp), die heutige und zukünftige Höhenstufe und die Lageparameter enthält. Diese Überlagerung wird für beide Klimaszenarien gemacht (RCP 4.5 und RCP 8.5, Periode 2070-2099). Die Klimaszenarien sind in der zukünftigen Höhenstufenkarte abgebildet.

Die heutigen Höhenstufen wurden für jede Fläche der Waldstandortkarte FL, Version NaiS-Standorttypen 2019 mit Hilfe der beiliegenden Excel-Tabelle «NaiS_Standorttypen_FL_20210714.xlsx» hergeleitet. Bei Flächen, bei denen mehrere Höhenstufen möglich sind, wurde die Höhenstufe der Vegetationshöhenstufenkarte Periode 1961-1990 aus (Zischg

et al. 2021) übernommen. Die heutigen Höhenstufen werden als Ausgangs-Höhenstufe für die Berechnung der Projektionswege verwendet. Bei Übergängen können gegebenenfalls zwei verschiedene Höhenstufen zutreffen. Diese Grundlage kann auch verwendet werden, um die Waldstandortkarte FL in das Tree App (www.tree-app.ch) einzubinden.

Die Höhenstufen der Zukunft gibt es für die Periode 2070-2099, je einmal für das Szenario RCP 4.5 (SMHI-RCA_MPIESM_EUR44) und für das Szenario RCP 8.5 (CLMCOM-CCLM5_HADGEM_EUR44).

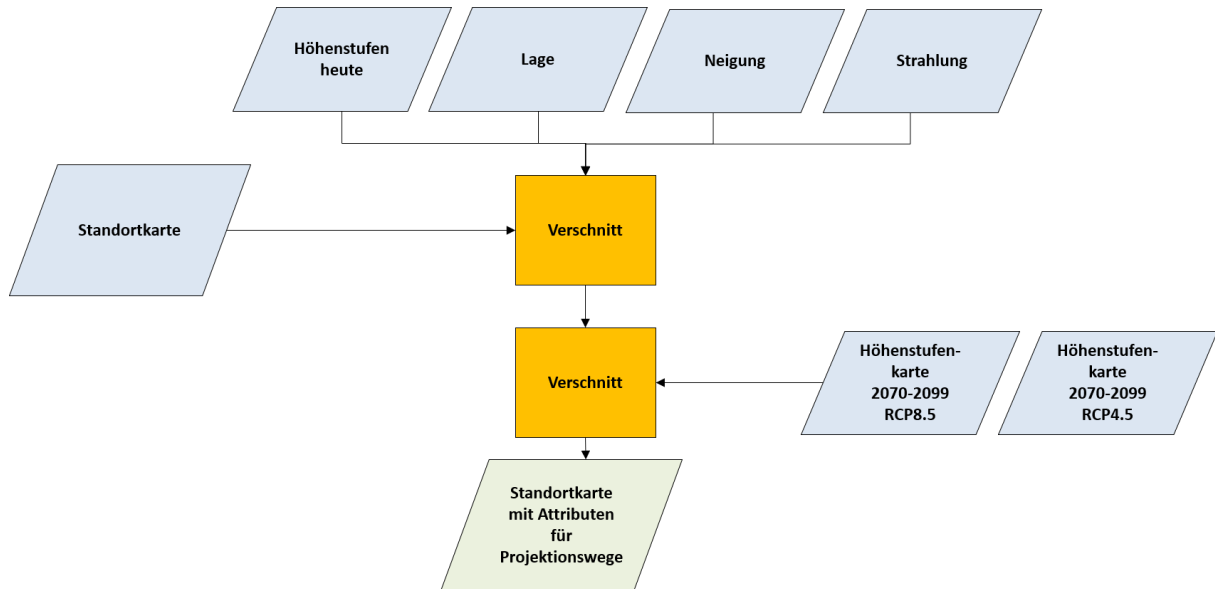


Abb. 2: Überlagerung der Standortkarte mit Lageparametern und den Karten der zukünftigen Höhenstufen.

Im nächsten Schritt (Abb. 3) werden die zukünftigen Waldstandorte (Standorttypen) hergeleitet. Dies erfolgt auf Basis der Tabelle „Projektionswege im Klimawandel“ aus dem Projekt „Adaptierte Ökogramme“, Teil 5 (Frehner & Zürcher-Gasser 2019), ergänzt in ARGE Frehner et al. (2020).

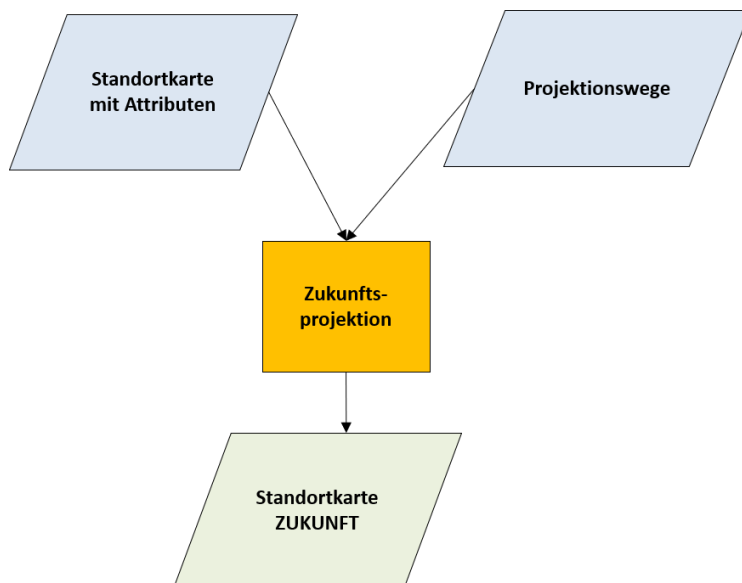


Abb. 3: Umsetzung der Baumartenprojektionen zur Herleitung der zukünftigen Waldstandorte.

In einem Excel-File (L_Projektionswege_im_Klimawandel_18022020.xlsx, Abb. 4) sind alle möglichen bekannten Veränderungen der Standorttypen in Abhängigkeit der Höhenstufenverschiebung und der

Lageparameter zusammengefasst. Für jede Parameter-Kombination sind die Regeln der Baumartenprojektionen im Excel-File abgelegt und die Projektion kann umgesetzt werden. Falls die Höhenstufe um mehr als eine Klasse ändert, müssen die jeweiligen Projektionswege hintereinander berechnet werden. Als Ergebnis gibt die Funktion den zukünftigen Waldstandorttyp für jedes Klimawandelszenario zurück.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-------------|---------------------|-----------------|--------|-------------|----------------------------------|----------------------|
| Standortsregionen | Hoehenstufe_heute | Standortstyp_heute | Hangneigung | Tannenareal_Zukunft | Standortsregion | Relief | Weitere | Hoehenstufe_Zukunft | Standortstyp_Zukunft |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 1 | | | | | | submontan | 1 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 1 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 1 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 2 | | | | | | submontan | 2 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 2 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 2 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 3 | | | | | | submontan | 3 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 3 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 1 collin |
| R 5 | unter- & obermontan | 3 | | | | | normal | collin Zukunft | 42V |
| R 5 | unter- & obermontan | 3 | | | | | tiefgründig | collin Zukunft | 34a |
| R 5 | unter- & obermontan | 3 | | | | | normal | collin mit Buche Zukunft | 42V |
| R 5 | unter- & obermontan | 3 | | | | | tiefgründig | collin mit Buche Zukunft | 34a |
| R 5 | unter- & obermontan | 3 | | | | | normal | hyperinsubrisch Zukunft | 42V |
| R 5 | unter- & obermontan | 3 | | | | | tiefgründig | hyperinsubrisch Zukunft | 34a |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 4 | | | | | | submontan | 4 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 4 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 6 collin |
| R 5 | unter- & obermontan | 4 | | | | | | collin Zukunft | 3L/4L |
| R 5 | unter- & obermontan | 4 | | | | | | collin mit Buche Zukunft | 3L/4L |
| R 5 | unter- & obermontan | 4 | | | | | | hyperinsubrisch Zukunft | 3L/4L |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 6 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 6 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 6 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 6 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 11 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 11 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 14 | | | | | | submontan | 14 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 14 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 14 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 15 | | | | | | submontan | 15 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 15 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 15 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 16 | | | | | | submontan | 25e |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 16 | | | J, M | | | submontan | 39 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 16 | | | 1, 2, 3 | | | submontan | 40* |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | untermontan | 17 | | | | | | submontan | 17 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | submontan | 17 | | | J, M, 1, 2a | | | collin Zukunft | 17 collin |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | obermontan | 18 | | | | | | untermontan | 8a |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | obermontan | 19 | | | | | | untermontan | 8d |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | obermontan | 20 | | | | | | untermontan | 85 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | hochmontan | 21 | | | | | | hochmontan Reliktareal der Tanne | 23H |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | hochmontan | 21 | | | | | | hochmontan Hauptareal der Tanne | 21 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | hochmontan | 21 | | | | | | hochmontan Nebenareal der Tanne | 21 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | hochmontan | 21 | | | | | | obermontan | 20 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | obermontan | 21 | | | | | | untermontan | 85 |
| R, J, M, 1, 2, 3 osa bis co | hochmontan | 21 | | | 2b, 3 | | | collin Zukunft | 23H collin |

Abb. 4: Ausschnitt aus dem Regelset der Baumartenprojektionen zur Herleitung der zukünftigen Waldstandorte.

Nach der Ableitung des zukünftigen Waldstandorts können die Baumartenempfehlungen berechnet werden. Dabei wird aus den Baumartenempfehlungen für den heutigen und den zukünftigen Standorttyp abgeleitet, welche Baumart heute und in Zukunft für den Standort geeignet ist (Abb. 5). Dafür wird die Datenbank von NaiS-LFI analysiert (NaiS-Matrix), die für jeden Standorttyp und Baumart angibt, ob die jeweilige Baumart eine dominante Naturwaldbaumart (a), eine wichtige beigemischte Naturwaldbaumart (b) oder eine weitere Baumart (c) ist. Das Baumartenset enthält alle heute in der Schweiz einheimischen Baumarten und einzelne heute gebietsfremde Baumarten.

Ergebnis dieses Schrittes ist ein Kartenlayer „Baumartenempfehlungen“ für jedes Klimaszenario (RCP 4.5, RCP 8.5 sowie deren Kombination) und jede Baumart. Die Karte zeigt, ob die jeweilige Baumart an einem Standort an die heutigen und/oder zukünftigen Standortbedingungen angepasst ist. Tab. 4 zeigt einen Ausschnitt aus der NaiS-Matrix zur Bestimmung der Bedeutung der Baumarten für die Standorttypen. Die Legende ist in Tab. 5 und Tab. 6 beschrieben. Die Karte der Baumartenempfehlungen bildet die Grundlage für die Herleitung der sensitiven Standorte.

Tab. 4: Ausschnitt aus der NaiS-Matrix Tabelle.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------|----|----|----|----|----|-----|-------|
| 1 | Namelat | Namedt | Namefrz | Nameit | SISF-Nr | 1 | 1h | 2 | 3 | 3s | 3LV | 3L/4L |
| 2 | Abies alba | Tanne | Sapin | Abete bianco | 0000100 | c | a | ex | b | ex | c | c |
| 3 | Acer campestre | Feldahorn | Érable champêtre | Acero oppio, Loppio | 0000300 | ex | ex | ex | ex | ex | ex | c |
| 4 | Acer opalus | Schneeballblättriger Ahorn | Érable à feuilles d'obier | Acero alpino | 0000600 | ex | ex | ex | ex | ex | ex | ex |
| 5 | Acer platanoides | Spitzahorn | Érable plane | Acero riccio | 0000700 | ex | ex | ex | c | ex | ex | c |
| 6 | Acer pseudoplatanus | Bergahorn | Érable sycomore | Acero di monte | 0000800 | ex | ex | ex | c | ex | ex | c |
| 7 | Aesculus hippocastanum | Roskastanie | Marronnier | Ippocastano | 0006900 | | | | | | | |
| 8 | Ailanthus altissima | Götterbaum | Ailante | Ailanto | 0009500 | c | | c | | | c | c |
| 9 | Alnus glutinosa | Schwarzerle | Aulne glutineux | Ontano comune | 0025200 | ex | ex | ex | ex | ex | ex | c |
| 10 | Alnus incana | Grauerle | Aulne blanc | Ontano bianco | 0025300 | ex | ex | ex | ex | ex | ex | ex |
| 11 | Alnus viridis | Alpenerle | Aulne vert | Ontano verde | 0025400 | ex | ex | ex | ex | ex | ex | ex |
| 12 | Betula pendula | Hängebirke | Bouleau | Betulla verrucosa | 0060400 | b | c | b | c | b | c | c |
| 13 | Betula pubescens | Moorbirke | Bouleau pubescent | Betulla pubescente | 0060500 | | | | | | | |
| 14 | Carpinus betulus | Hagebuche | Charme | Carpino comune | 0096900 | b | ex | b | | | | c |
| 15 | Castanea sativa | Kastanie | Châtaignier | Castagno comune | 0097200 | b | ex | b | b | c | b | b |
| 16 | Cedrus atlantica | Atlaszeder | Cèdre de l'Atlas | | 0097750 | | | | | | | |
| 17 | Cedrus libani | Libanonzeder | Cèdre du Liban | | 0097760 | | | | | | | |
| 18 | Celtis australis | Zürgelbaum | Micocoulier | Bagolaro | 0097800 | | | | | | | |
| 19 | Chamaecyparis lawsoni | Lawsons Zypresse | Cyprès de Lawson | Cipresso di Lawson | 0107150 | | | | | | | |
| 20 | Cinnamomum glandulif | Drüsiger Kampferbaum | Cannelier glanduleux | Cinnamomo ghiandolos | 0113350 | | | | | | c | c |
| 21 | Cinnamomum camphor | Kampferbaum | Camphrier | | 0113399 | | | | | | | |
| 22 | Corylus colurna | Baumhasel | Noisetier de Byzance | | 0121610 | | | | | | | |
| 23 | Diospyros lotus | Lotuspflaume | Plaqueminier lotier | Albero di Sant' Andrea, | 0137700 | | | | | | | c |
| 24 | Fagus sylvatica | Buche | Hêtre | Faggio comune | 0165000 | a | a | a | a | a | a | a |
| 25 | Ficus carica | Feige | Figuier | Fico | 0172200 | | | | | | | |
| 26 | Fraxinus excelsior | Esche | Frêne | Frassino comune | 0174200 | ex | ex | ex | c | ex | ex | c |
| 27 | Fraxinus ornus | Blumenesche | Frêne à fleurs | Frassino da manna | 0174300 | | | | | | | |
| 28 | Ilex aquifolium | Stechpalme | Houx | Agrifoglio | 0213300 | c | | c | c | c | a | a |
| 29 | Juglans regia | Nussbaum | Noyer | Noce comune | 0217500 | ex | ex | ex | ex | ex | ex | c |
| 30 | Juglans nigra | Schwarznuß | Noyer noir | | 0217510 | | | | | | | |
| 31 | Juniperus communis | Gewöhnlicher Wacholder | Genévrier commun | Ginepro comune | 0220400 | | | | | | | |
| 32 | Laburnum alpinum | Alpen-Goldregen | Cytise des Alpes | Maggiociondolo di mon | 0224200 | | | | c | | | |
| 33 | Laburnum anagyroides | Goldregen | Cytise faux ébénier | Maggiociondolo comun | 0224300 | | | | | | | |
| 34 | Larix decidua | Lärche | Mélèze | Larice comune | 0227200 | c | b | c | c | c | c | c |
| 35 | Laurus nobilis | Edellorbeer | Laurier noble | Alloro, Lauro | 0231500 | | | | | | c | c |
| 36 | Ligustrum lucidum | Baum-Liguster | Troène de Chine | | 0238050 | | | | | | | c |

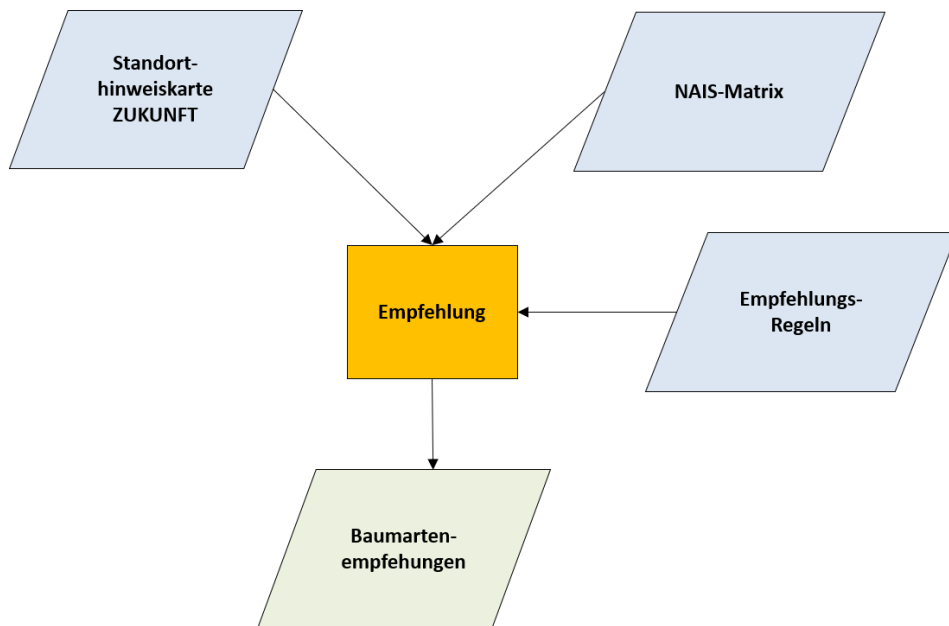


Abb. 5: Berechnung der Baumartenempfehlungen.

Tab. 5: Baumartenempfehlungen, heute mögliche Baumarten. Legende: a = dominante Naturwaldbaumart, b = wichtige beigemischte Naturwaldbaumart, c = weitere Baumart.

| Heute mögliche Baumarten | | | |
|--------------------------|-------------------|---|---|
| ID | Empfehlung | Schlüssel Zuordnung pro Klimazukunft (RCP 4.5, mässig und RCP 8.5, stark) | Zuordnung und Beschriftung in der Tree App |
| 1 | Empfohlen | Standortstyp Klimawandel mässig a und b, zudem Standortstyp heute a, b oder c | Empfohlen Schrift: Fett gross weiss und normal gross weiss |
| 2 | Bedingt empfohlen | Standortstyp Klimawandel mässig c, zudem Standortstyp heute a, b oder c | Bedingt empfohlen Schrift: Fett mittel weiss und normal mittel weiss |
| 3 | Gefährdet | Standortstyp heute a, b oder c, zudem Standortstyp Klimawandel mässig weder a, b oder c | Gefährdet Schrift: Fett klein weiss |
| | Achtung | Hier wird der Götterbaum eingefügt, falls er im Standortstyp Klimawandel mässig und im Standortstyp heute vorkommt. | |

Tab. 6: Baumartenempfehlungen, in Zukunft mögliche Baumarten. Legende: a = dominante Naturwaldbaumart, b = wichtige beigemischte Naturwaldbaumart, c = weitere Baumart.

| In Zukunft zusätzlich mögliche Baumarten | | | |
|--|---------------------------|--|---|
| ID | Empfehlung | Schlüssel Zuordnung pro Klimazukunft (RCP 4.5 und RCP 8.5) | Zuordnung und Beschriftung in der Tree App |
| 4 | Empfohlen Zukunft | Standortstyp Klimawandel mässig a und b, zudem Standortstyp heute weder a, b oder c | Empfohlen Zukunft Schrift: Fett mittel gelb und normal mittel gelb |
| 5 | Bedingt empfohlen Zukunft | Standortstyp Klimawandel mässig c, zudem Standortstyp heute weder a, b oder c | Bedingt empfohlen Zukunft Schrift: Fett klein gelb und normal klein gelb |
| | Achtung | Hier wird der Götterbaum eingefügt, falls er im Standortstyp Klimawandel mässig vorkommt im Standortstyp heute aber nicht. | |

Standorttypen, die bei der NaiS-Übersetzung Übergänge enthalten, werden nach einem speziellen Verfahren behandelt. Zuerst wird jeder der beiden Standorttypen separat berechnet, anschliessend wird die Baumartenempfehlung für beide Standorttypen des Übergangs-Standorttyp kombiniert (Tab. 7).

Tab. 7: Herleitung der möglichen Baumarten bei einem Übergang zwischen zwei NaiS-Standorttypen (aus Frehner & Zürcher-Gasser 2019). Legende: a = dominante Naturwaldbaumart, b = wichtige beigemischte Naturwaldbaumart, c = weitere Baumart. Bei „ex“ werden auch die „leeren“ Zellen zugeordnet.

| Standortstyp X | Standortstyp Y | Übergang X(Y) |
|----------------|----------------|---------------|
| a | a | a |
| a | b | a |
| a | c | b |
| a | ex | c |
| b | a | b |
| b | b | b |
| b | c | b |
| b | ex | c |
| c | a | b |
| c | b | c |
| c | c | c |
| c | ex | ex |
| ex | a | c |
| ex | b | c |
| ex | c | ex |
| ex | ex | ex |

3.5 Herleitung von sensitiven Standorten

Auf Basis der Karten zu den Baumartenempfehlungen werden die Karten der sensitiven Standorte erstellt. Diese können direkt aus den Baumartenempfehlungen abgeleitet werden.

Sensitive Standorte sind Flächen, in denen die Übereinstimmung zwischen Baumarten, die beim heutigen Standorttyp vorkommen können und Baumarten, die beim Standorttyp Zukunft vorkommen können, schlecht ist. Sensitive Standorte sind unabhängig vom aktuellen Bestand. Es ist aber normalerweise so, dass auf sensitiven Standorten auch sensitive Bestände vorhanden sind.

Herleitung sensitiver Standorte

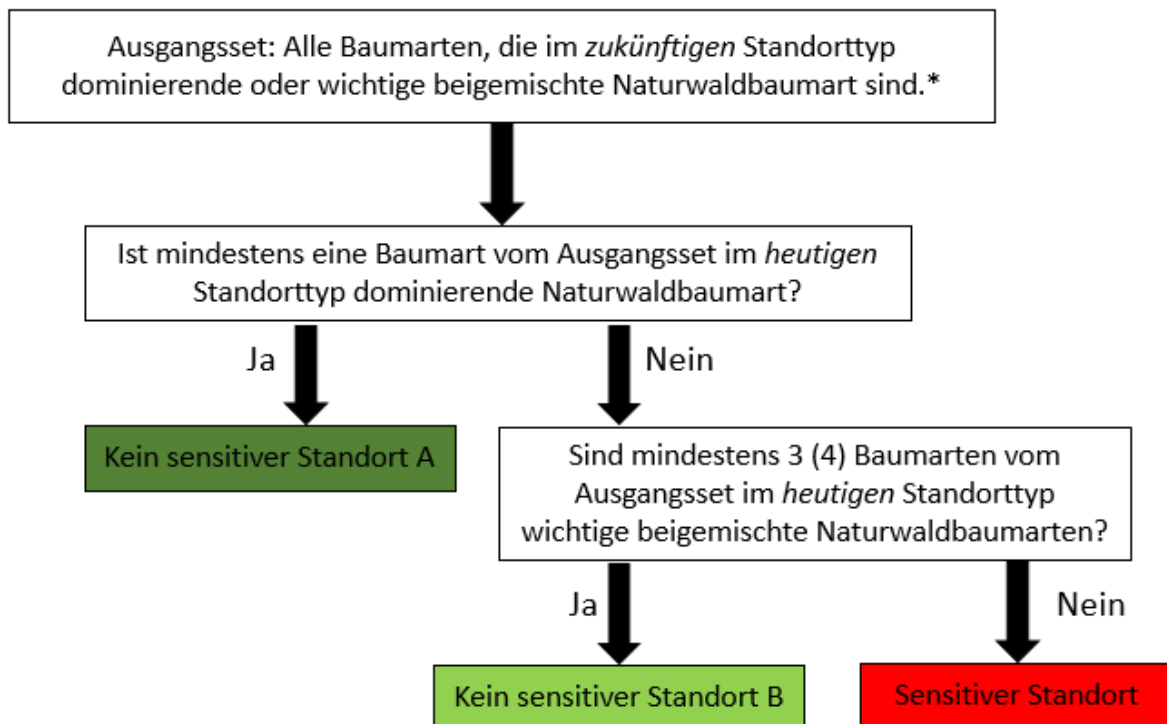


Abb. 6: Herleitung sensitiver Standorte. Als zukünftiger Standorttyp wird entweder der Standorttyp nach RCP 4.5 oder der Standorttyp nach RCP 8.5 verwendet. *Die krankheitsgefährdeten Baumarten Esche, Bergulme, Feldulme und Kastanie werden dabei nicht berücksichtigt.

Wie in Abb. 6 ersichtlich, sind somit auf einem sensitiven Standort keine Baumarten vorhanden, die heute im Naturwald dominieren und auch in Zukunft im Naturwald dominieren oder wichtige beigemischte Naturwaldbaumarten sind. Es sind maximal zwei (oder 3) Baumarten vorhanden, die heute im Naturwald eine wichtige beigemischte Naturwaldbaumart sind und auch in Zukunft im Naturwald dominieren oder eine wichtige beigemischte Naturwaldbaumart sind. Die Herleitung der sensitiven Standorte wird jeweils für RCP 4.5 und für RCP 8.5 nach Abb. 6 gemacht.

Tab. 8: Beispiele für Kombinationen von NaiS-Standorttypen heute und Zukunft. Legende: a = dominante Naturwaldbaumart, b = wichtige beigemischte Naturwaldbaumart.

| NaiS-Standorttyp heute | NaiS-Standorttyp Zukunft | Baumarten mit a bei heutigem Standorttyp und a oder b beim Standorttyp Zukunft | Baumarten mit b bei heutigem Standorttyp und a oder b beim Standorttyp Zukunft | Sensitiver Standort bei 3 Baumarten mit b bei heutigem Standorttyp und a oder b beim Standorttyp Zukunft | Sensitiver Standort bei 4 Baumarten mit b bei heutigem Standorttyp und a oder b beim Standorttyp Zukunft |
|-------------------------------|---------------------------------|---|---|---|---|
| 18M | 9a | Buche | Bergahorn, Esche | nein | nein |
| 50 | 8S | Tanne | Bergahorn | nein | nein |
| 50 | 7S | - | Bergahorn | ja | ja |
| 50* | 9a | - | Bergahorn | ja | ja |
| 51 | 6 | - | - | ja | ja |

3.6 Resultate Automatisierung der Baumartenempfehlungen

Das Ergebnis des ersten Zwischenschrittes bei der Herleitung der Baumartenempfehlungen ist eine Waldstandortkarte für heute und für jedes der beiden Klimaszenarien RCP 4.5 oder RCP 8.5. Diese Karten verwenden die Standorttypen der NaiS-Klassifikation, die nicht in die FL Einheiten übersetzt wurden. Die Information über den zukünftigen Standorttyp ist in den Spalten „NAISzukunft1“ und „NAISzukunft2“ des Datensatzes zu den Baumartenempfehlungen gespeichert. Die Spalte „NAISzukunft1“ beschreibt den zukünftigen Standorttyp in der NaiS-Klassifikation. Wenn es in der Spalte „NAISzukunft2“ einen Wert hat, so stellt der zukünftige Standorttyp einen Übergang zwischen zwei Standorttypen dar.

Das Hauptergebnis ist eine Karte mit den Baumartenempfehlungen für jeden Wuchsort. Dieser Datensatz enthält für jeden Standorttyp die Baumartenempfehlungen nach der Methode Frehner & Zürcher-Gasser (2019), wie sie auch in der Tree App umgesetzt wurden. Jede Baumart hat eine eigene Spalte, die Spaltennamen sind nach den Kürzeln der Baumarten benannt. Für jede Baumart gibt es einen Kartenlayer (insgesamt wurden 83 Baumarten behandelt).

Tab. 9: Kategorien der Karte der Baumartenempfehlungen.

| Kategorie | Definition / Kartenlegende |
|-----------|--|
| -999 | keine Angabe (das sind alle Flächen, für die in der NaiS-Matrix-Tabelle keine Information vorhanden ist. D.h. die Baumart ist weder beim Standorttyp heute noch beim Standorttyp Zukunft als dominierende oder wichtige beigemischte Naturwaldbaumart oder als weitere Baumart aufgeführt) |
| 1 | empfohlen |
| 2 | bedingt empfohlen |
| 3 | gefährdet |
| 4 | in Zukunft empfohlen |
| 5 | in Zukunft bedingt empfohlen |

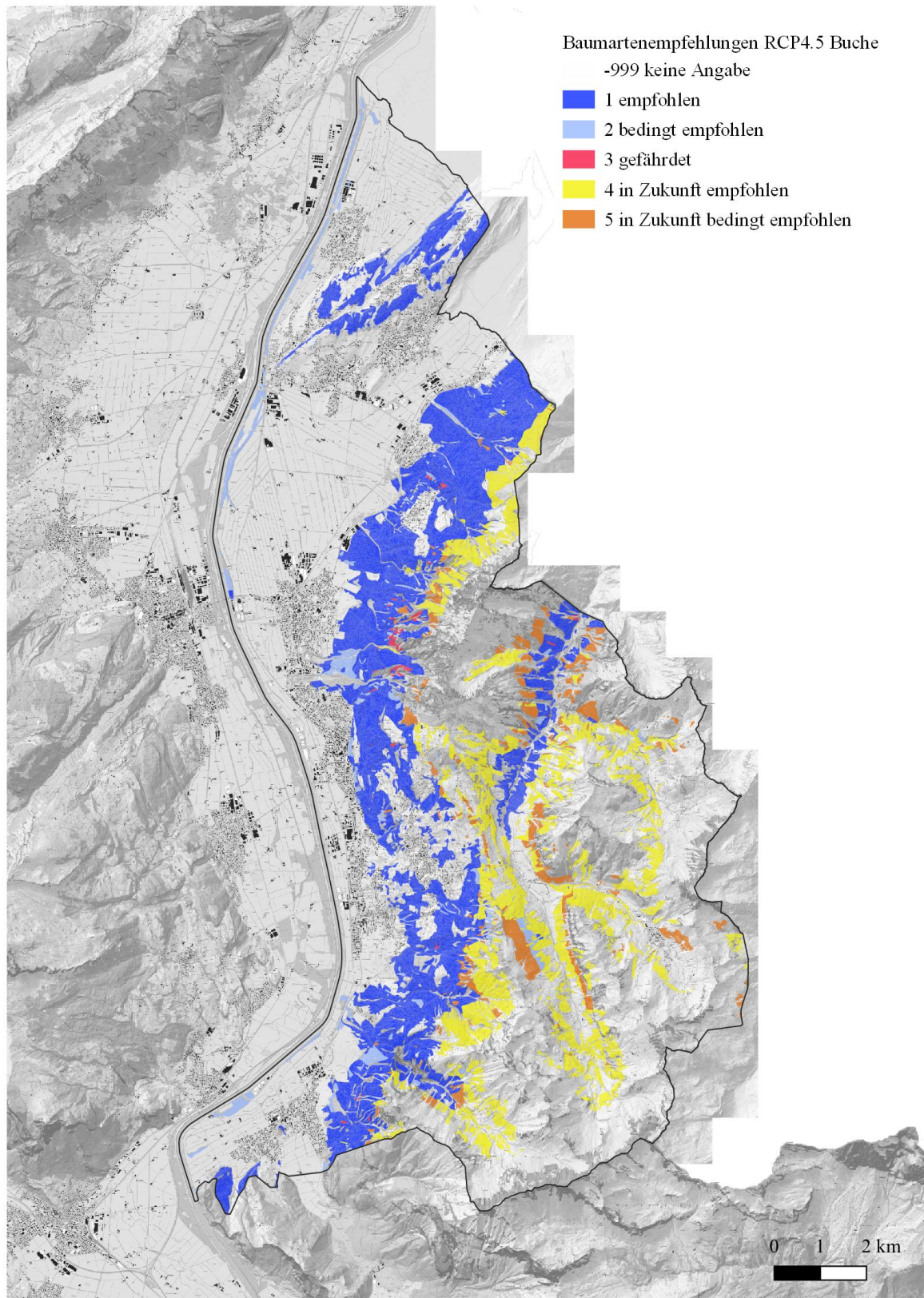


Abb. 7: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Buche im Klimaszenario RCP 4.5 (mässiger Klimawandel).

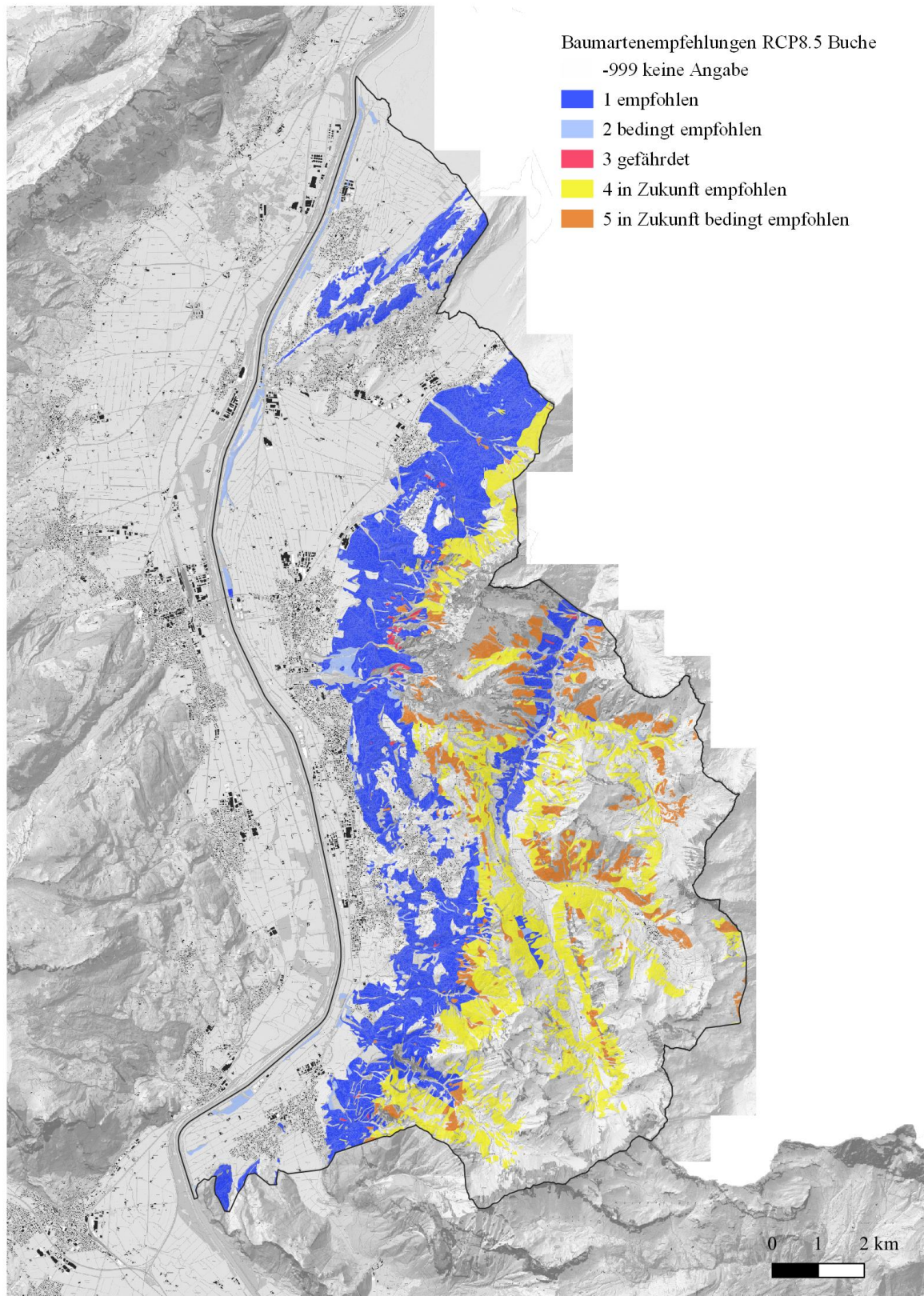


Abb. 8: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Buche im Klimaszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel).

Sowohl bei RCP 4.5 als auch 8.5 gilt die Buche in den tiefen und mittleren Lagen meistens als «empfohlen», nur kleinflächig als „gefährdet“. In hohen Lagen gilt sie in einem grossen Teil des Gebietes als „in Zukunft empfohlen“ oder als „in Zukunft bedingt empfohlen“.

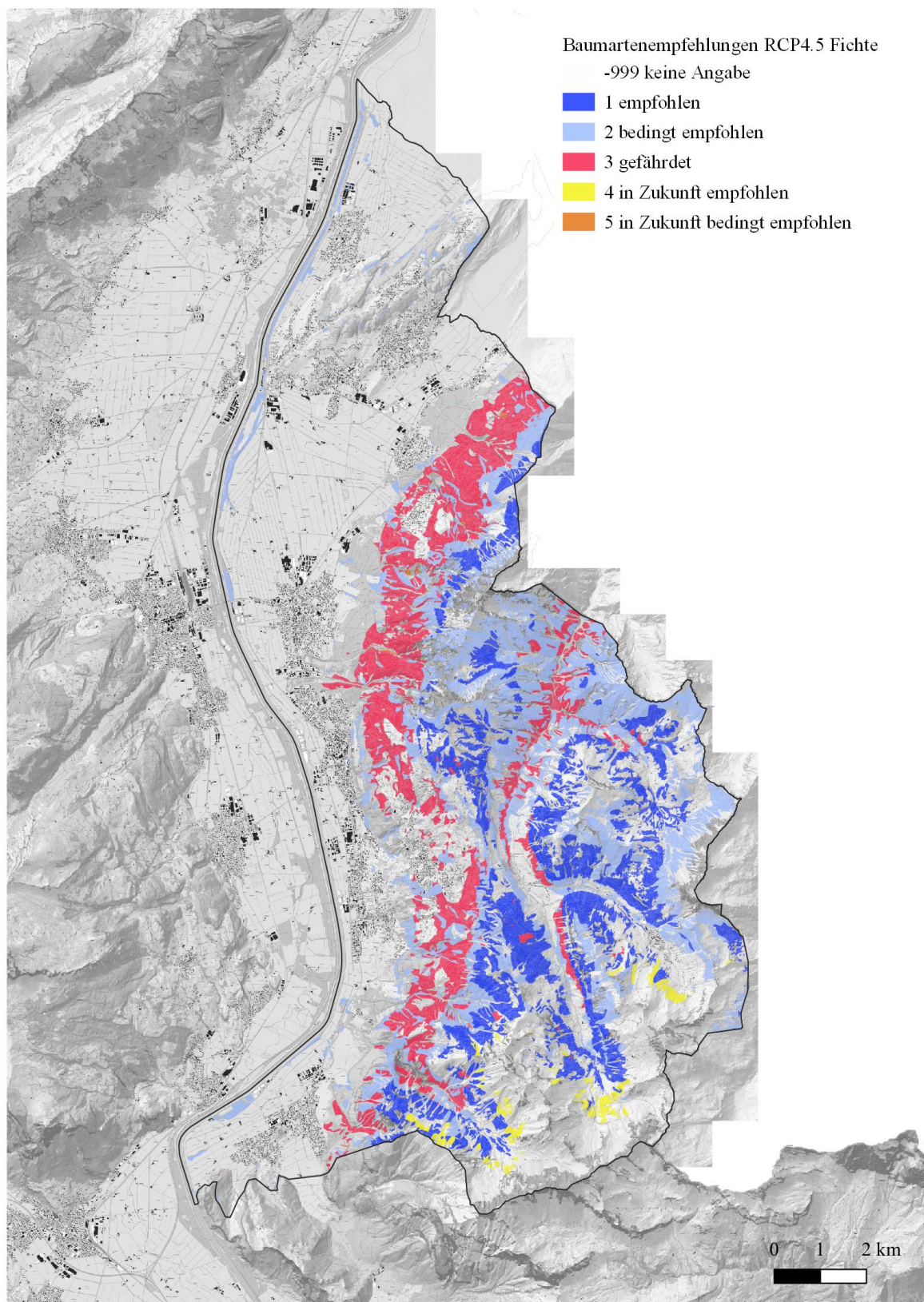


Abb. 9: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Fichte im Klimaszenario RCP 4.5 (mässiger Klimawandel).

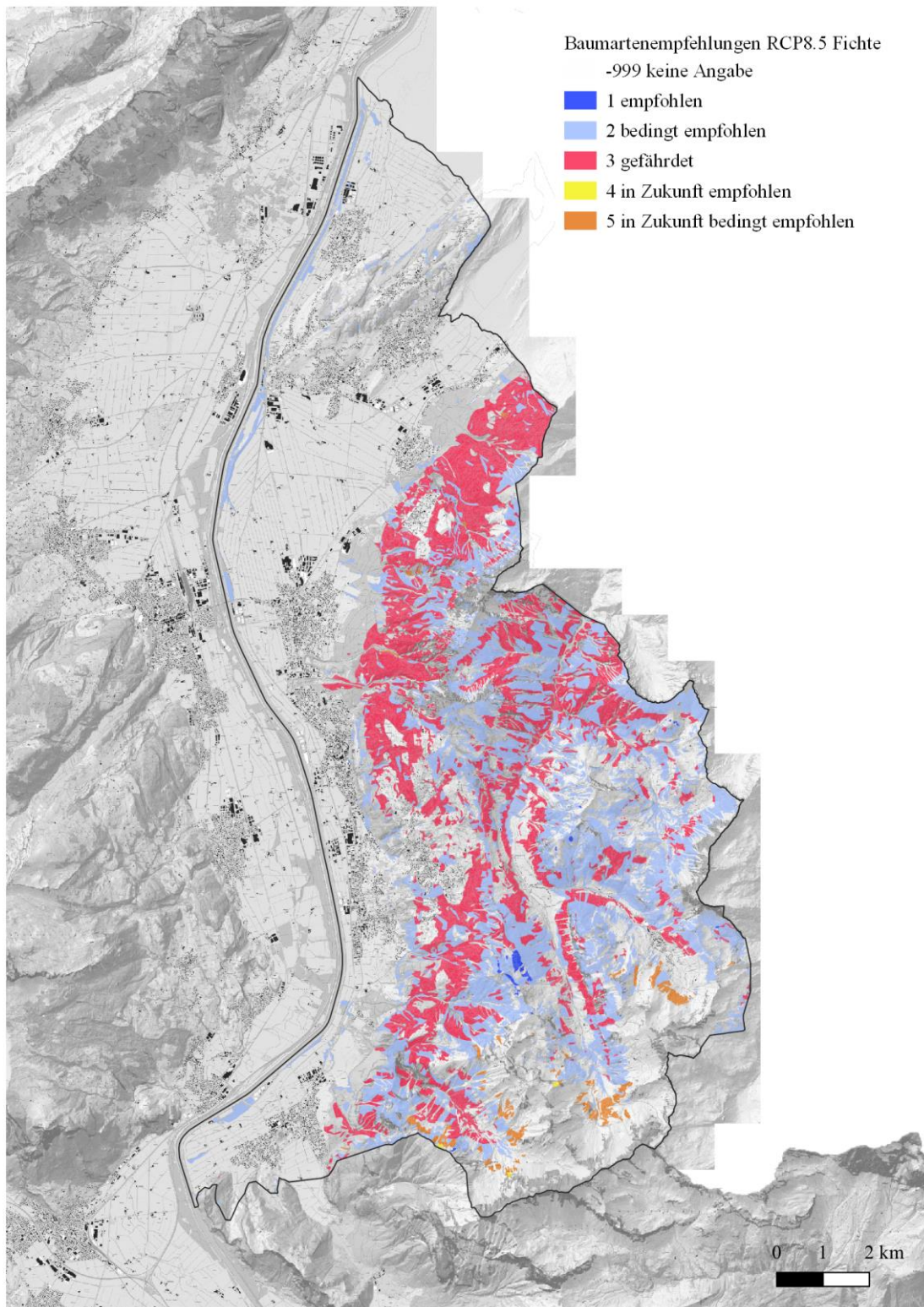


Abb. 10: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Fichte im Klimaszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel).

Die Fichte wird beim mässigen Klimawandel (RCP 4.5) in hohen Lagen noch „empfohlen“, in den mittleren Lagen „bedingt empfohlen“, in den tiefen Lagen gilt sie als „gefährdet“. Beim starken Klimawandel (RCP 8.5) wird sie in den hohen und teils in den mittleren Lagen nur noch „bedingt empfohlen“. In den tiefen und teils auch in den mittleren Lagen gilt sie als „gefährdet“.

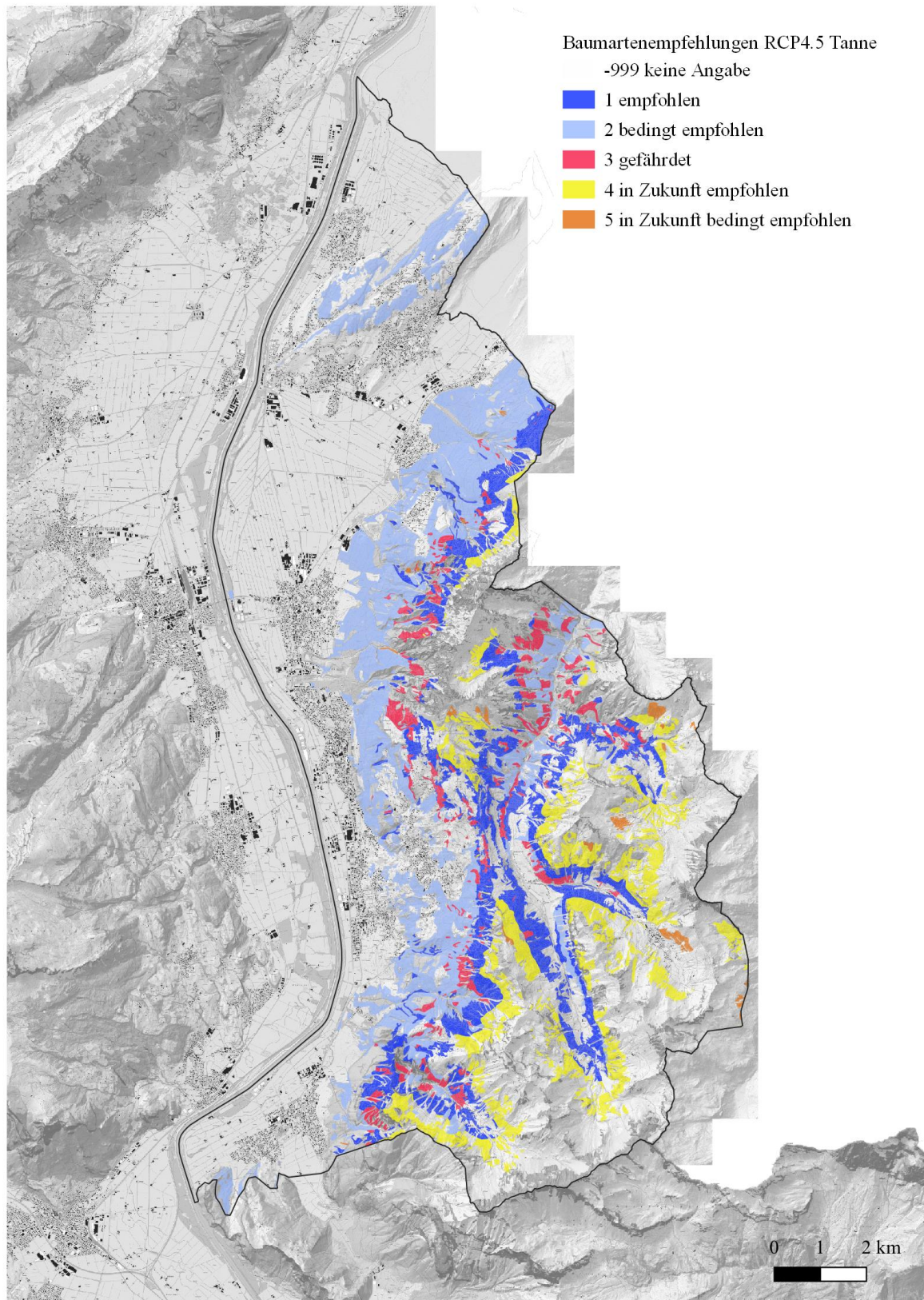


Abb. 11: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Tanne im Klimaszenario RCP 4.5 (starker Klimawandel).

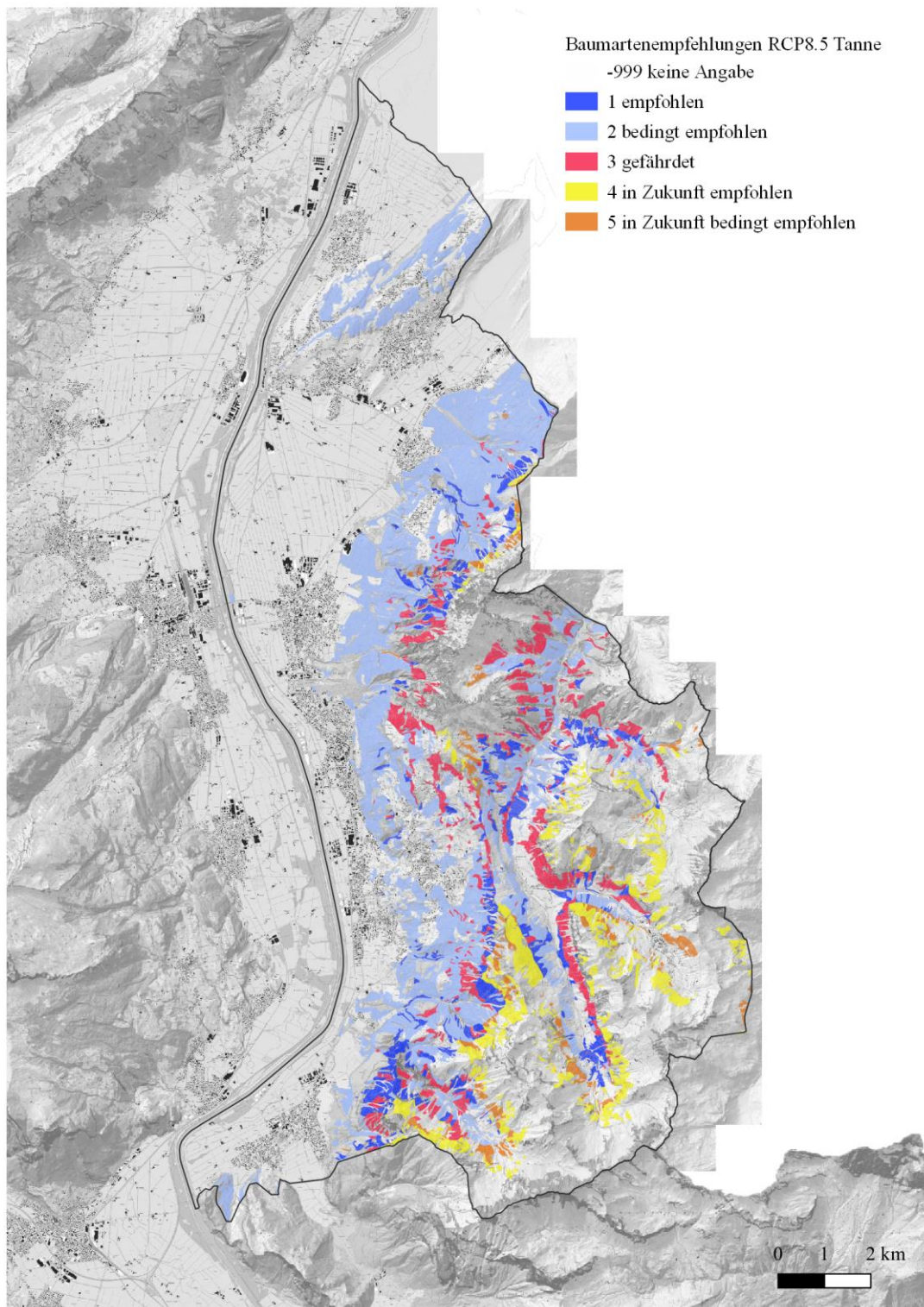


Abb. 12: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Tanne im Klimaszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel).

Die Tanne wird beim mässigen Klimawandel (RCP 4.5) in grossen Teilen der tiefen „bedingt empfohlen“ und der mittleren Lagen „empfohlen“, nur auf trockenen Standorttypen gilt sie als „gefährdet“. In den hohen Lagen gilt sie oft als „in Zukunft empfohlen“. Beim starken Klimawandel (RCP 8.5) wird sie grossen Teilen der tiefen und mittleren Lagen „bedingt empfohlen“ oder stellenweise auch als „empfohlen“, nur auf mässig trockenen und trockenen Standorttypen gilt sie als „gefährdet“. In den hohen Lagen gilt sie oft als „in Zukunft empfohlen“.

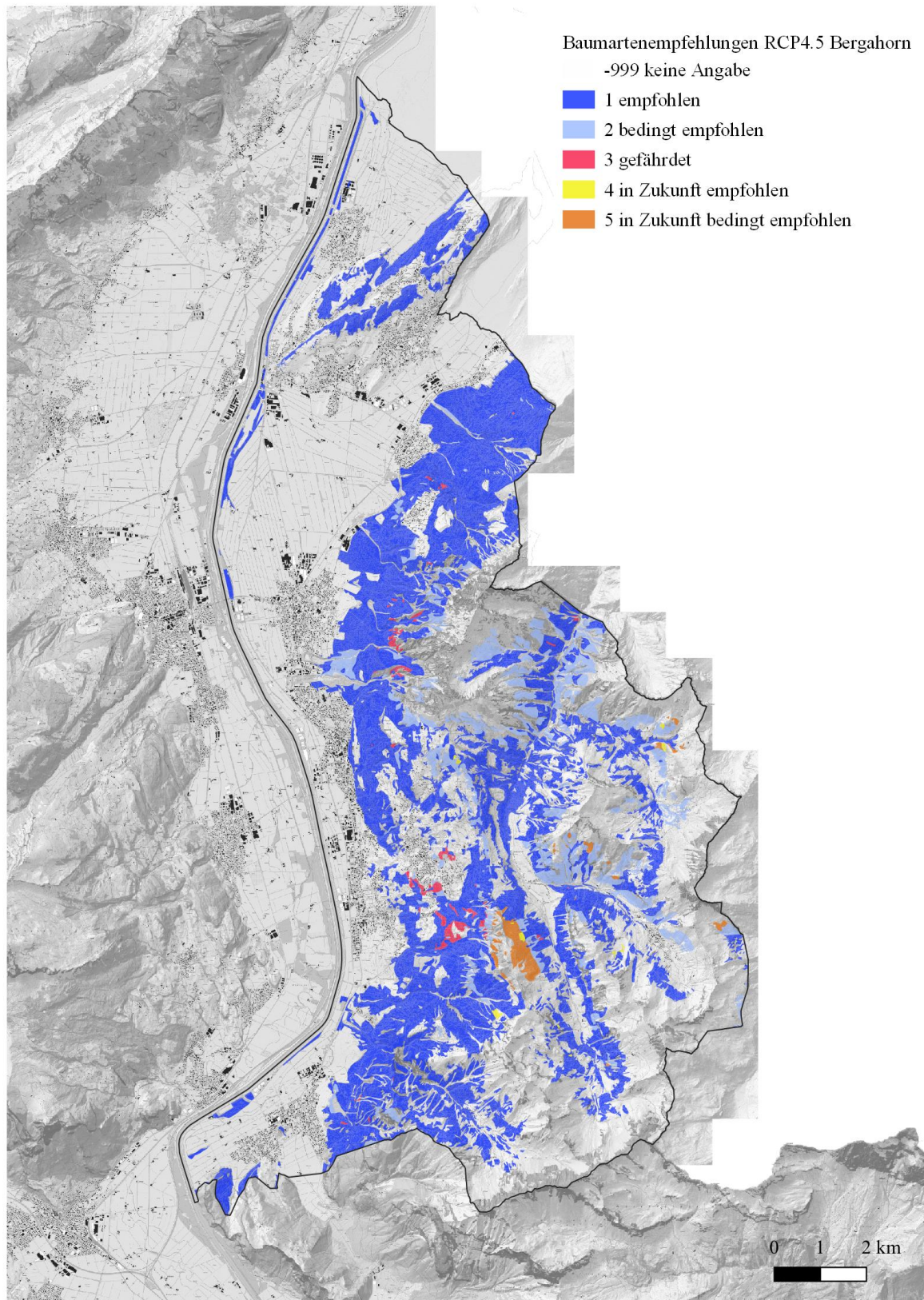


Abb. 13: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel des Bergahorns im Klimaszenario RCP 4.5 (starker Klimawandel).

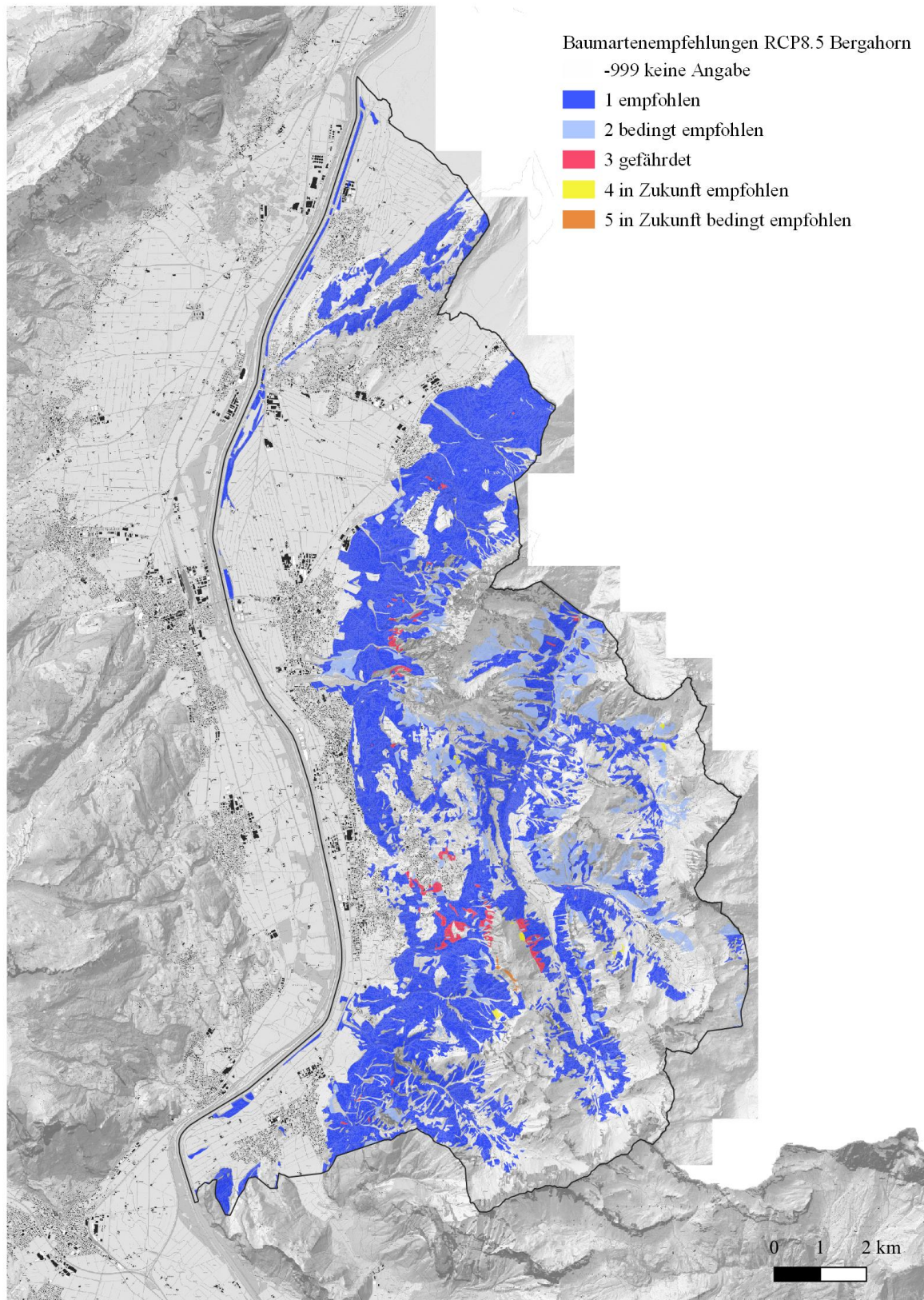


Abb. 14: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel des Bergahorns im Klimaszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel).

Sowohl bei RCP 4.5 als auch 8.5 gilt der Bergahorn grossflächig als «empfohlen».

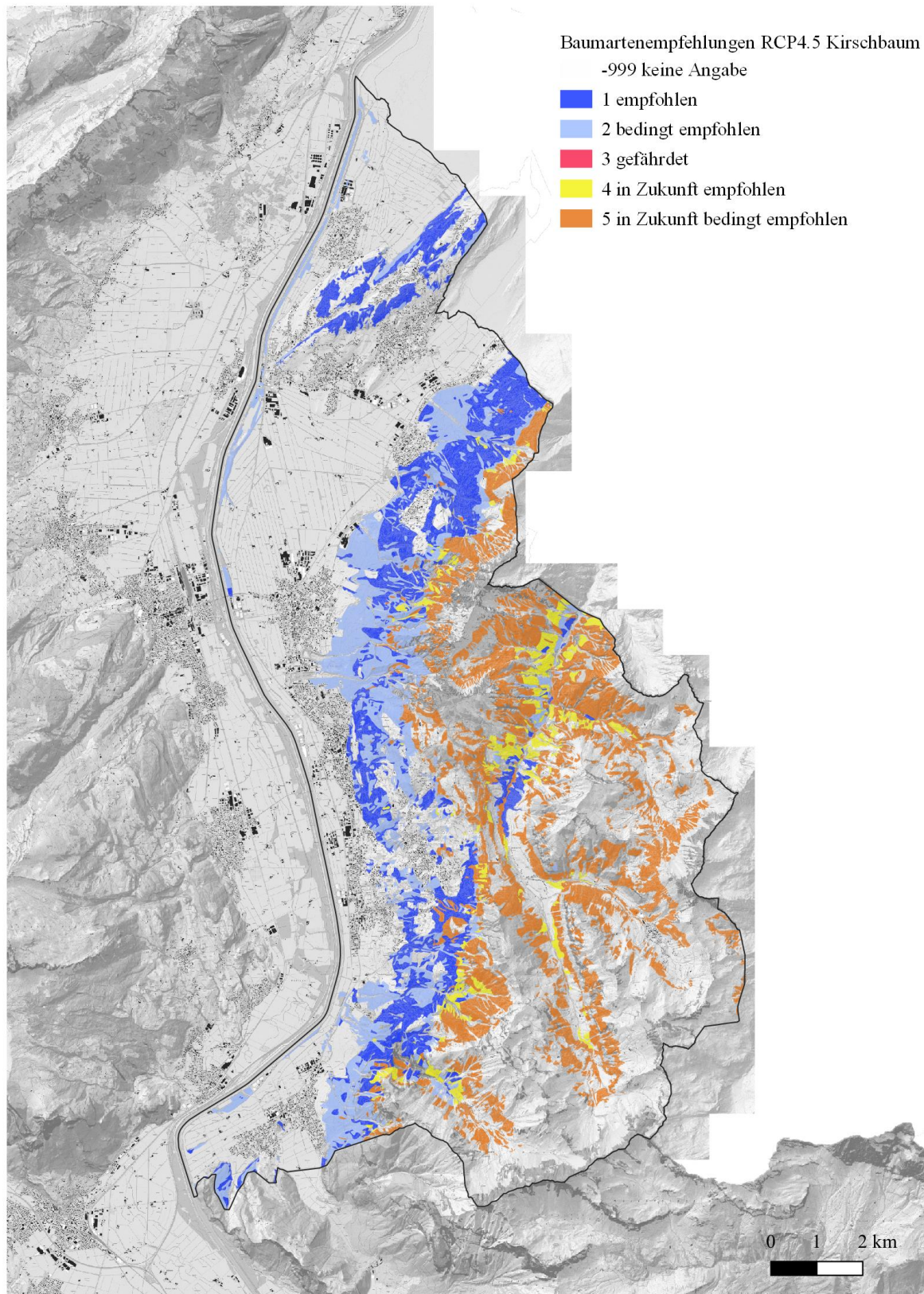


Abb. 15: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel des Kirschbaums im Klimaszenario RCP 4.5 (starker Klimawandel).

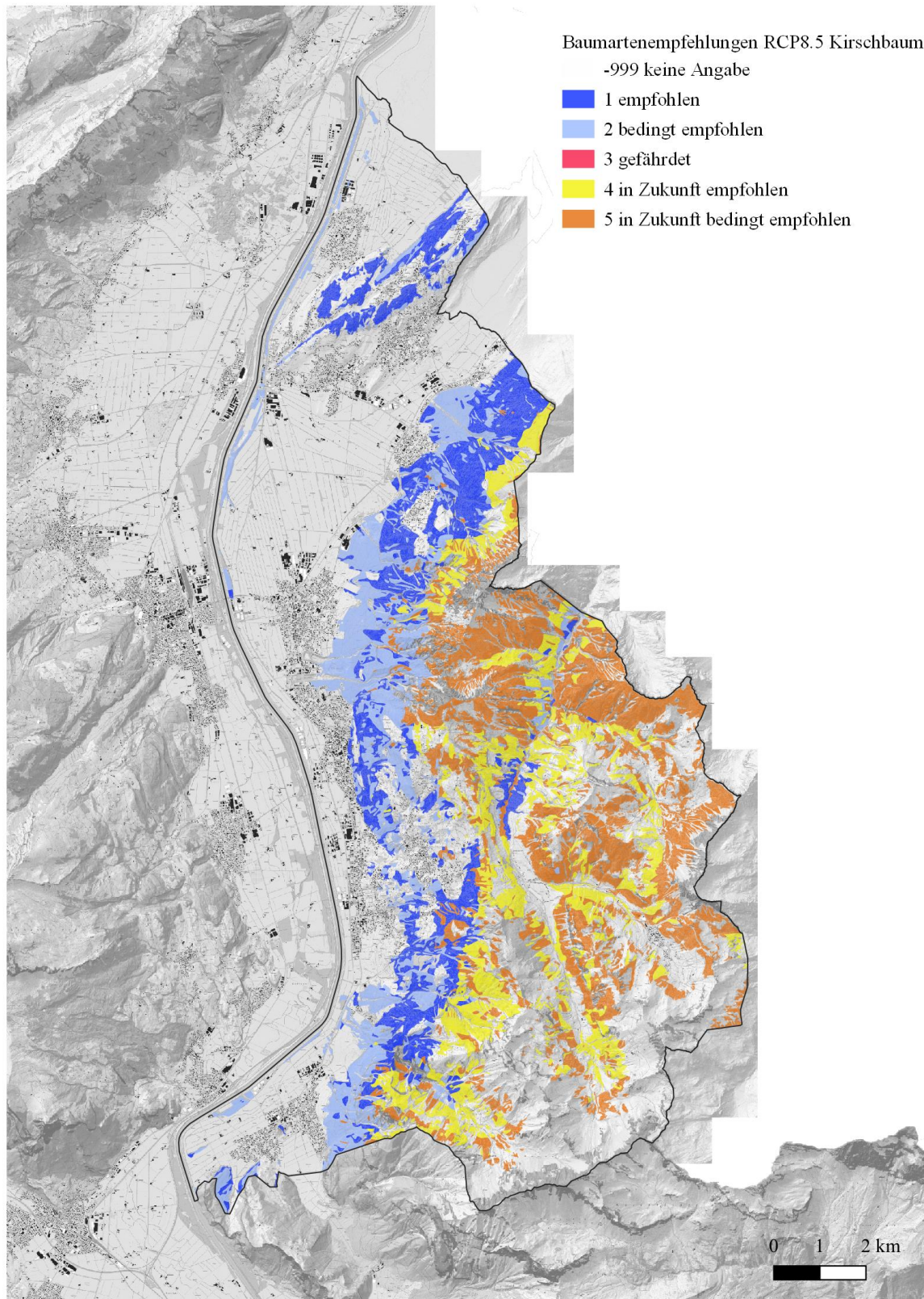


Abb. 16: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel des Kirschbaums im Klimaszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel).

Sowohl bei RCP 4.5 als auch 8.5 gilt der Kirschbaum in den unteren Lagen grossflächig als «empfohlen» oder «bedingt empfohlen» und in den mittleren und oberen Lagen als «in Zukunft empfohlen» oder «in Zukunft bedingt empfohlen».

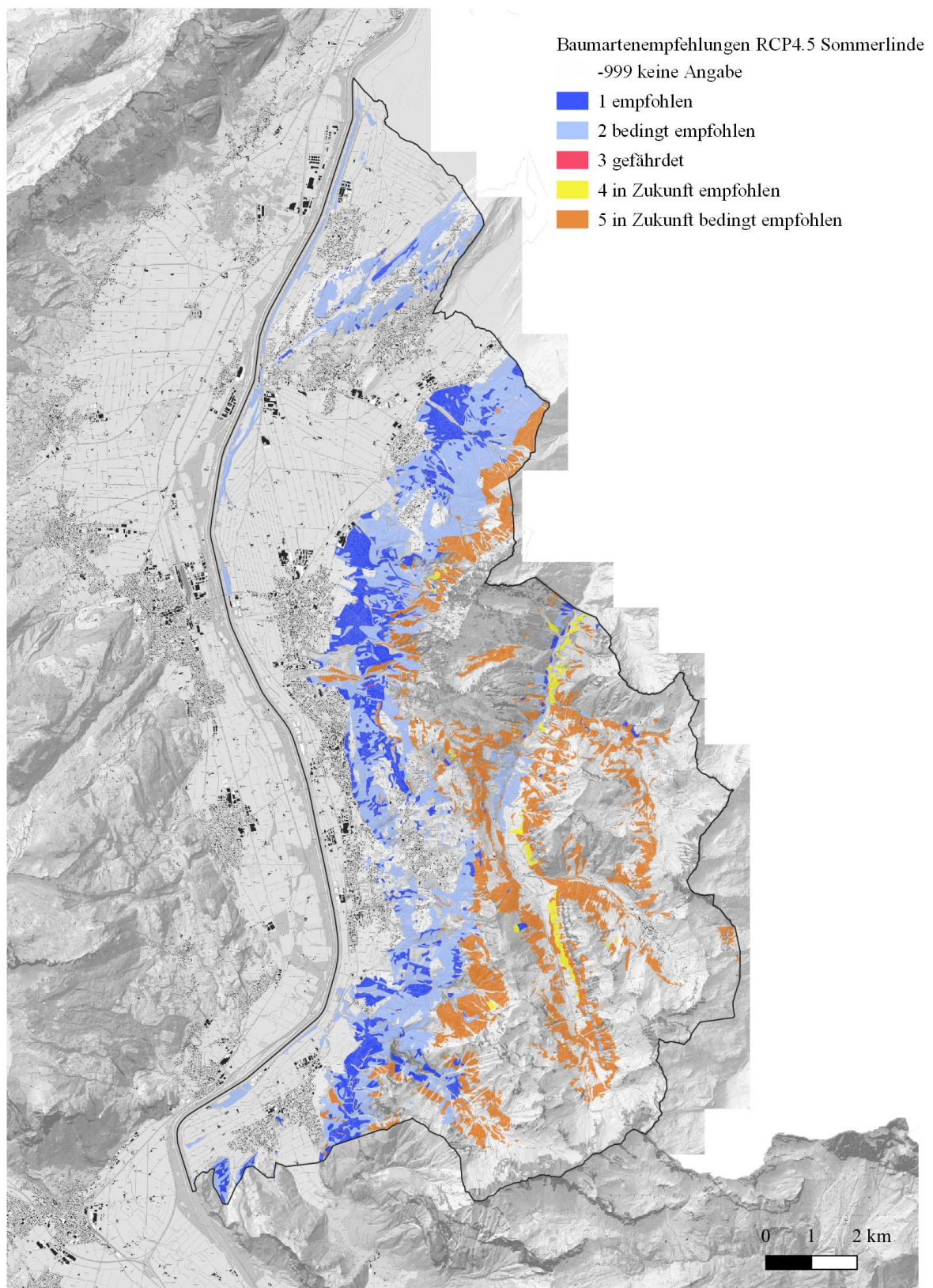


Abb. 17: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Sommerlinde im Klimaszenario RCP 4.5 (starker Klimawandel).

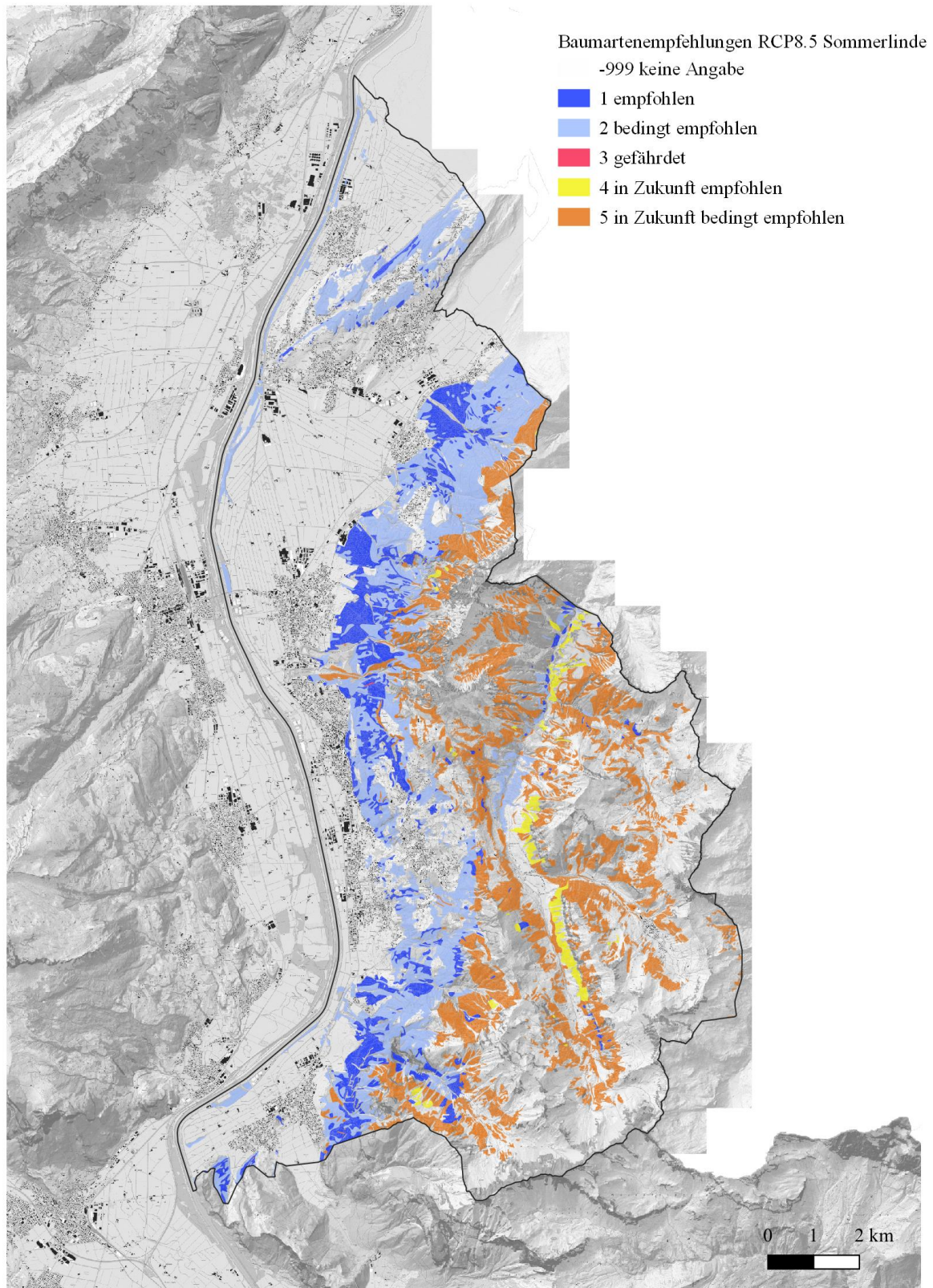


Abb. 18: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Sommerlinde im Klimaszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel).

Sowohl bei RCP 4.5 als auch 8.5 gilt die Sommerlinde in den unteren Lagen oft als «bedingt empfohlen» oder «empfohlen». In den mittleren und oberen Lagen gilt sie oft als «in Zukunft bedingt empfohlen» und stellenweise auch als «in Zukunft empfohlen».

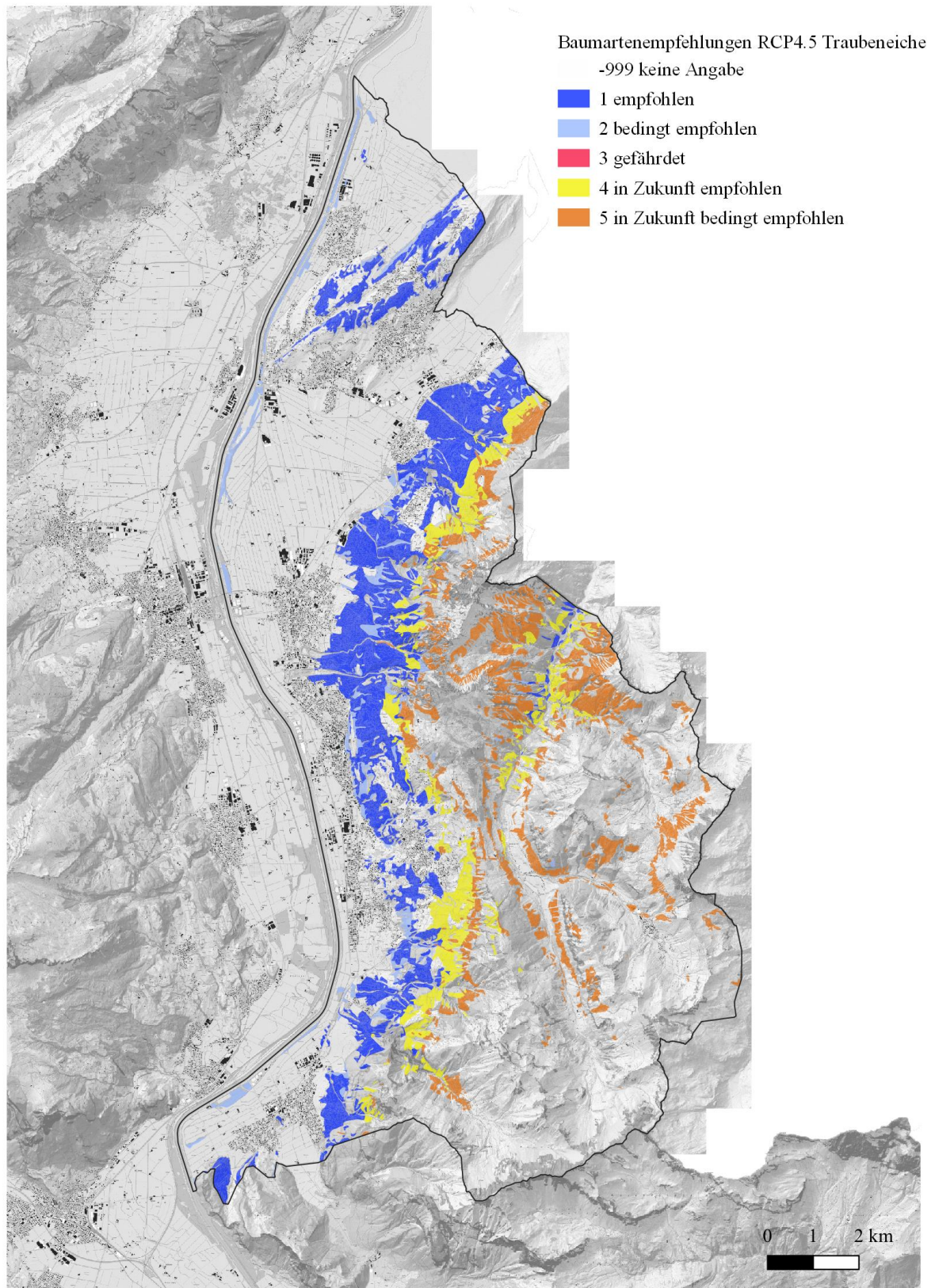


Abb. 19: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Traubeneiche im Klimaszenario RCP 4.5 (starker Klimawandel).

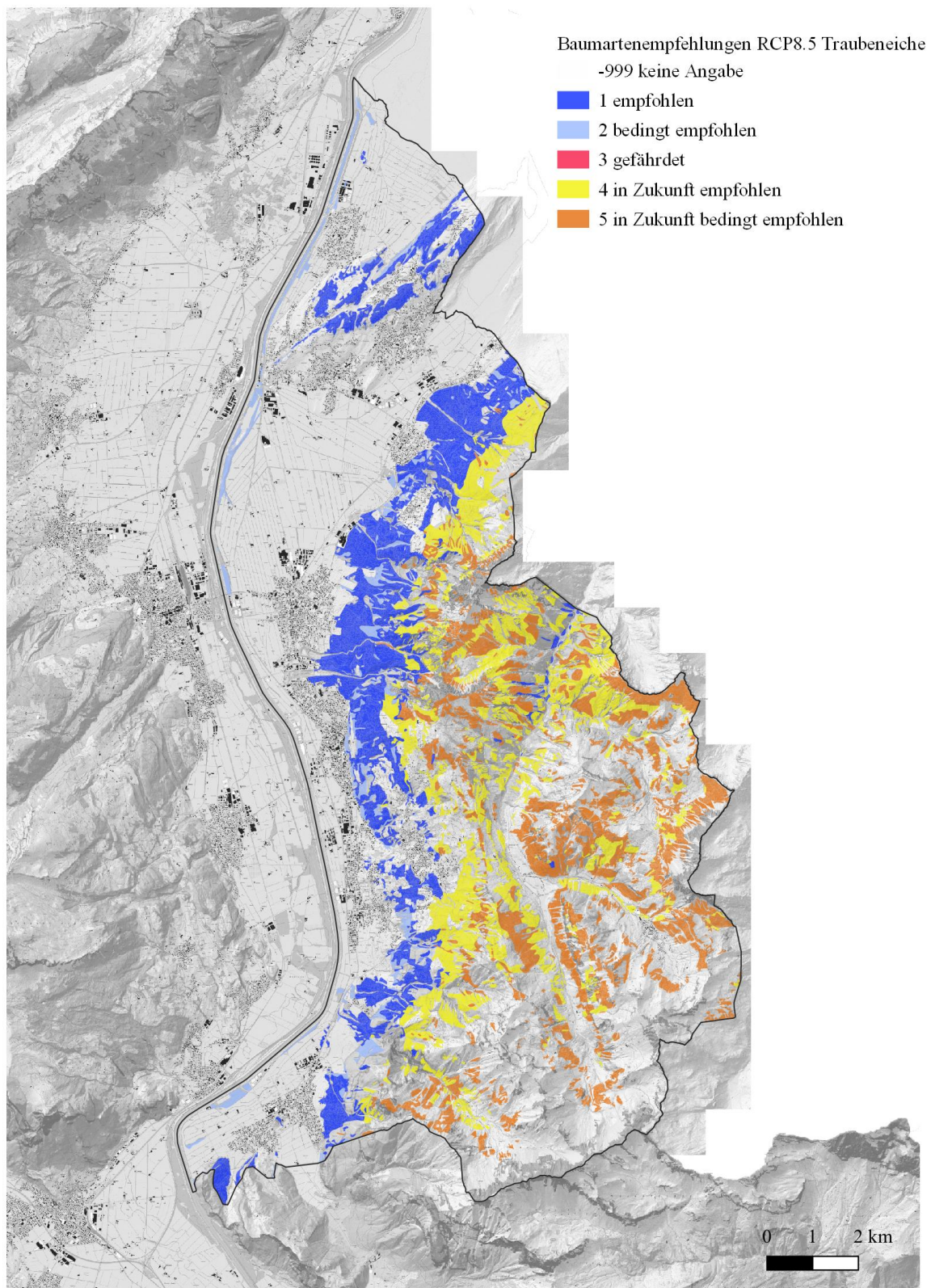


Abb. 20: Karte der Baumartenempfehlungen, dargestellt am Beispiel der Traubeneiche im Klimaszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel).

Sowohl bei RCP 4.5 als auch 8.5 gilt die Traubeneiche in den unteren Lagen zum grossen Teil als «empfohlen». In den mittleren und oberen Lagen gilt sie oft als «in Zukunft empfohlen» oder als «in Zukunft bedingt empfohlen».

Der Datensatz des Verschnitts zwischen der Standortkarte und den Höhenstufen enthält die Ergebnisse der Projektionswege (zukünftige Standorttypen) und die folgenden Angaben (Spalten):

Tab. 10: Enthaltene Angaben im Datensatz „zukünftige Standortstypen“.

| Spaltenangaben | Erklärungen |
|----------------|--|
| NAISbgcor1 | NAIS Standortstyp übersetzt aus der Standortkarte heute |
| NAISbgcor2 | NAIS Standortstyp eines Übergangs oder Mosaik übersetzt aus der Standortkarte heute (zweiter Teil des Übergangs) |
| NAIShs1 | Höhenstufe heute |
| NAIShs2 | Höhenstufe heute, Nebenstandort (bei Übergangstandort) |
| HS_Zukunftcor | Höhenstufe Zukunft, korrigiert |
| NAISzukunft1 | NAIS Standortstyp in Zukunft |
| NAISzukunft2 | NAIS Standortstyp in Zukunft (falls Standortstyp ein Übergang ist) |

3.7 Resultate Sensitive Standorte

Zu den sensitiven Standorten gibt es je einen Layer für den Schwellenwert von 3 oder 4 Baumarten für RCP 4.5 (Abb. 21 und 22) und RCP 8.5 (Abb. 23 und 24).

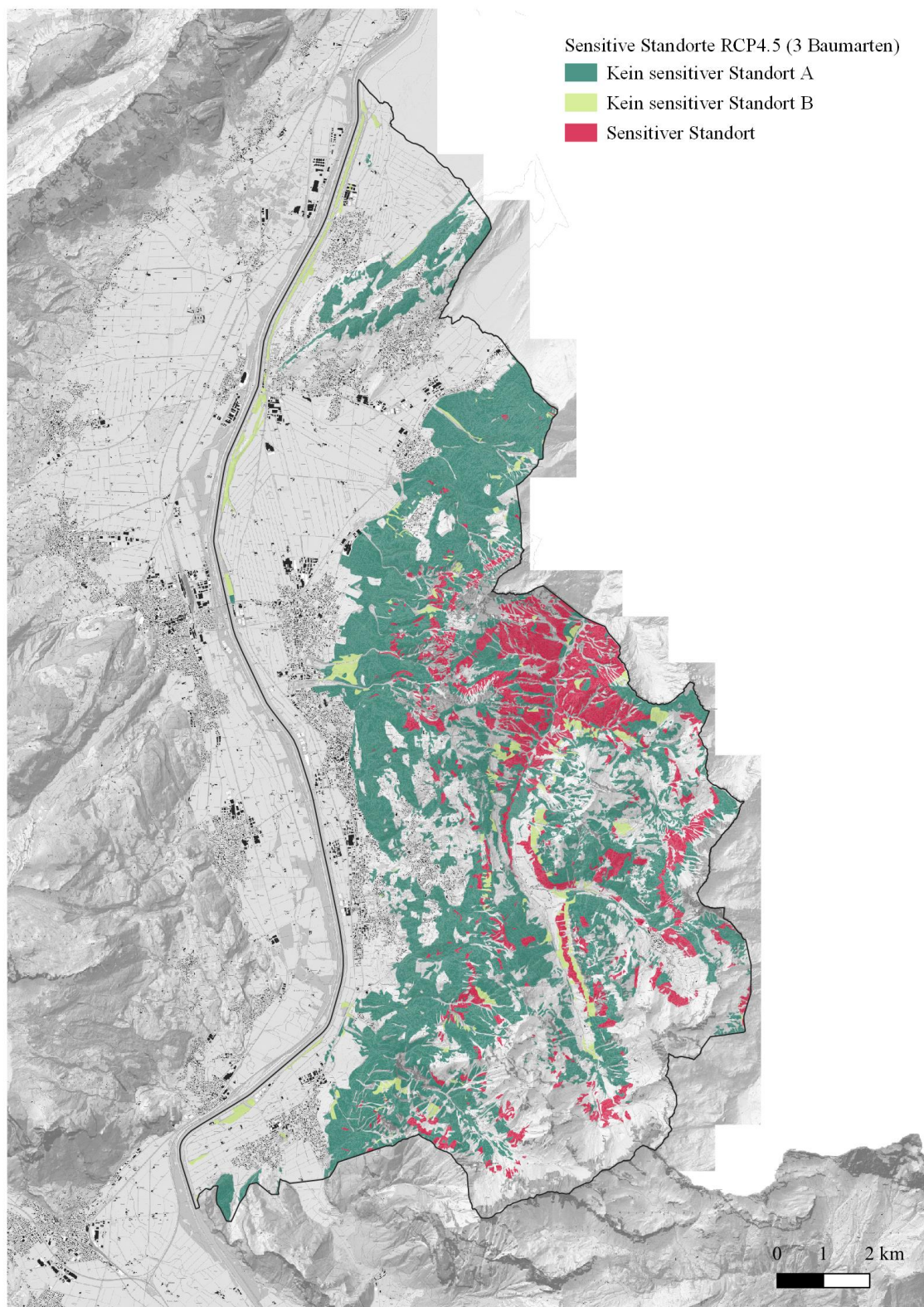


Abb. 21: Karte der sensitiven Standorte für das Emissionsszenario RCP 4.5 (mässiger Klimawandel), Schwellenwert von 3 Baumarten. Legende: Dunkelgrün: Kein sensitiver Standort A (heute mind. 1 Baumart dominierende Naturwaldbaumart [NWBA], die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist). Hellgrün: Kein sensitiver Standort B (heute mind. 3 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA sind). Rot: Sensitiver Standort (heute weniger als 3 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist).

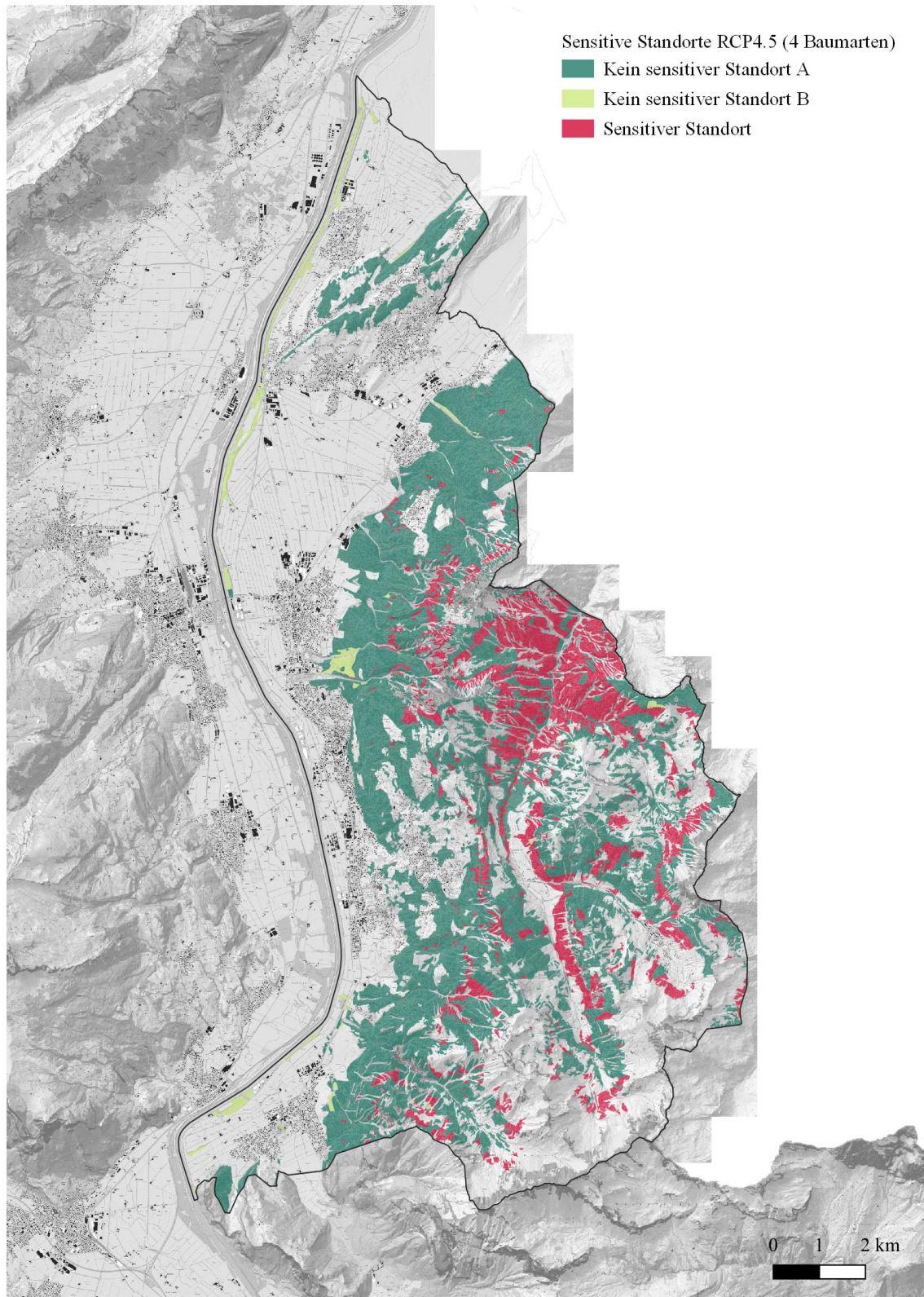


Abb. 22: Karte der sensitiven Standorte für das Emissionsszenario RCP 4.5 (mässiger Klimawandel), Schwellenwert von 4 Baumarten. Legende: Dunkelgrün: Kein sensitiver Standort A (heute mind. 1 Baumart dominierende Naturwaldbaumart [NWBA], die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist). Hellgrün: Kein sensitiver Standort B (heute mind. 4 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA sind). Rot: Sensitiver Standort (heute weniger als 4 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist).

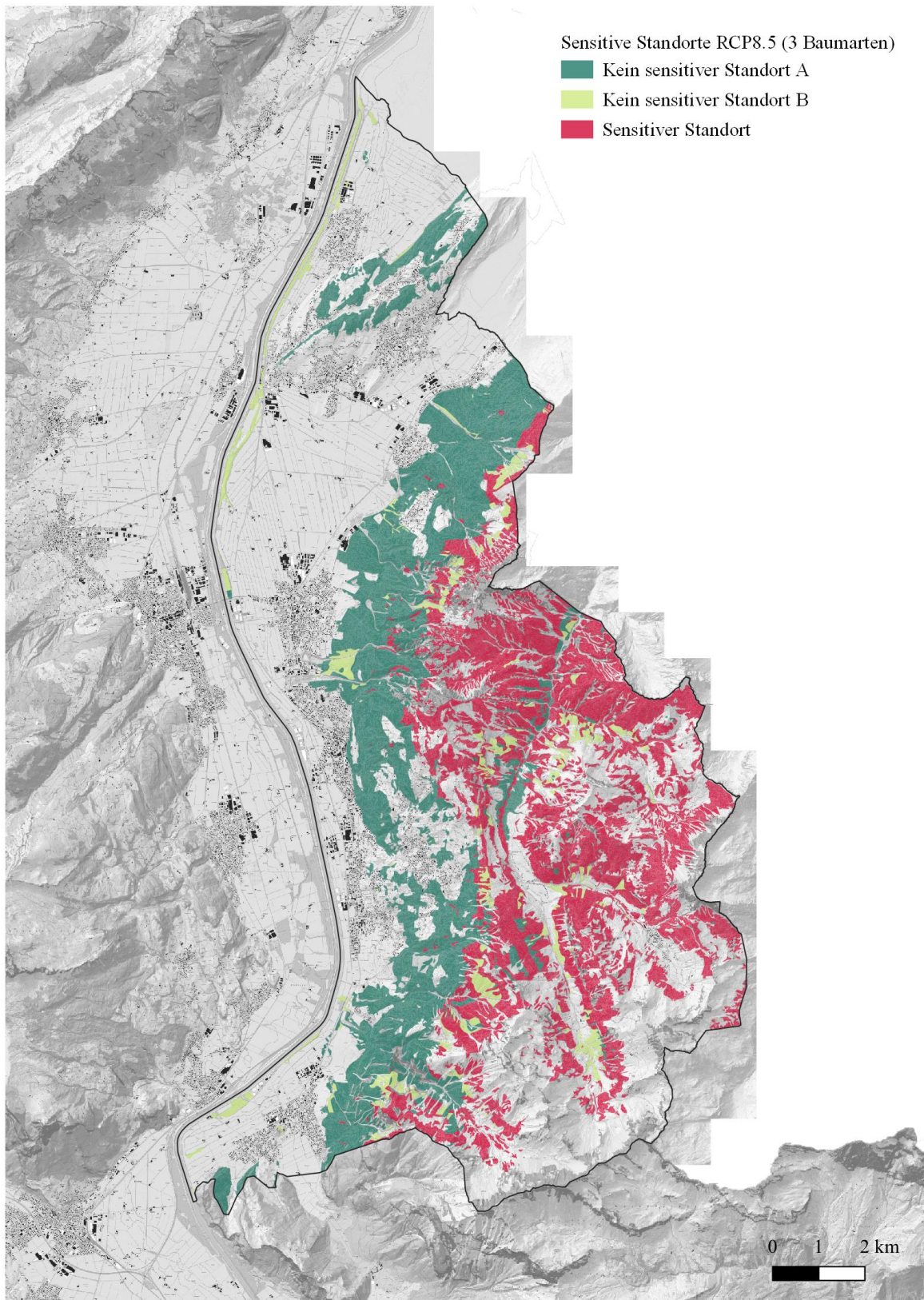


Abb. 23: Karte der sensitiven Standorte für das Emissionsszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel), Schwellenwert von 3 Baumarten. Legende: Dunkelgrün: Kein sensitiver Standort A (heute mind. 1 Baumart dominierende Naturwaldbaumart [NWBA], die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist). Hellgrün: Kein sensitiver Standort B (heute mind. 3 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA sind). Rot: Sensitiver Standort (heute weniger als 3 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist).

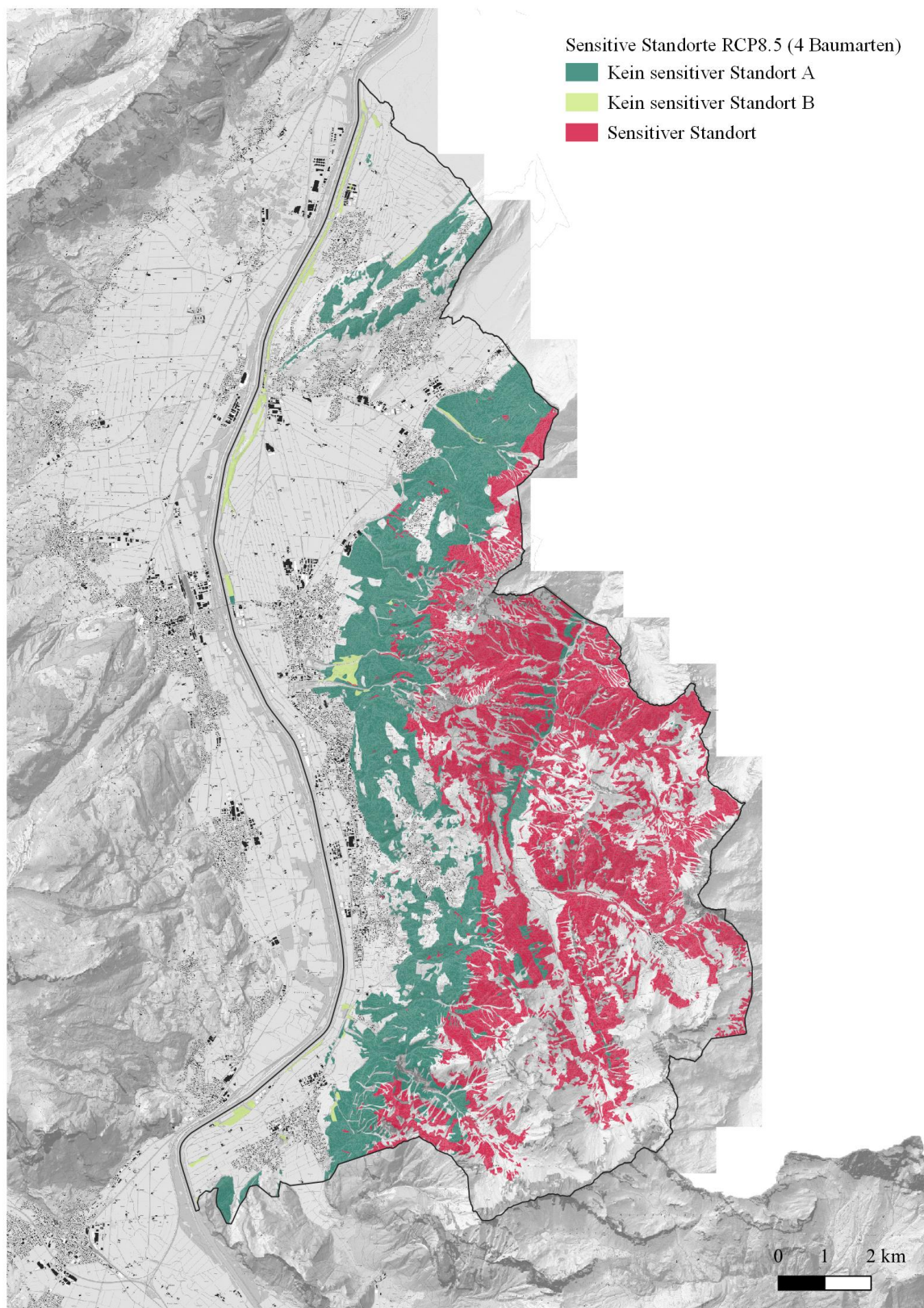


Abb. 24: Karte der sensitiven Standorte für das Emissionsszenario RCP 8.5 (starker Klimawandel), Schwellenwert von 4 Baumarten. Legende: Dunkelgrün: Kein sensitiver Standort A (heute mind. 1 Baumart dominierende Naturwaldbaumart [NWBA], die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist). Hellgrün: Kein sensitiver Standort B (heute mind. 4 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA sind). Rot: Sensitiver Standort (heute weniger als 4 Baumarten wichtige beigemischte NWBA, die in Zukunft dominierende oder wichtige beigemischte NWBA ist).

In den unteren Lagen sind werden die heutigen Erika-Föhrenwälder (65) in Zukunft bei RCP4.5 und RCP8.5 als Gamander-Eichenwälder (40*) modelliert, dadurch entsteht ein Baumartenwechsel und diese Flächen werden als sensitiv bezeichnet.

Grosse sensitive Flächen entstehen wenn die heutige hochmontane und subalpine Stufe in Zukunft zur sub- oder untermontanen Stufe wechselt, diese Fälle sind bei RCP8.5 deutlich häufiger als bei RCP4.5, dies ist auch in Tab. 11 ersichtlich.

Um genauere Informationen zur Ursache der Sensitivität zu erhalten, kann bei jeder Fläche die Baumartenempfehlung Klimawandel mit den gleichen Informationen wie in der Tree App abgerufen werden.

Tab. 11: Flächenverteilung der sensitiven Standorte.

| Code | Legende | RCP 4.5 3 Baumarten [km ²] | RCP 4.5 4 Baumarten [km ²] | RCP 8.5 3 Baumarten [km ²] | RCP 8.5 4 Baumarten [km ²] |
|------|-------------------------------|--|--|--|--|
| 0 | Kein sensitiver Standort A | 46.20 | 46.20 | 27.52 | 27.52 |
| 1 | Kein sensitiver Standort B | 3.47 | 1.49 | 4.62 | 1.42 |
| 2 | Sensitiver Standort | 11.14 | 13.12 | 28.68 | 31.87 |

3.8 Erwartete Dynamik auf sensitiven Standorten

Auf diesen Flächen gedeiht heute keine Baumart, die gemäss der gewählten Klimazukunft in Zukunft als dominante Naturwaldbaumart erwartet wird, und es gedeihen höchstens zwei (oder drei) Baumarten, die in Zukunft als wichtige beigemischte Naturwaldbaumarten erwartet werden. Das heisst, die Schnittmenge zwischen den Baumarten, die heute gedeihen können und jenen, die in Zukunft erwartet werden, ist klein oder nicht vorhanden.

Die Baumarten, die heute gedeihen, können aus unterschiedlichen Gründen in der Zukunft nicht mehr erwartet werden. Beispiele dazu sind in

Tab. 12 zu finden.

Tab. 12: Die wichtigsten Auswirkungen der Höhenstufenverschiebung und Massnahmen auf sensitiven Standorten.

| Änderung | Auswirkung | Massnahme |
|--|---|---|
| 1) Wechsel von subalpinen Fichtenwäldern zu unter- oder submontanen Buchenwäldern | Starke Abnahme der Fichten wegen Käferbefall; zukünftig wichtige Naturwaldbaumarten wie Buche sowie untermontan Tanne ersetzen die Fichte kaum kontinuierlich, einzig beim in Zukunft wichtiger werdenden Bergahorn wird eine kontinuierliche Entwicklung erwartet; voraussichtlich Übergangsbestände mit Pionierbaumarten wie Birke, Zitterpappel, Salweide sowie Mehlbeere und Vogelbeere. | Samenbäume von Tanne und Buche anstreben, auch minderwertiger Qualität. |
| 2) Wechsel von hochmontanen Tannen-Fichtenwäldern zu unter- oder submontanen Buchenwäldern | Starke Abnahme der Fichten wegen Käferbefall; die Tanne bleibt wichtig, ausser auf den trockenen Standorten beim Wechsel zu submontan. Beim in Zukunft wichtiger werdenden Bergahorn wird eine kontinuierliche Entwicklung erwartet. Wo Tanne und Berghorn fehlen werden voraussichtlich Übergangsbestände mit Pionierbaumarten wie Birke, Zitterpappel, Salweide sowie Mehlbeere und Vogelbeere entstehen. | Tanne fördern, ausser auf trockenen Standorten. Samenbäume von Buche und weiteren Laubbäumen anstreben, auch minderwertiger Qualität. |
| 3) Wechsel von untermontanen Föhrenwäldern zu submontanen Eichenwäldern | In vielen Föhrenwäldern in der Schweiz sterben heute schon viele Föhren ab, dies ist in Zukunft auch in FL zu erwarten. Sofern der Verbissdruck tragbar ist wachsen viele verschiedene Laubbäume und Sträucher nach, der Übergang vom Föhrenwald zum Eichenmischwald kann dann kontinuierlich erfolgen. | Laubbäume fördern |

3.9 Umgang mit krankheitsgefährdeten Baumarten

In der Tree App werden Esche, Bergulme, Feldulme und Kastanie auf Grund der Empfehlung von Waldschutz Schweiz als krankheitsgefährdete Baumart bezeichnet:

† = Baumart, die krankheitsgefährdet ist und daher trotz Standorteignung nicht gefördert werden soll

Die Esche wird wegen dem Eschentriebsterben und die beiden Ulmenarten werden wegen Ulmensterben dieser Kategorie zugeteilt. Bei diesen Arten empfehlen wir keine Pflanzungen, bevor resistentes Pflanzgut vorhanden ist.

Die Kastanie leidet unter einer Kombination von Krankheiten (Kastanienrindenkrebs und Tintenkrankheit) und Insekten (Kastaniengallwespe). Nach den Erfahrungen in den Südalpen ist das vor allem auf Flächen mit wechselndem Wasserhaushalt der Fall. Zudem trägt ein hoher Kastanien-Anteil im Bestand zu den Problemen bei. Eine Pflanzung von Kastanien als Samenbäume empfehlen wir deshalb nur auf regelmässig mit Wasser versorgten Standorten.

4 Schlussfolgerungen

Diese Modellierungen zeigen die Habitateignung in der Periode 2070-2099. Sie zeigen, wo bei den gewählten Klimazukünften am Ende vom Jahrhundert ähnliche klimatische Bedingungen vorherrschen wie heute und leiten daraus Baumartenempfehlungen ab. Welche Klimazukunft eintreten wird und wie schnell sich das Baumartenportfolio ändern wird ist ungewiss.

Allgemein gilt, dass die Höhenstufenmodelle eher auf mittlere Standorte ausgerichtet sind als auf Extremstandorte. In Kombination mit den Ökogrammen sollte aber bei diesem Genauigkeitsgrad eine „Vorhersage“ an vielen Orten funktionieren. Es wurden die wichtigsten klimatischen Parameter erkannt, aber es bestehen noch viele unbeantwortete Fragen bezüglich Lokalklima, Samenangebot, Geologie, Bodenverhältnissen und allenfalls unterschiedlichen Genotypen bei den Baumarten.

Durch das Ermitteln von sensitiven Standorten und Beständen ist eine grossflächige objektive Sichtweise möglich. Zusammen mit anderen Planungsgrundlagen können mögliche Problemzonen erkannt und Prioritäten gesetzt werden. Das Vorgehen ist eine Hilfe, um bei ungewisser Zukunft sinnvolle Entscheide zu treffen und regionale Handlungsprioritäten zu setzen. Die Klimaveränderung bis zum Ende des Jahrhunderts ist nicht sicher vorhersagbar. Vor allem die Annahmen zum zukünftigen Ausstoss von Treibhausgasen (Emissionsszenarien) machen Vorhersagen unsicher. Die komplexe Topographie in den Alpen beeinflusst die Ergebnisse zusätzlich. Es ist möglich, dass eine Baumart an einem Ort weiterhin überleben kann, ihre Wüchsigkeit aber wegen vermehrter Trockenheit abnimmt. Das bedeutet, dass diese Bäume in der Oberschicht vermutlich Vitalitätsverluste erleiden werden, die Verjüngung aber noch gedeihen kann und Folgebestände eine geringere Oberhöhe erreichen. Bei wenig bis keiner Übereinstimmung zwischen den heute vorhandenen Baumarten und den in Zukunft als geeignet erwarteten Baumarten muss vermehrt damit gerechnet werden, dass bei klimatischen Extremereignissen innert kurzer Zeit grössere Ausfälle entstehen. Mit einer hohen Vielfalt von geeigneten Baumarten (mindestens als Samenbaum) steigt die Resilienz. Das heisst, die Wahrscheinlichkeit, dass nach Störungen Baumarten vorhanden sind, die sich natürlich verjüngen können und dass sich neue Waldbestände selbständig in passender Baumartenzusammensetzung bilden, wird grösser. Immer entscheidender wird sein, ob unter dem Schirm der Altbestände bereits genügend Vorverjüngung aufkommen konnte, damit der Wettlauf mit der Konkurrenzvegetation auf Schadflächen / Freiflächen möglichst von kurzer Dauer ist und der Vorsprung im Höhenwachstum bereits genügend gross ist. Dazu sollte die Vorverjüngung zum richtigen Zeitpunkt waldbaulich gefördert werden. Voraussetzung dazu sind tragbare Wildbestände, die eine hohe Baumartenvielfalt in der Verjüngung erlauben.

Eine hohe Baumartenvielfalt ist auch wichtig, um Ausfälle zu ersetzen, falls in Zukunft weitere Baumarten krankheitsgefährdet fast komplett ausfallen wie z. B. in den letzten Jahren die Esche. Die krankheitsgefährdeten Bäume (Esche, Bergulme, Feldulme und Kastanie) wurden in Absprache mit Waldschutz Schweiz ausgeschieden. Diese werden beim Ermitteln von sensitiven Standorten gesondert berücksichtigt. Es ist möglich, dass in Zukunft weitere Baumarten als „krankheitsgefährdet“ betrachtet werden.

Wichtig bleiben das beobachtende Auge und der Sachverstand der Bewirtschaftenden. Die Standortkunde sollte künftig in allen forstlichen Ausbildungsgängen einen höheren Stellenwert erhalten. Sie sollte auch bodenkundliche Grundlagen enthalten und Klimakunde vermitteln, damit die Waldbauer der Zukunft die rasanten Änderungen in unserer Umwelt besser meistern.

5 Literatur

Arge Frehner M., Dionea SA & IWA – Wald und Landschaft AG (2020): NaiS-LFI – Zuordnung der LFI-Stichprobenpunkte zu Waldgesellschaften. Erläuternder Schlussbericht. Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, 68 S.

Bohn, U., Neuhäusl, R., unter Mitarbeit von Gollub, G., Hettwer, C., Neuhäuslová, Z., Raus, T., Schlüter, H. & Weber, H. (2000/2003): Karte der natürlichen Vegetation Europas / Map of the Natural Vegetation of Europe. Massstab / Scale 1:2'500'000. Münster (Landwirtschaftsverlag). https://www.bfn.de/0302_eu.html

Browicz, K. & Zielinski, J. (1982): Chorology of Trees and Shrubs in South-west Asia and Adjacent Regions. Vol. 1. Warszawa-Poznan.

Ellenberg, H. & Klötzli, F. (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. F. 48(4), 589-930.

European Soil Data Centre. European Soil Database v.2. <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/maps>

Frehner, M. & Huber, B. Mit Beiträgen von Gubelmann, P. (Teil 1 und 3), Zürcher-Gasser, N. (Teil 4 und 5), Zimmermann, N.E. (Teil 3), Braun, S. (Teil 2), Scherler, M. (Teil 2), Zischg, A. (Teil 1), Burnand, J. (Teil 1), Carraro, G. (Teil 1), Bugmann, H. (Teil 3), Psomas, A. (Teil 3) (2019): Schlussbericht des Projektes „Adaptierte Ökogramme“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“: Übersicht über die Teilberichte. Sargans, Forstingenieurbüro Frehner und Chur, Abenis AG.

Frehner, M., Huber, B., Zischg, A. & Könz, G. (2021). Schlussbericht des Gesamtprojektes „Sensitive Standorte und Bestände, Teil 3: Modellierung von sensitiven Standorten und Beständen für den Kanton Graubünden“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“. Sargans, Forstingenieurbüro Frehner, Chur, Abenis AG & Bern, Universität Bern. 93 Seiten.

Frehner, M. & Zürcher-Gasser, N. (2019): Schlussbericht des Projektes „Adaptierte Ökogramme“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“, Teil 5: Herleitung von regional optimierten Baumartenempfehlungen. Sargans, Forstingenieurbüro Frehner & Rabus, Gadola AG. 24 S.

Frehner, M., Wasser, B. & Schwitter, R. (2005/2009): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.

Frey, H.-U., Bichsel, M. & Preiswerk, T. (1998-2004): Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubündens. Teilregionen 1 - 8. Hrsg. Amt für Wald Graubünden, Chur, in 8 sep. Ringordnern.

Frey, H.-U., Bichsel, M. & Preiswerk, T. (1990-2004): Zonale Gliederung der aktuellen Waldvegetation (Höhenstufenkarten). Amt für Wald Graubünden, Chur.

Frey, H.-U., Frehner, M., Burnand, J., Carraro, G. & Rutishauser, U. (2021). Zur Entstehung der NaiS-Standorttypen. Schweizerische Zeitung für Forstwesen, 172 (3): 146–155.

Frey, H.U. (2003): Die Verbreitung und die waldbauliche Bedeutung der Weisstanne in den Zwischenalpen. SZF 154. 90-98.

Huber, B., Wild, R., Gubelmann, P., Frehner, M. & Zischg, A., 2020a. Schlussbericht des Gesamtprojektes „Sensitive Standorte und Bestände, Teil 1: Erarbeitung von Klima- und Schneeparameterkarten für die Periode 2045-2074“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“. Chur, Abenis AG. 49 S. (ohne Anhänge).

Huber, B., Zischg, A. & Frey, H.-U., 2020b. Schlussbericht des Gesamtprojektes „Sensitive Standorte und Bestände, Teil 2: Waldstandort-Hinweiskarte Graubünden“. Teil des Gesamtprojektes „Sensitive Standorte und Bestände“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“. Chur, Abenis AG & Geographisches Institut der Universität Bern, Bern. 34 S.

Huber, B., Frehner, M., Zimmermann, N. E., van Wijnkoop, P., Wüest, R. O. (2017): Vorarbeiten für Baumartenempfehlungen von Standorttypen, die in der Schweiz heute noch nicht vorkommen. Ein Bericht aus dem Projekt „Adaptierte Ökogramme“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“. Chur, Abenis AG. 70 Seiten.

Huber, B., Zischg, A., Burnand, J., Frehner, M. & Carraro, G. (2015): Mit welchen Klimaparametern kann man Grenzen plausibel erklären, die in NaiS (Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald) verwendet werden um Ökogramme auszuwählen?: Schlussbericht des Projektes im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“ des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern und der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 2015.

Kriticos, D., Maywald, G., Yonow, T., Zurcher, E., Hermann, N & Sutherst, R. (2015): *CLIMEX Version 4: exploring the effects of climate on plants, animals and diseases*. CSIRO, Canberra.

Kriticos, D.J. (2012): Regional climate-matching to estimate current and future sources of biosecurity threats. *Biological Invasions*, **14**, 1533–1544.

Kriticos D., Maywald G., Yonow T., Zurcher E., Hermann N., Sutherst R. (2015) *CLIMEX Version 4: exploring the effects of climate on plants, animals and diseases*. CSIRO, Canberra.

Meusel, H., Jäger, E. & Weinert, E. (1964): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora – Karten, Band I. Veb Gustav Fischer Verlag, Jena.

Meusel, H., Jäger, E., Rauschert, S. & Weinert, E. (1978): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora –Karten, Band II, Gustav Fischer Verlag, Jena.

Meyer, J. (2017): Gesteine der Schweiz. Der Feldführer. Haupt Verlag, Bern. 444 S.

Ott, E., Frehner, M., Frey, H. U., Lüscher P. (1997): Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt Bern Stuttgart Wien.

Phillips, C.B., Kean, J.M., Vink, C.J. & Berry, J.A. (2018): Utility of the CLIMEX “match climates regional” algorithm for pest risk analysis: an evaluation with non-native ants in New Zealand. *Biological Invasions*, **20**, 777–791.

Remund, J. (2020): Downscaling CH2018. Berechnung von Meteo- und Trockenheitsindizes für die Waldforschung. Methoden und Resultate – Version 2. Meteotest, 25 S.

Rudow, A. (2011): Gesamtverbreitungskarten, Ökogramme. In: eBot, Teil Dendrologie. Elearningtool zu Lehrveranstaltungen in Dendrologie Grundlagen unter www.ebot.ethz.ch. ETH Zürich.

Schmider, P. und Burnand, J. (1988): Waldstandorte im Fürstentum Liechtenstein, Kommentar zur vegetationskundlichen Kartierung der Wälder. *Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein Band 10* Vaduz 1988.

Zischg, A. P., Gubelmann, P., Frehner, M. & Huber, B. (2019): High Resolution Maps of Climatological Parameters for Analyzing the Impacts of Climatic Changes on Swiss Forests, *Forests*, **10**, 617, doi:10.3390/f10080617.

Zischg, A., Huber, B. & Frehner, M. (2021): Berechnung der Vegetationshöhenstufen auf der Grundlage der CH2018 Szenarien für die Schweiz. Abenis AG, Chur & Geographisches Institut der Universität Bern, Bern.

www.tree-app.ch

Verwendete Excel-Tabellen:

WaldgesellschaftenFL_NaiS_20190410.xlsx

NaiS_Standorttypen_FL_20210714.xlsx

L_Projektionswege_im_Klimawandel_18022020.xlsx

6 Anhang

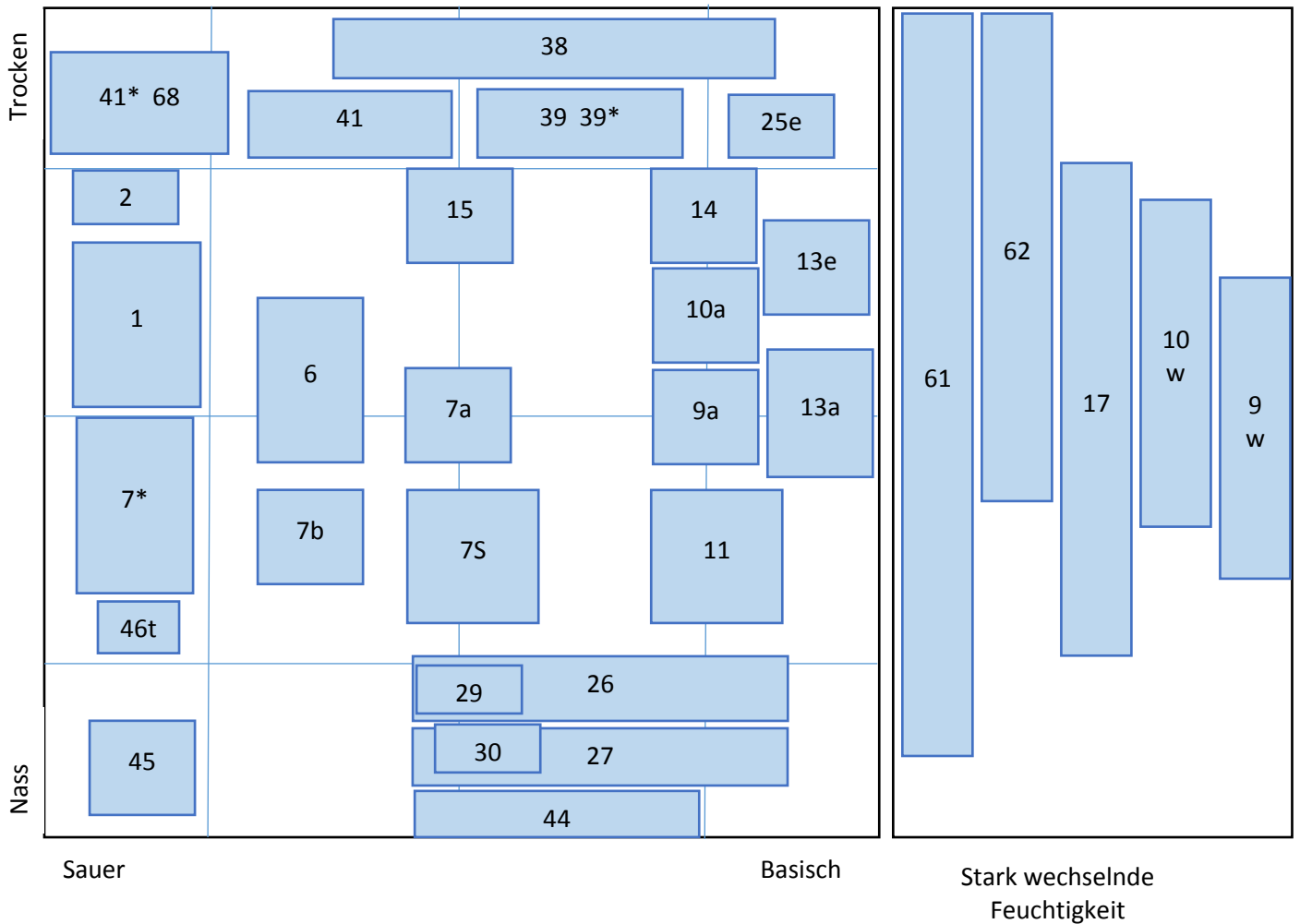
6.1 Grundlagen zum Teil „Ergänzung der Standortkarte FL“

Tabelle der Höhenstufe nach NaiS, die in FL vorkommen

| Höhenstufe | Definition (ohne Extremstandorte) |
|-------------|--|
| collin | Sommergrüner Laubwald. Wärmeliebende Baumarten wie Traubeneiche, Stieleiche, Linden, Kirschbaum, Spitzahorn und auf der Alpensüdseite Kastanie dominieren. |
| submontan | Buchenmischwald auf der Alpennordseite. Die Buche dominiert, aber auch wärmeliebende Baumarten wie Traubeneiche, Stieleiche, Linden, Kirschbaum Spitzahorn sind im Bestand vorhanden |
| untermontan | Buchenwald. Die Buche dominiert stark, beigemischt sind Tanne, Bergahorn, Esche etc. Der Unterschied bei der Oberhöhe von Tanne und Buche ist gering. |
| obermontan | Tannen-Buchenwald. Tanne und Buche dominieren, Fichte, Bergahorn etc. sind beigemischt. Tanne und Fichte erreichen deutlich höhere Oberhöhen als die Buche. |
| hochmontan | Tannen-Fichten. Tanne und Fichte dominieren. Geschlossene Bestände mit relativ vollholzigen Bäumen und starker Konkurrenz zwischen den Bäumen. |
| subalpin | Fichtenwald. Lückige Bestände, bei der Fichte mit Rotten. Die Bäume sind abholzsig und weisen schmale, lange Kronen auf. |

Folgende Seiten: Ökogramme nach NaiS der Höhenstufen, die in FL vorkommen.

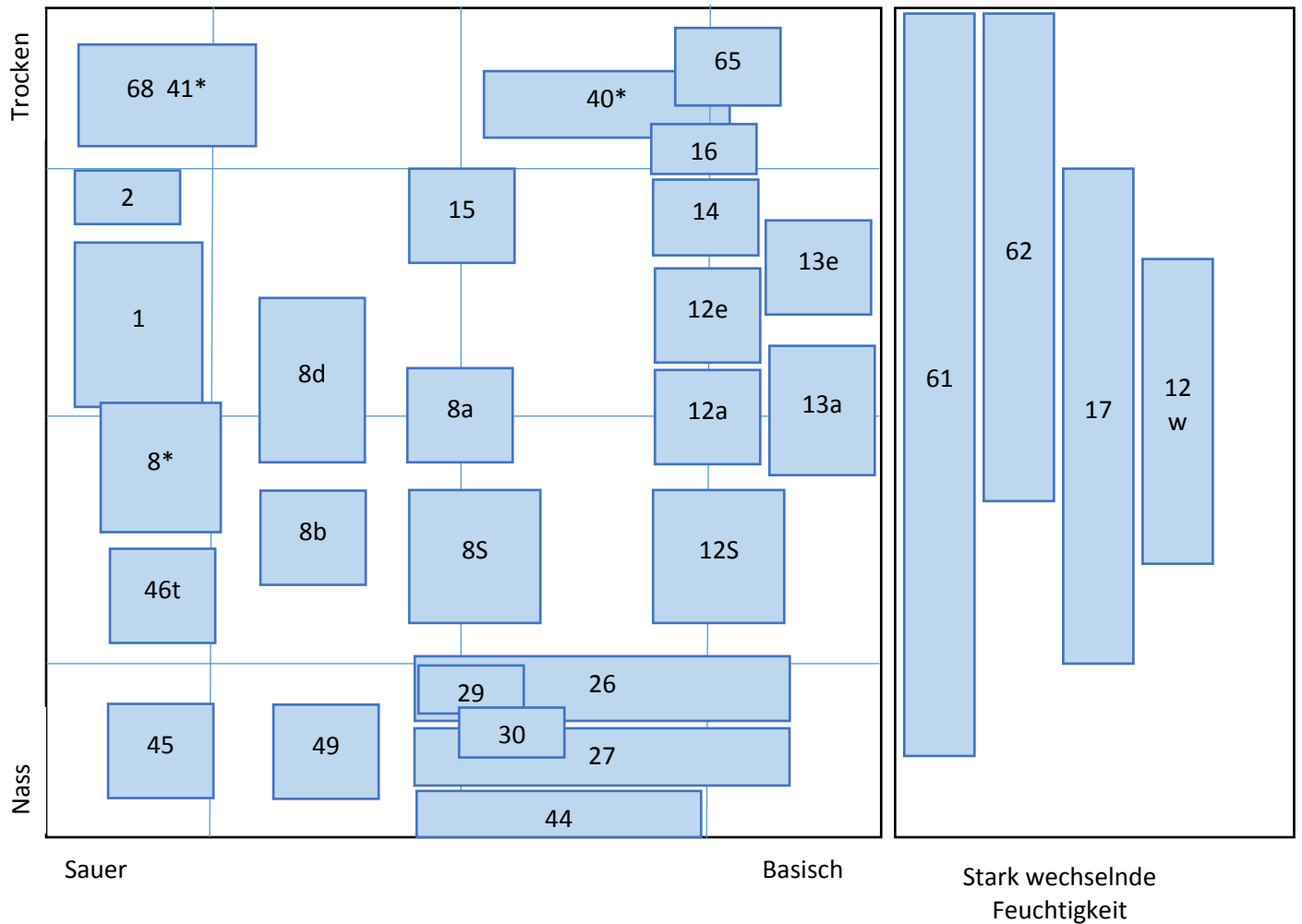
Ökogramm Mittelland/Jura (Region M/J) Höhenstufe submontan



- 29 nur in flachen Muldenlagen
 - 30 bei stehendem Wasser
 - 39 Jura Schaffhausen
 - 39* Jura ohne Schaffhausen
 - 41* wärmere und strahlungsreichere Lagen als 68
- Sonderwaldstandorte**
- 22 auf Blockschutt
 - 22C feiner, feuchter Kalkschutt
 - 25 Frische Kalkschutthalde
 - 25F Feuchte Kalkschutthalde, Bachschuttkegel
 - 25* trockene Kalkschutthalde

- Auenwälder**
- 28 regelmässig überschwemmt, grundnass
 - 29A Erhöhte, lang nicht überschwemmt Stellen, schwach grundnass
 - 29C Erhöhte, lange nicht überschwemmte Stellen, keine Vernässung
 - 31 In nächster Nähe zum Flusslauf, alljährlich überschwemmt
 - 32C In nächster Nähe zum Flusslauf, mind. alle 10 Jahre überschwemmt
 - 43 In nächster Nähe zum Flusslauf, alljährlich überschwemmt
 - 43S Oft überschwemmt, bei Tiefwasser austrocknend
 - 66 Trockenste Stelle der Aue, erhöht, sehr durchlässiger Untergrund

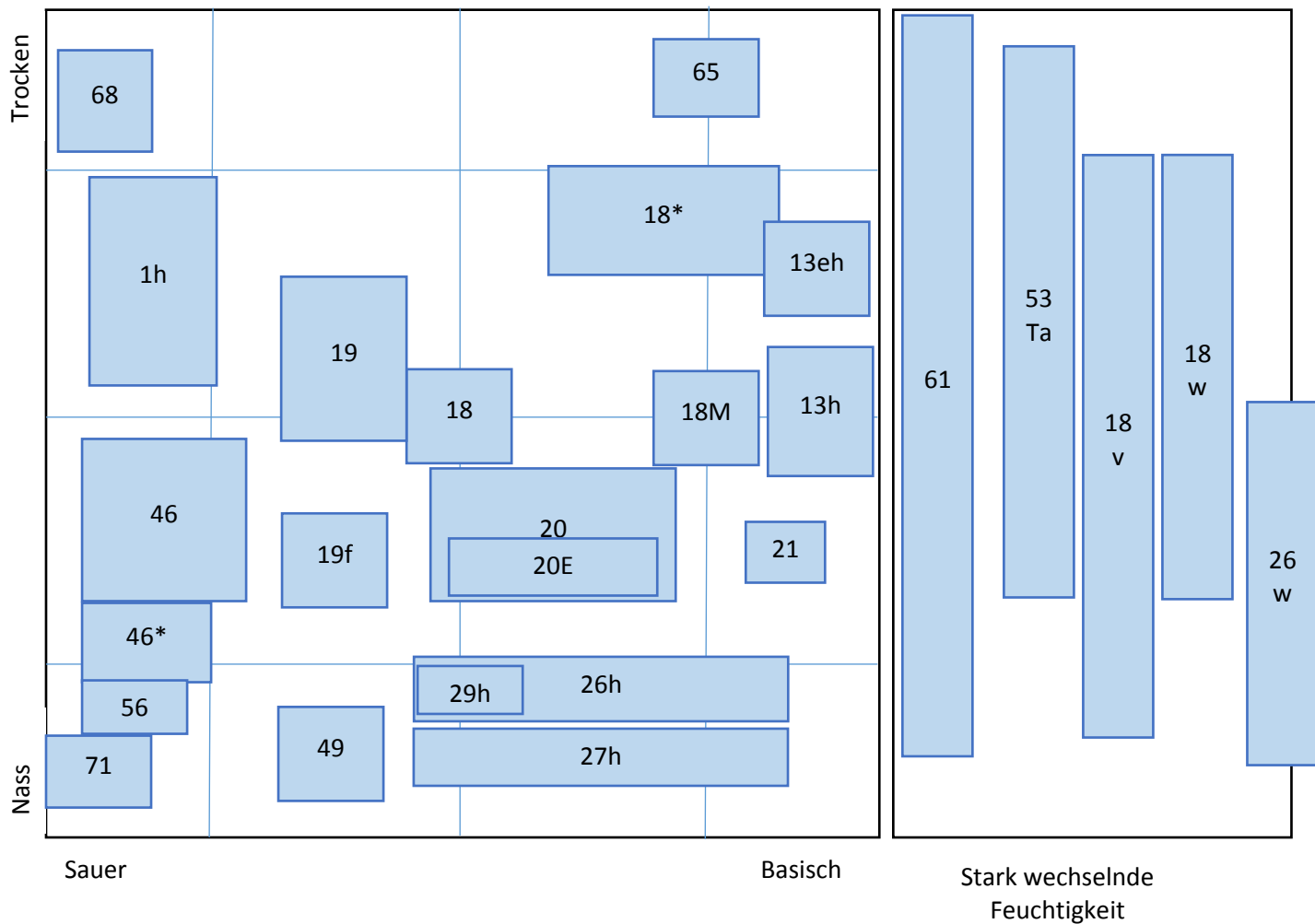
Ökogramm nördliche Randalpen (Region 1) Höhenstufe untermontan



- 29 nur in flachen Muldenlagen
- 30 bei stehendem Wasser
- 39 Jura Schaffhausen
- 39* Jura ohne Schaffhausen
- 41* wärmere und strahlungsreichere Lagen als 68
- Sonderwaldstandorte**
- 22 auf Blockschutt
- 22A rutschige, feinkörnige Böden
- 22C feiner, feuchter Kalkschutt
- 25 Frische Kalkschutthalde
- 25F Feuchte Kalkschutthalde, Bachschuttkegel
- 25* trockene Kalkschutthalde
- 34* basenarme Schutthalde
- 48 auf Blockschutt sehr kühle Lagen

- Auenwälder**
- 28 regelmässig überschwemmt, grundnass
 - 29A Erhöhte, lang nicht überschwemmt Stellen, schwach grundnass
 - 29C Erhöhte, lange nicht überschwemmte Stellen, keine Vernässung
 - 32C In nächster Nähe zum Flusslauf, mind. alle 10 Jahre überschwemmt
 - 43S Oft überschwemmt, bei Tiefwasser austrocknend

Ökogramm Mittelland/Jura/nördliche Randalpen (Region M/J/1) Höhenstufe obermontan



20E stärker pseudovergleyt oder grundnass als 20
 29h nur in flachen Muldenlagen

Sonderwaldstandorte

22 auf Blockschutt warme Lagen
 22A rutschige, feinkörnige Böden
 23 trockene Kalkschutthalde
 24 Frische Schutthalde
 24* Feuchte Schutthalde, Bachschuttkegel
 48 auf Blockschutt kühle Lagen
 57Bl auf Blockschutt sehr kühle Lagen

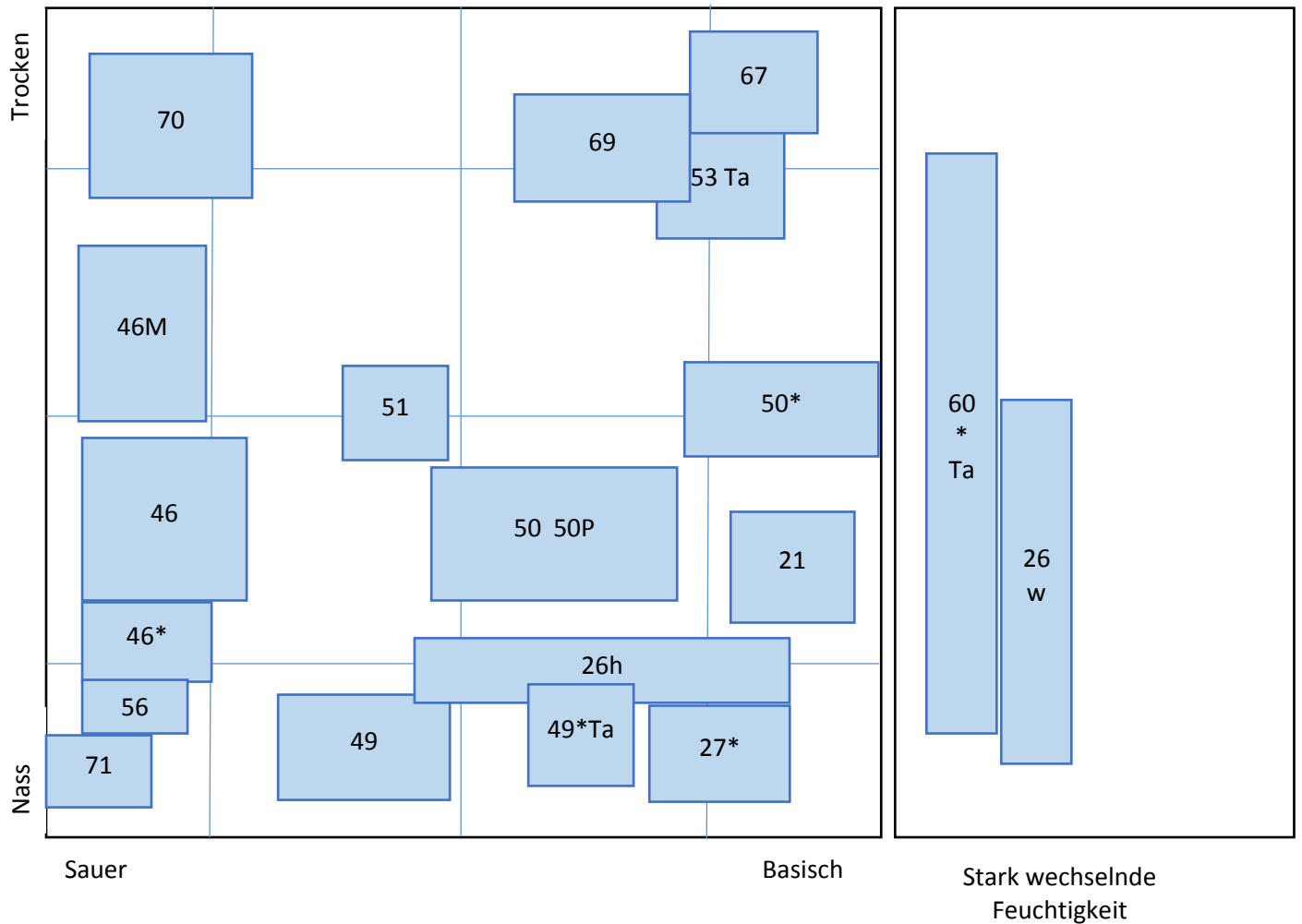
Auenwälder

29A Erhöhte, lang nicht überschwemmt Stellen, schwach grundnass
 32V In nächster Nähe zum Flusslauf, mind. alle 10 Jahre überschwemmt

Pionierstandorte

32* Laubholzbestände auf feuchtem Boden, oft auf ehemaligen Rutschungen
 53Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen

Ökogramm Mittelland/Jura/nördliche Randalpen (Region M/J/1) Höhenstufe hochmontan



50P In steilen Lagen mit oberflächlicher Erosion

Sonderwaldstandorte

23 trockene Kalkschutthalde
 24 Frische Schutthalde
 24* Feuchte Schutthalde, Bachschuttkegel
 47H auf trockenem warmen Blockschutt (vor allem Uri)
 48 auf Blockschutt
 57Bl auf Blockschutt kühle Lagen

Auenwälder

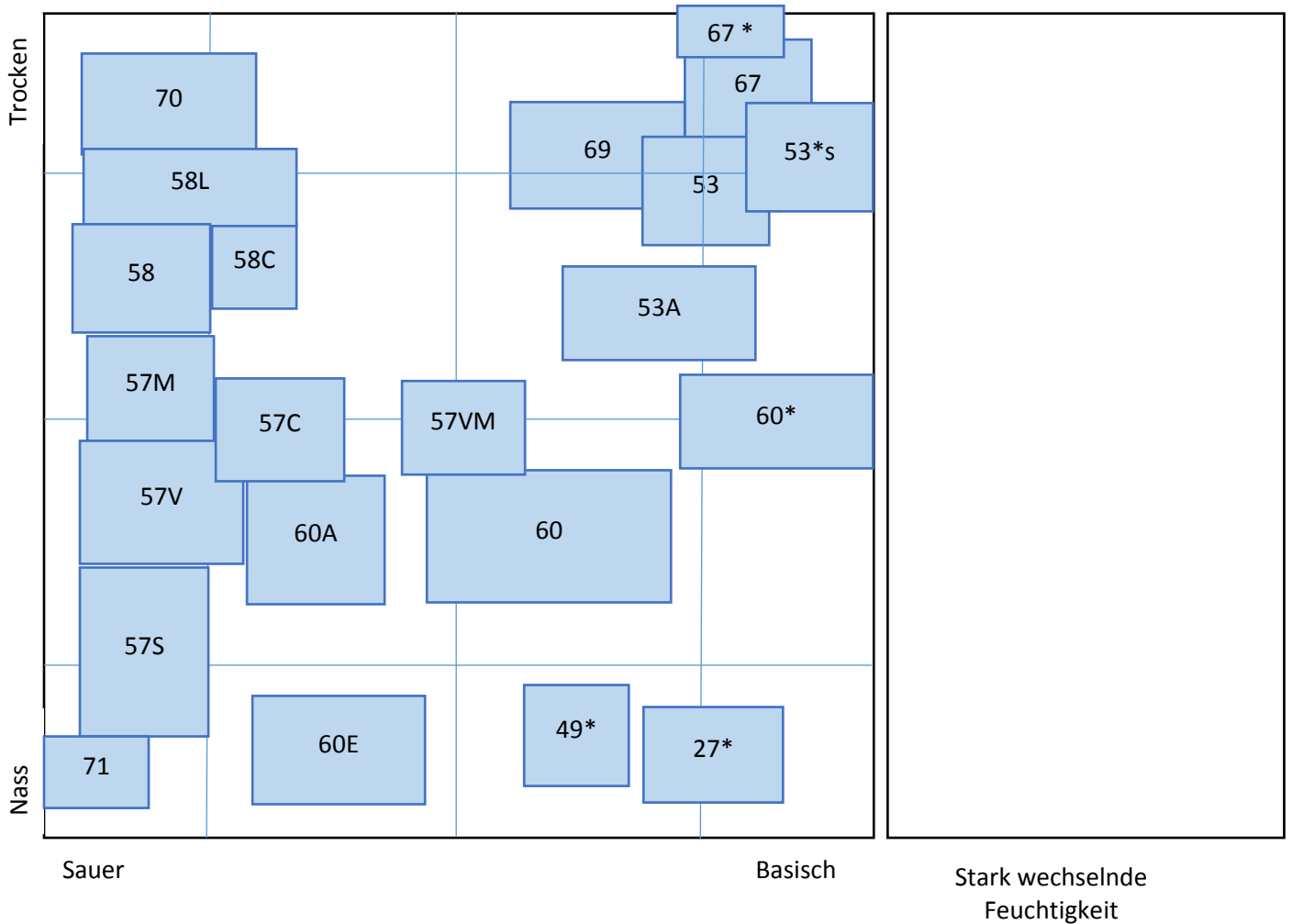
32V In nächster Nähe zum Flusslauf, mind. alle 10 Jahre überschwemmt

Pionierstandorte

32* Laubholzbestände auf feuchtem Boden, oft auf ehemaligen Rutschungen
 53Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen
 60*Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen
 AV Grünerlengebüsch

Ökogramm Jura, nördliche Rand- und Zwischenalpen und kontinentale Hochalpen (Region J, 1, 2, 3)

Höhenstufe subalpin



| | |
|--|--|
| <p>Falls Tannen in der Oberschicht: 53Ta, 53ATa, 57BITa, 57CTa, 57STa, 57VTa, 60Ta, 60ATa, 60ETa, 60*Ta</p> <p>Sonderwaldstandorte 23 trockene Kalkschutthalde 24* Feuchte Schutthalde 57Bl auf Blockschutt kühle Lagen 58Bl auf Blockschutt in warmen Lagen 59R auf trockenen Schutthalden aus Granit oder Serpentin 72 auf extremem Blockschutt Region 1</p> | <p>Auenwälder 32S In nächster Nähe zum Flusslauf, regelmässig überschwemmt 66PM</p> <p>Pionierstandorte 53Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 53*sLä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 57CLä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 57VLä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 58Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 58LLä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 60Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 60ALä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 60*Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen 72Lä Im Einflussbereich von Lawinen/starken Schneebewegungen AV Grünerlengebüsch</p> |
|--|--|

6.2 Downscaling CH2018. Berechnung von Meteo- und Trockenheitsindizes für die Waldforschung, Methoden und Resultate (Version 2, 2020)

Bericht von Jan Remund, Meteotest, 2020.

RCP 4.5: SMHI-RCA_MPIESM_EUR44

Tab. 13: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 4.5 für die Periode 2070-2099, Modell SMHI-RCA_MPIESM_EUR44 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010 für Aarau und Locarno. Legende: Tas = Lufttemperatur, Pr = Niederschlag. Diff. Tas Anom. /Pr Anom. = Differenzen der Temperatur (Tas) und der Niederschlags (Pr) Anomalien --> wie stark sich die Anomalie von einem bestimmten Modell vom gewünschten Wert der Anomalie unterscheidet.

| Ort | Tas [°C] | Pr [mm] | Tas Anomalie [°C] | Pr Anomalie [%] | Trocken-tage Anomalie [N] | Letzter Frosttag Anomalie [d] | Diff. Tas Anom. [°C] | Diff. Pr Anom. [%] |
|---------|----------|---------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Aarau | 15.2 | 486.2 | 1.8 | -4.0 | 1.6 | -5.5 | -0.1 | -1.9 |
| Locarno | 17.9 | 831.7 | 2.3 | -0.5 | 2.3 | -19.1 | 0.2 | 7.9 |

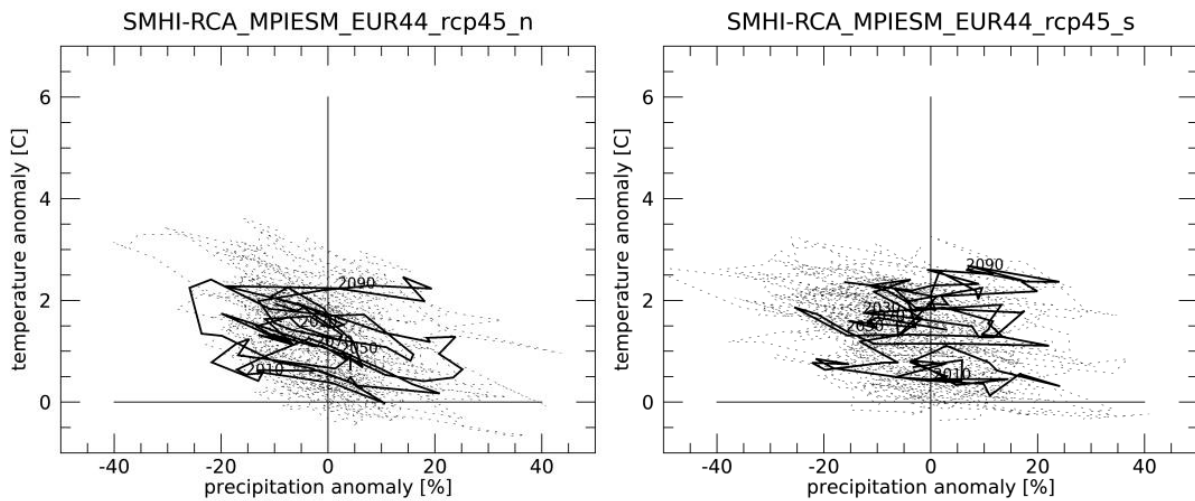
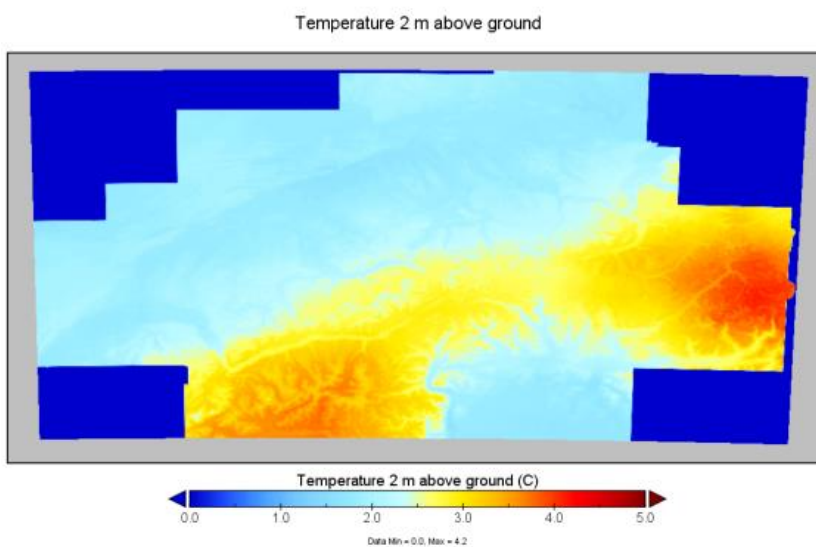


Abb. 25: Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden).



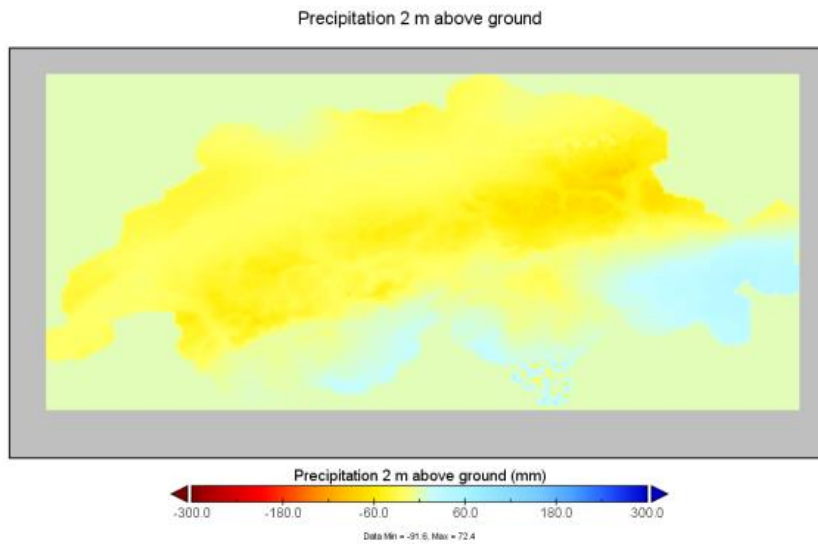


Abb. 26: Anomalien Temperatur (oben) und Niederschlag (unten) 2070-99 vs. 1981-2010 Sommer.

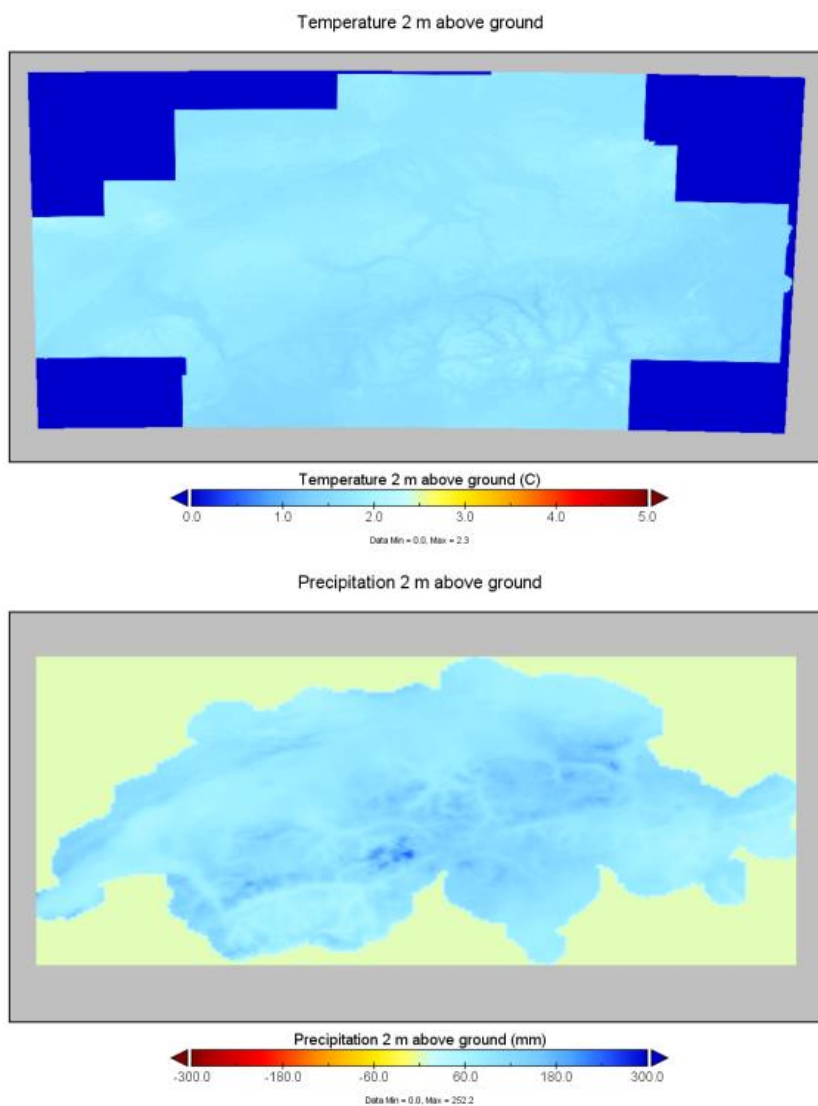


Abb. 27: Anomalien Temperatur (oben) und Niederschlag (unten) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter.

RCP 8.5: CLMCOM-CCLM5_HADGEM_EUR44

Tab. 14: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 8.5 für die Periode 2070-2099, Modell CLMCOM-CCLM5_HADGEM_EUR44 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010 für Aarau und Locarno. Legende: Tas = Lufttemperatur, Pr = Niederschlag. Diff. Tas Anom. /Pr Anom. = Differenzen der Temperatur (Tas) und der Niederschlags (Pr) Anomalien --> wie stark sich die Anomalie von einem bestimmten Modell vom gewünschten Wert der Anomalie unterscheidet.

| Ort | Tas [°C] | Pr [mm] | Tas Anomalie [°C] | Pr Anomalie [%] | Trocken-tage Anomalie [N] | Letzter Frosttag Anomalie [d] | Diff. Tas Anom. [°C] | Diff. Pr Anom. [%] |
|---------|----------|---------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Aarau | 15.3 | 491.6 | 4.4 | -17.0 | 3.4 | -28.8 | 0.0 | 0.7 |
| Locarno | 18.0 | 933.5 | 4.4 | -24.9 | 4.4 | -34.2 | -0.4 | 2.4 |

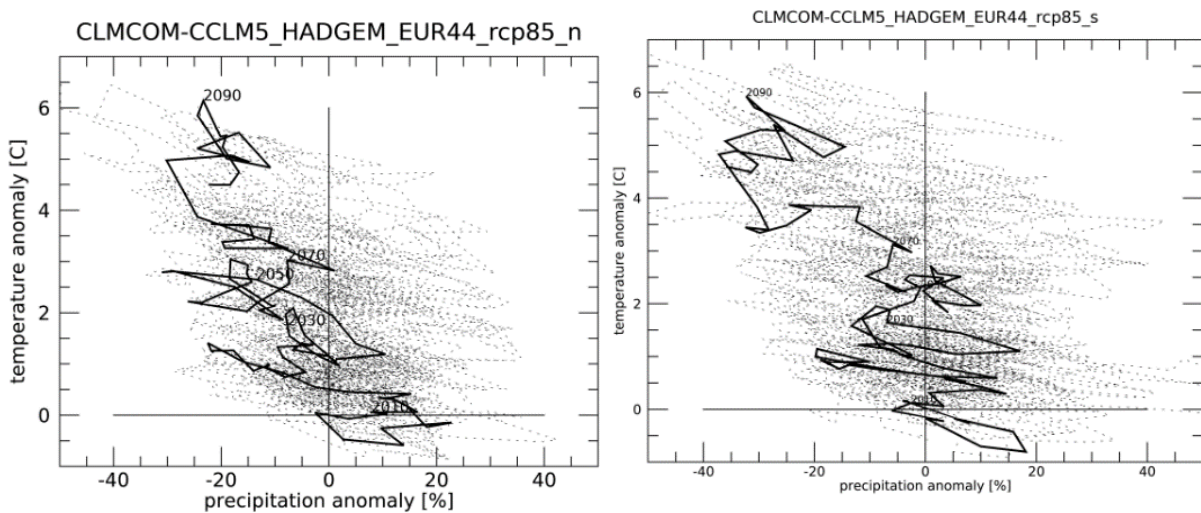
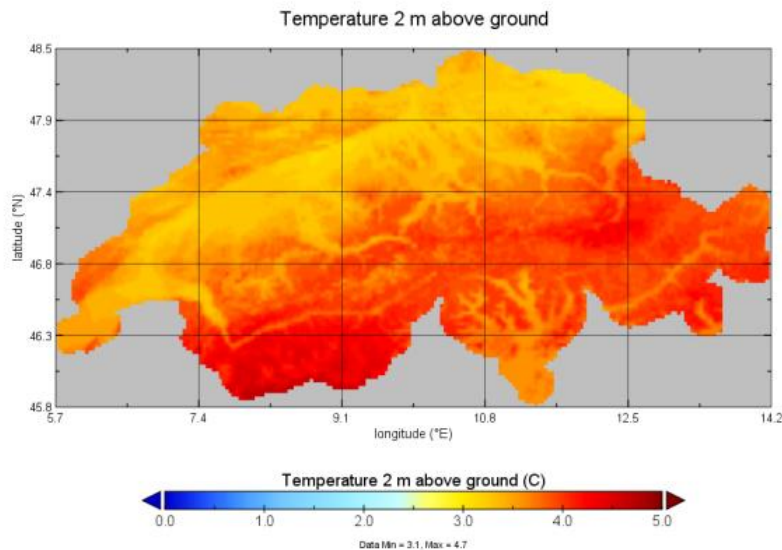


Abb. 28: Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden).



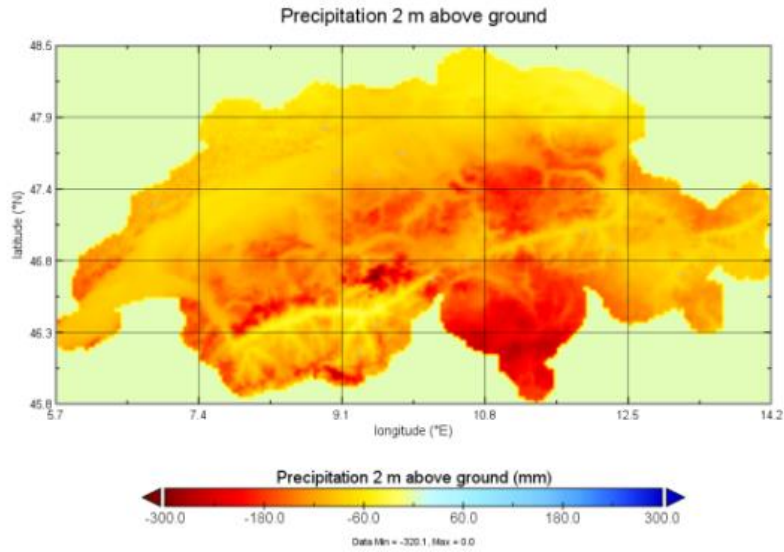


Abb. 29: Anomalien Temperatur (oben) und Niederschlag (unten) 2070-99 vs. 1981-2010 Sommer.

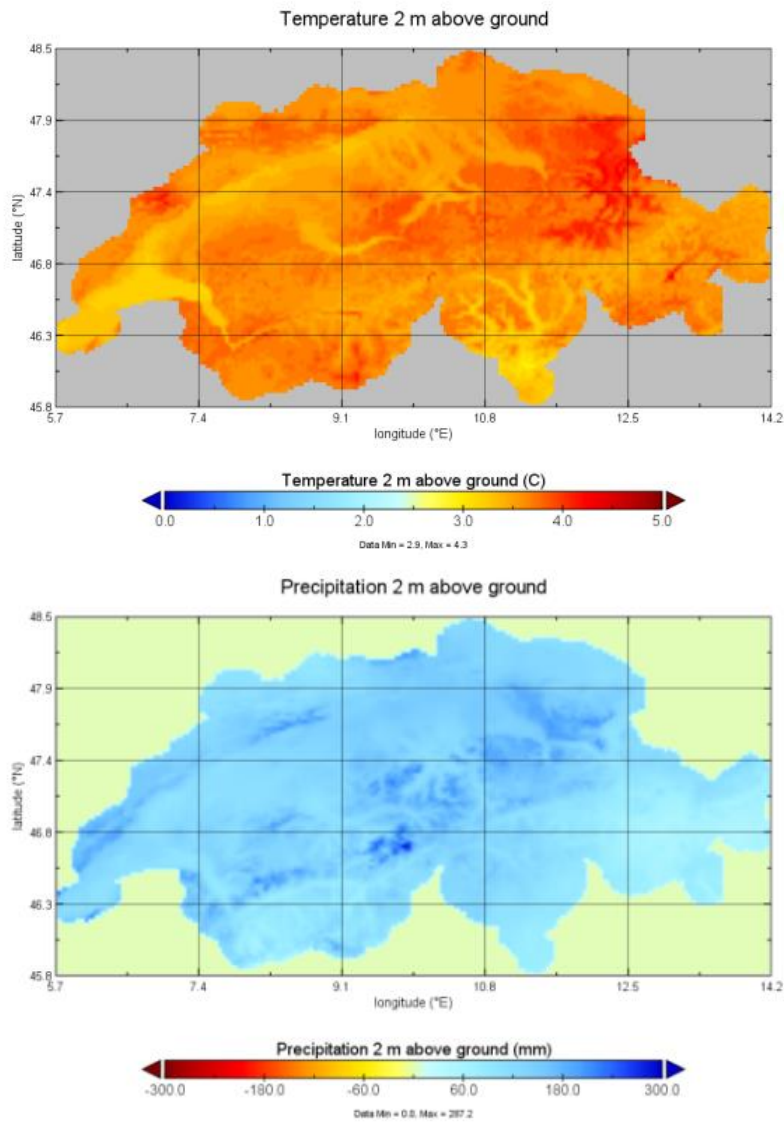


Abb. 30: Anomalien Temperatur (oben) und Niederschlag (unten) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter.

6.3 Heutige und zukünftige Höhenstufenkarten

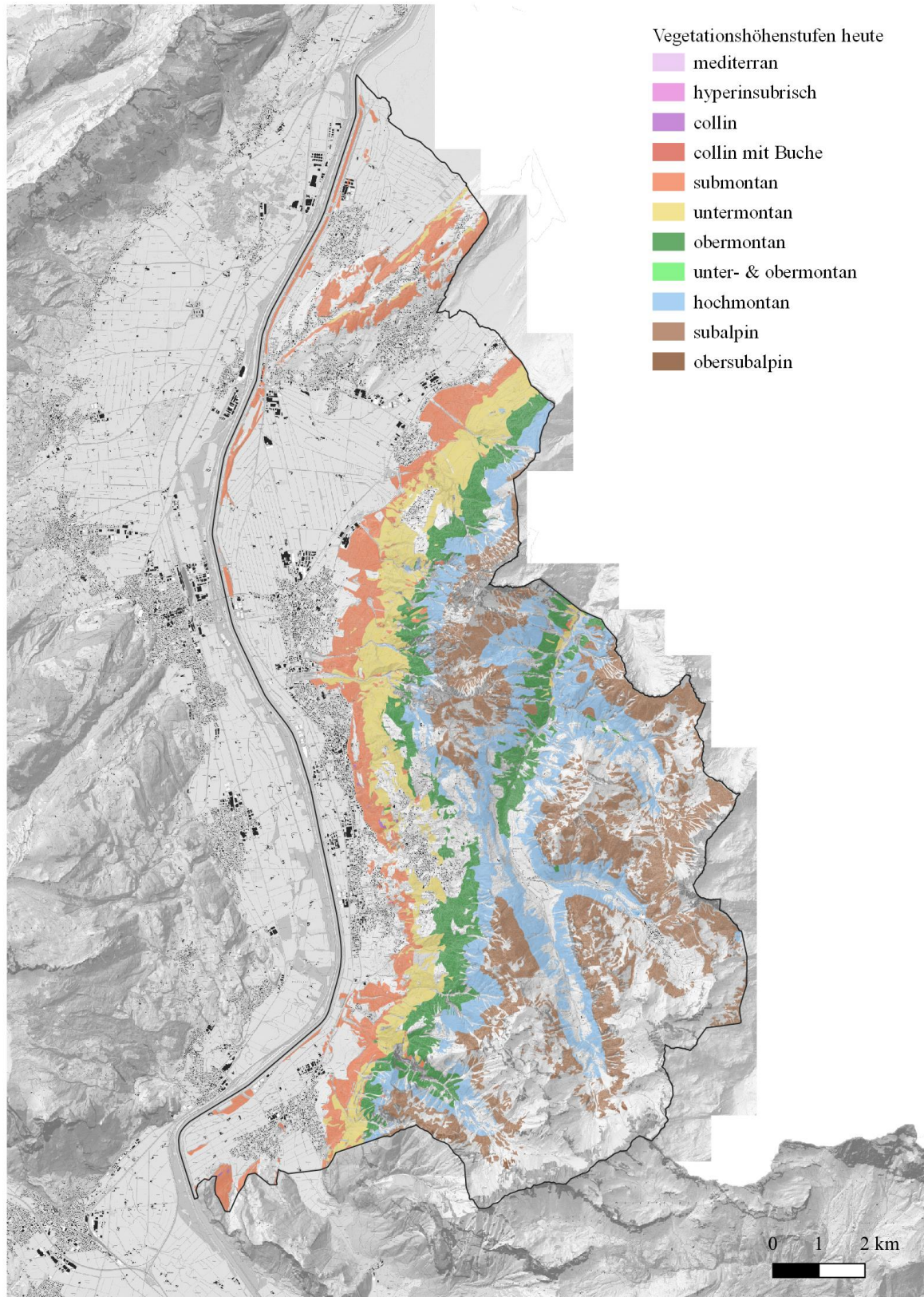


Abb. 311: Höhenstufenkarte heute, hergeleitet aus der Standortkarte FL

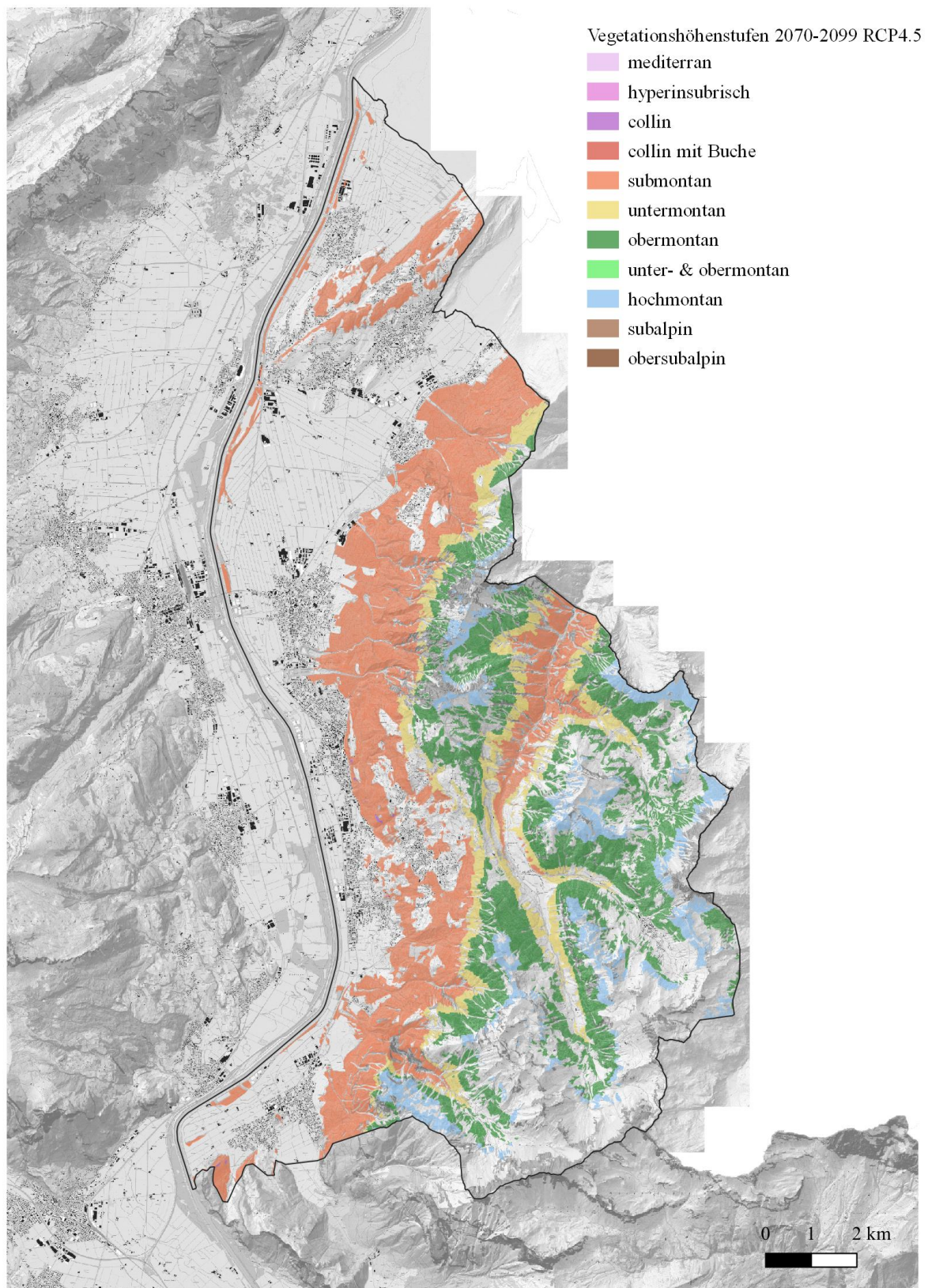


Abb. 322: Höhenstufenkarte 2070 – 2099, hergeleitet mit RCP4.5

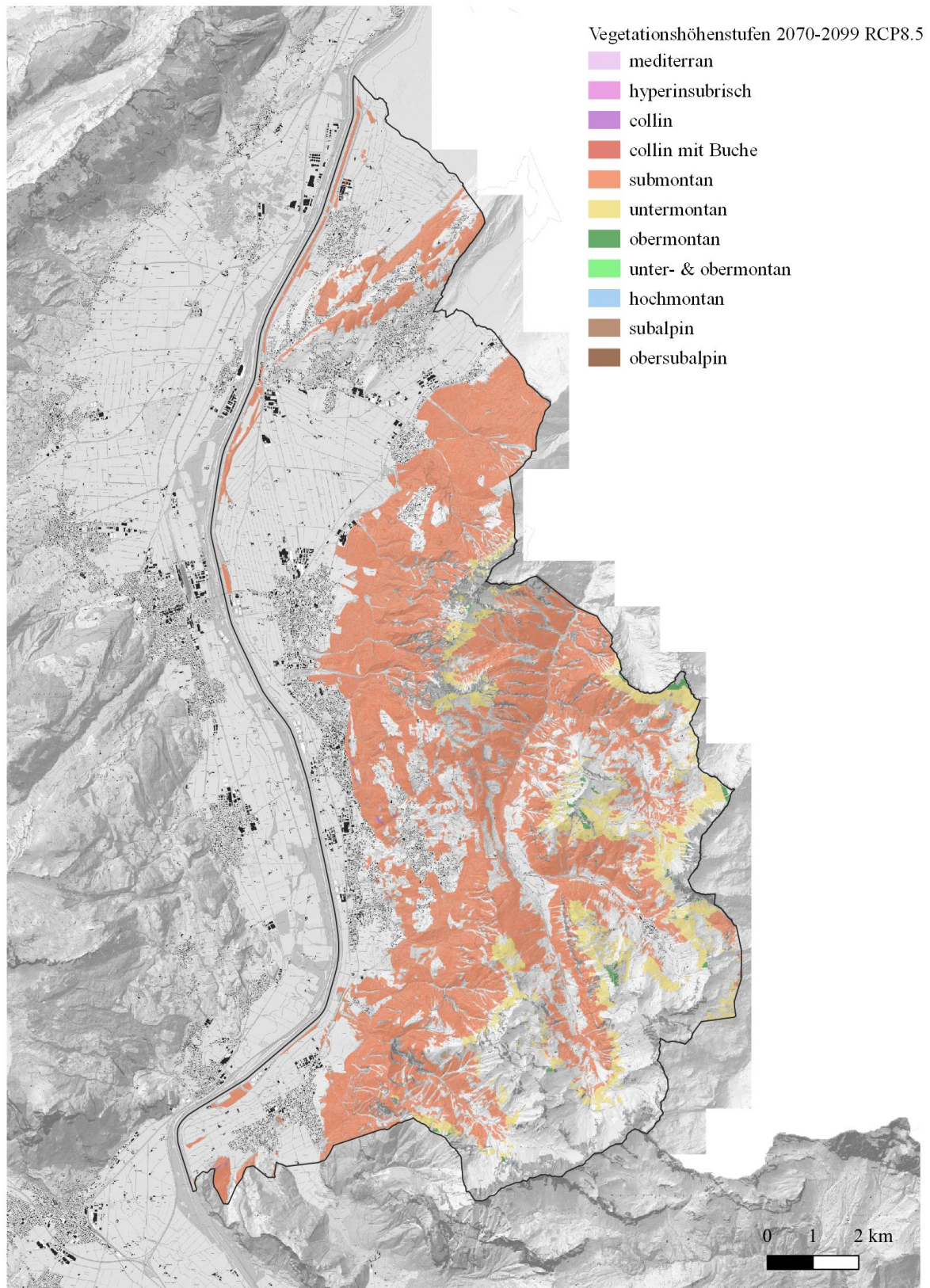


Abb. 333: Höhenstufenkarte 2070 – 2099, hergeleitet mit RCP8.5