

# **Anthropogene Klimaveränderung im Berner Oberland**

Dossier für die Sommertagung 2009 der schweiz. Gebirgswaldpflegegruppe (GWG)

zusammengestellt von

Harald Bugmann<sup>1</sup>, Markus Didion<sup>1</sup> & Niklaus Zimmermann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Professur Waldökologie, ETH Zürich*

<sup>2</sup> *Forschungseinheit Landnutzungs-Dynamik, WSL Birmensdorf*

# 1. Ziel & Struktur dieses Dossiers

Es ist nicht einfach, die Auswirkungen der anthropogenen Klimaveränderung auf die Ökosysteme eines konkreten Gebietes abzuschätzen, wenn nur wissenschaftliche Publikationen zur Verfügung stehen. Im vorliegenden Dossier haben wir deshalb Informationen, welche für eine solche Abschätzung wichtig sind, aus verschiedenen Quellen zusammengestellt, teils basierend auf Daten, die nicht in der hier präsentierten Form publiziert worden sind.

Im **zweiten Kapitel** dieses Dokuments geben wir einen Überblick über die Klimacharakteristika der Gegend von Isenfluh unter heutigen Bedingungen als Grundlage für alle Abschätzungen der zukünftigen Entwicklung.

Als „nullte Näherung“ für die Abschätzung der Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Vegetation kann man einfache Analogie-Überlegungen machen: welche Baumarten wachsen heute an Orten, die ein Klima aufweisen, wie wir es für unser Untersuchungsgebiet erwarten? Pflanzensoziologische Angaben können hier erste Hinweise geben (vgl. **drittes Kapitel**).

Alle weiteren Unterlagen des Dossiers basierend auf den Ergebnissen von quantitativen Modellen der Waldentwicklung resp. der Baumarten-Verbreitung. Abb. 0 gibt einen Überblick über die Region, für welchen Simulationen mit einem dynamischen Vegetationsmodell gerechnet wurden (Kap. 4). Andere Simulationen wurden flächendeckend für die ganze Schweiz gemacht (Kap. 5).

Im **vierten Kapitel** des Dossiers finden Sie die Ergebnisse zur Simulation der zu erwartenden Baumartengarnitur inkl. Angaben zur Struktur der Waldbestände, errechnet mit einem *dynamischen* Sukzessionsmodell (FORCLIM) entlang eines Höhentransekts im Simmental (BE).

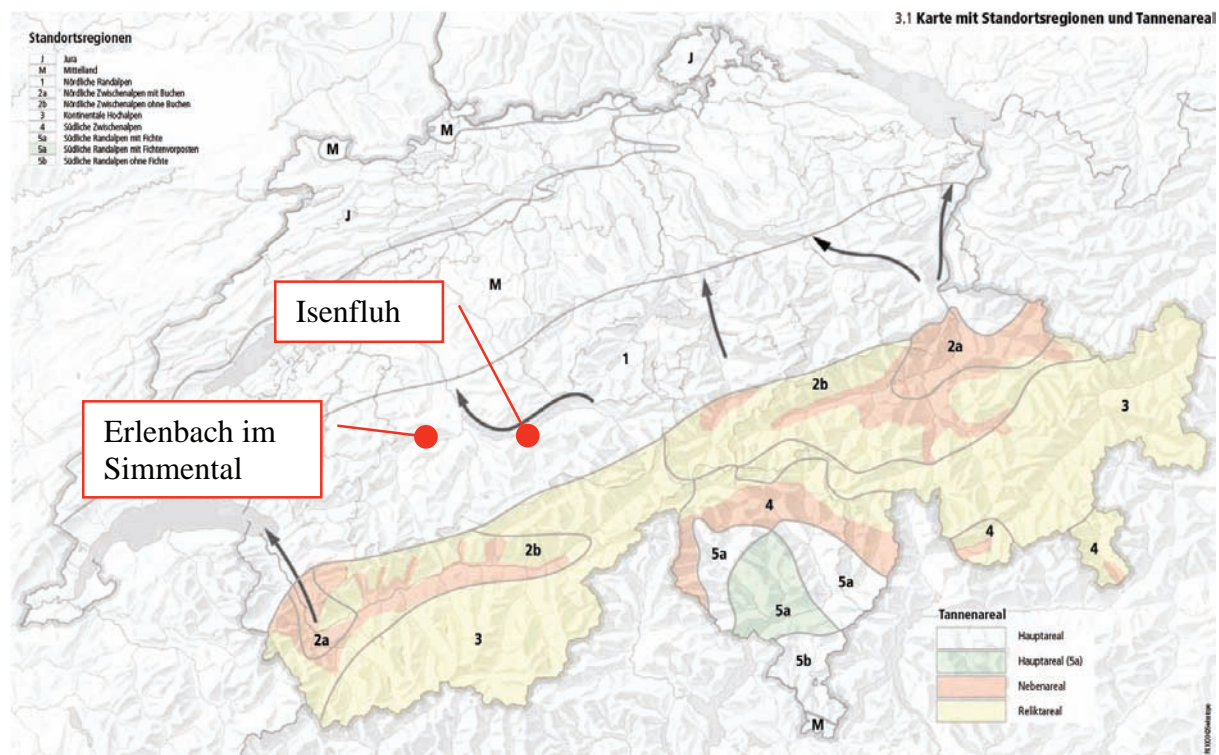


Abb. 0: Übersicht über die Lage des Perimeters für die Sommertagung 2009 der GWG und die Orte, an welchen mit Simulationsmodellen Berechnungen zukünftiger Eigenschaften der Waldvegetation gemacht wurden. Quelle der Karte: Frehner et al. (2005), NaiS.

Die langfristig zu erwartenden potentiellen Verbreitungsgebiete der Baumarten sind im **fünften Kapitel** zu finden; sie wurden mit einem *statischen* „bioclimatic envelope modelling“-Ansatz hergeleitet. Deshalb beschreiben die Simulationsergebnisse einen unter einem konstanten Klima zu erwartenden Gleichgewichtszustand, der mit Sicherheit in jenem Jahr, für welches das Klimaszenario gerechnet wurde, nicht erreicht sein wird (vgl. Zimmermann & Bugmann 2008, *SZF*).

Im **sechsten Kapitel** schliesslich finden Sie eine Interpretation der Klimaszenarien im Hinblick auf die Wasserbilanz an den vier Standorten sowie eine tabellarische Zusammenstellung der Limitierung der Baumarten durch abiotische Faktoren (Klima) im Hinblick auf ihre Anbau-Eignung.

Die meisten Klimaszenarien ergeben eine erhöhte Variabilität der Klimavariablen (Abb. 1). In *allen* Simulationsergebnissen, die im vorliegenden Dossier dargestellt sind, wird die Klimavariabilität entweder gar nicht berücksichtigt (Verbreitungs-Modellierung, Kapitel 5), oder es wird angenommen, dass die zukünftige Variabilität identisch ist mit der heutigen Variabilität (Baumartenzusammensetzung, Kapitel 4).

Bei Ihren Überlegungen sollten Sie aber die grössere Häufigkeit von Extremereignissen (v.a. Stürmen und Trockenheit) ebenfalls in Betracht ziehen, auch wenn dazu keine quantitativen Abschätzungen vorliegen.

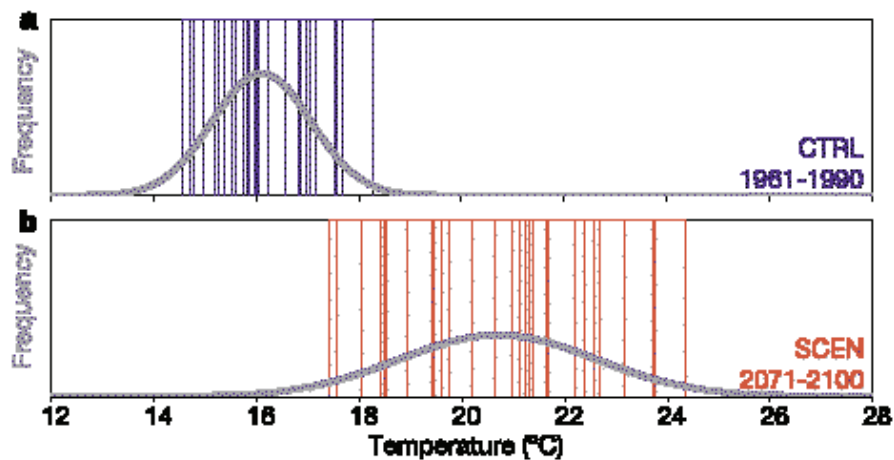


Abb. 1: Veränderung der Klima-Variabilität für das Schweizer Mittelland gemäss Simulationen von Schär et al. (2004), *Nature* **427**: 332-336.

## 2. Heutiges Klima für die Region Wilderswil

Tab. 1: Heutige Klimaverhältnisse an den vier Untersuchungsobjekten nach Daten der WSL (1976-2002), interpoliert aufgrund der verfügbaren Stationsdaten von MeteoSchweiz; (N. Zimmermann & D. Schmatz, pers. Mitt.).

### a) Nieender [1440 m]

	T [°C]	NS [mm]
Jan	-3.3	92
Feb	-2.9	114
Mar	-0.5	102
Apr	2.1	133
Mai	6.9	132
Jun	10.4	174
Jul	13.0	166
Aug	13.6	157
Sep	10.6	139
Okt	7.1	117
Nov	2.3	98
Dez	-1.7	105
<i>Jahr</i>	<i>4.8</i>	<i>1529</i>

### c) Sprysen [1300 m]

	T [°C]	NS [mm]
Jan	-2.8	89
Feb	-2.3	111
Mar	0.3	98
Apr	3.0	126
Mai	7.8	126
Jun	11.3	165
Jul	13.9	158
Aug	14.5	151
Sep	11.4	133
Okt	7.8	112
Nov	2.9	95
Dez	-1.1	103
<i>Jahr</i>	<i>5.6</i>	<i>1467</i>

### b) Inhalti [1350 m]

	T [°C]	NS [mm]
Jan	-3.1	91
Feb	-2.6	114
Mar	-0.1	101
Apr	2.5	130
Mai	7.4	129
Jun	10.9	170
Jul	13.5	163
Aug	14.1	155
Sep	11.0	137
Okt	7.5	115
Nov	2.6	97
Dez	-1.4	104
<i>Jahr</i>	<i>5.2</i>	<i>1505</i>

### d) Brendli [1050 m]

	T [°C]	NS [mm]
Jan	-1.8	83
Feb	-1.1	103
Mar	1.8	90
Apr	4.7	114
Mai	9.6	116
Jun	13.1	155
Jul	15.6	148
Aug	16.2	141
Sep	13.0	126
Okt	9.2	102
Nov	4.0	90
Dez	-0.1	97
<i>Jahr</i>	<i>7.0</i>	<i>1364</i>

### 3. Einfache Analogie-Überlegungen

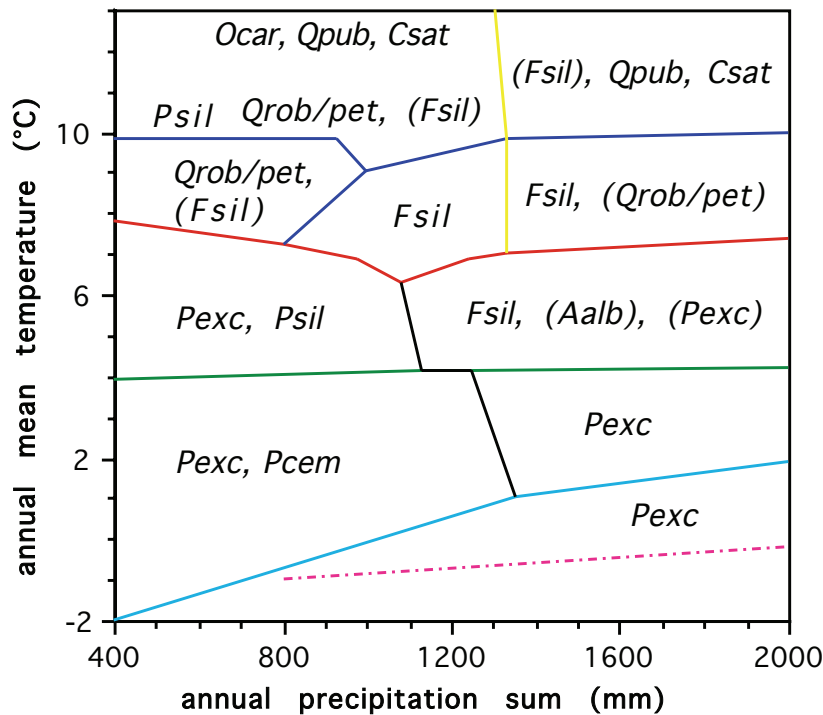


Abb. 2: In Europa dominierende Baumarten in einem Klimaraum, der durch die Jahres-Mitteltemperatur und die Jahres-Niederschlagssumme aufgespannt wird (nach Ellenberg 1986, 1996).

NB: Die Farbe der Linien ist bedeutungslos.

#### Abkürzungen der Baumarten:

Aalb – Abies alba;	Csat – Castanea sativa;	Fsil – Fagus silvatica;
Ocar – Ostrya carpinifolia	Pcem – Pinus cembra;	Pexc – Picea excelsa = Picea abies;
Psil – Pinus silvestris;	Qpet – Quercus petraea;	Qpub – Q. pubescens;
		Qrob – Q. robur.

Die strich-gepunktete Linie am unteren Ende der Abbildung gibt die ungefähre Lage der alpinen Waldgrenze an (Abbildung aus Bugmann 1994).

## 4. Sukzessions-Dynamik im Simmental

Tab. 2: Klimaveränderung in den Berner Randalpen (Simmental) für die Periode 2076-2100 gemäss dem A1B-Szenario des IPCC Fourth Assessment Report (IPCC 2007; Daten aus dem ENSEMBLES-Projekt, errechnet durch IAC ETH Zürich), dargestellt als Veränderung gegenüber 1961-2000.

Jahreszeit	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (%)
Frühling	3.8	-5.4
Sommer	5.3	-23.6
Herbst	4.4	-10.9
Winter	3.5	0.2

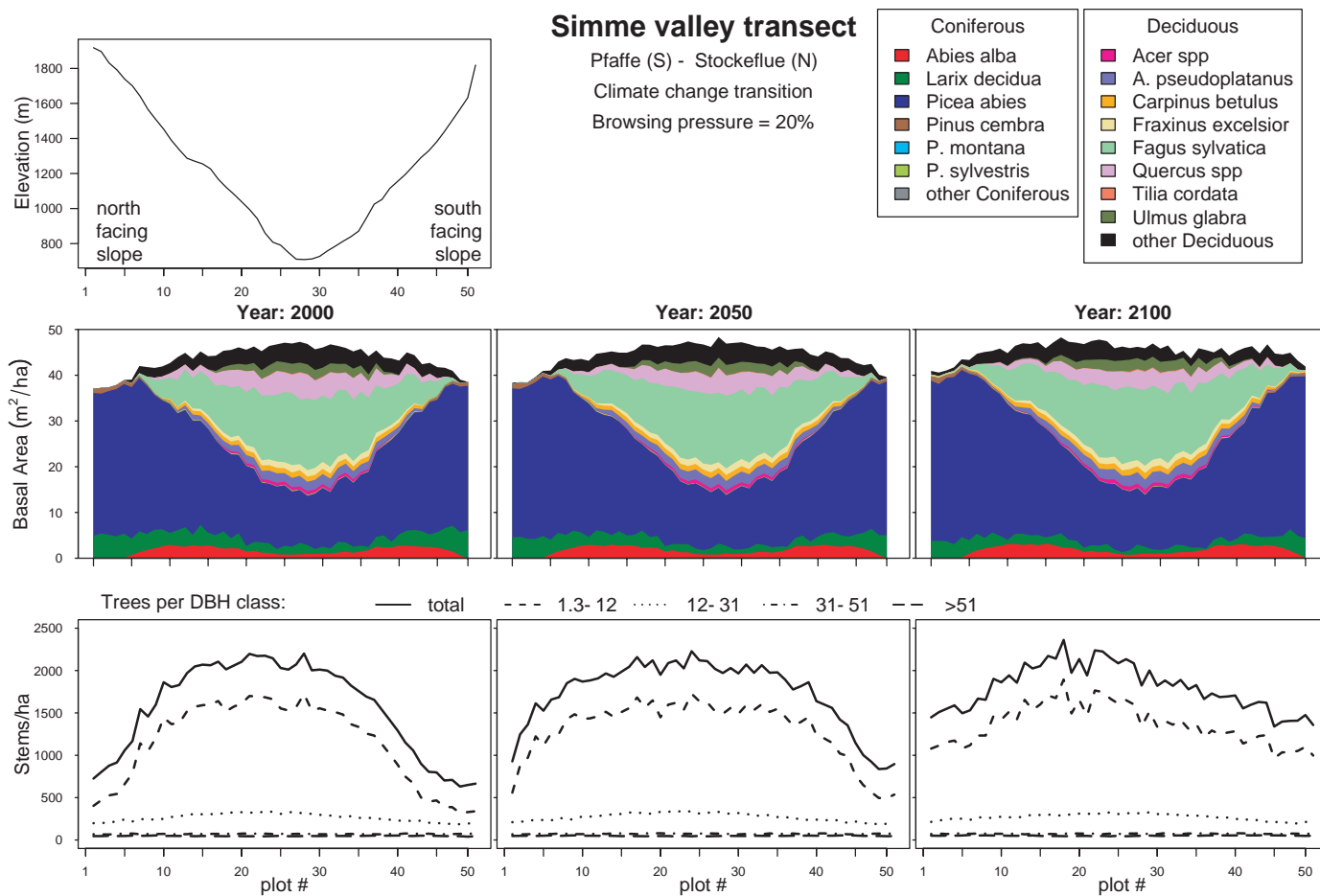


Abb. 3: Simulierte Baumartenzusammensetzung in unbewirtschafteten Wäldern entlang eines Höhentransekts zwischen Pfaffe (N-exponierter Hang, links) und Stockeflue (S-exponierter Hang, rechts) bei Erlenbach im Simmental (BE); Daten von M. Didion (Professur Waldökologie ETHZ, Publikation in Vorbereitung). Ergebnisse des dynamischen Sukzessionsmodells ForClim basierend auf dem in Tab. 2 dargestellten Klimaszenario.

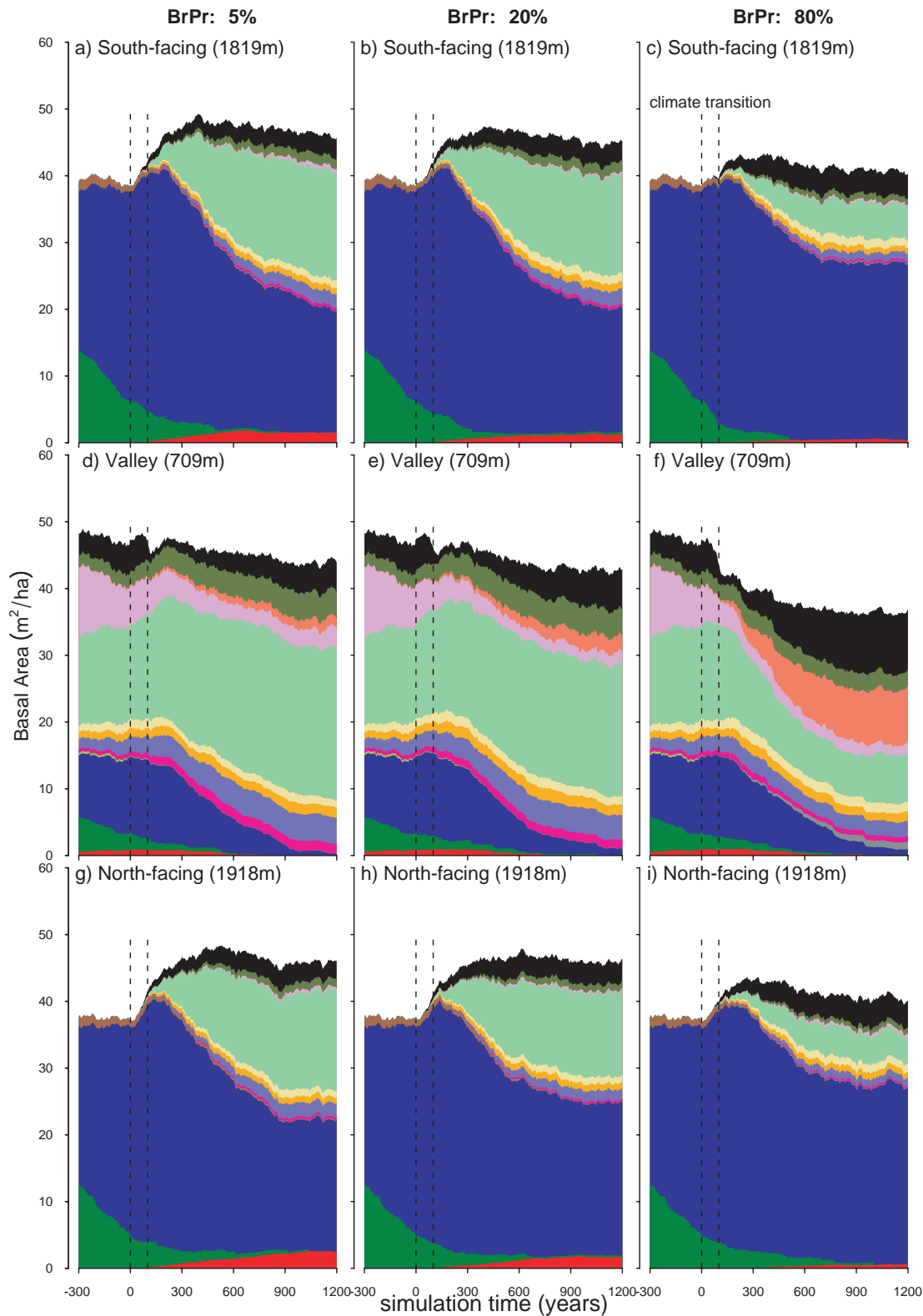


Abb. 4: Simulierte Entwicklung der Baumartenzusammensetzung über die Zeit in unbewirtschafteten Wäldern an drei Punkten des Höhentransekts zwischen Stockenflue (1819 m ü.M., S-exponierter Hang) und Pfaffen (1918 m ü.M., N-exponierter Hang) im Simmental (BE); Daten von M. Didion (Professur Waldökologie ETHZ, Publikation in Vorbereitung). Farbcodes für die Baumarten und Klimaszenario wie in Abb. 3. BrPr = Verbissdruck. Das Simulationsjahr „0“ entspricht dem Kalenderjahr 2000; danach ändert sich das Klima linear während 100 Jahren, und ab dem Simulationsjahr 100 wird es während 1100 Jahren wiederum konstant gehalten auf dem Niveau des Klima-Szenarios.

## 5. Potentielle Verbreitungsgebiete wichtiger einheimischer Baumarten

### 5.1 Klimaszenarien

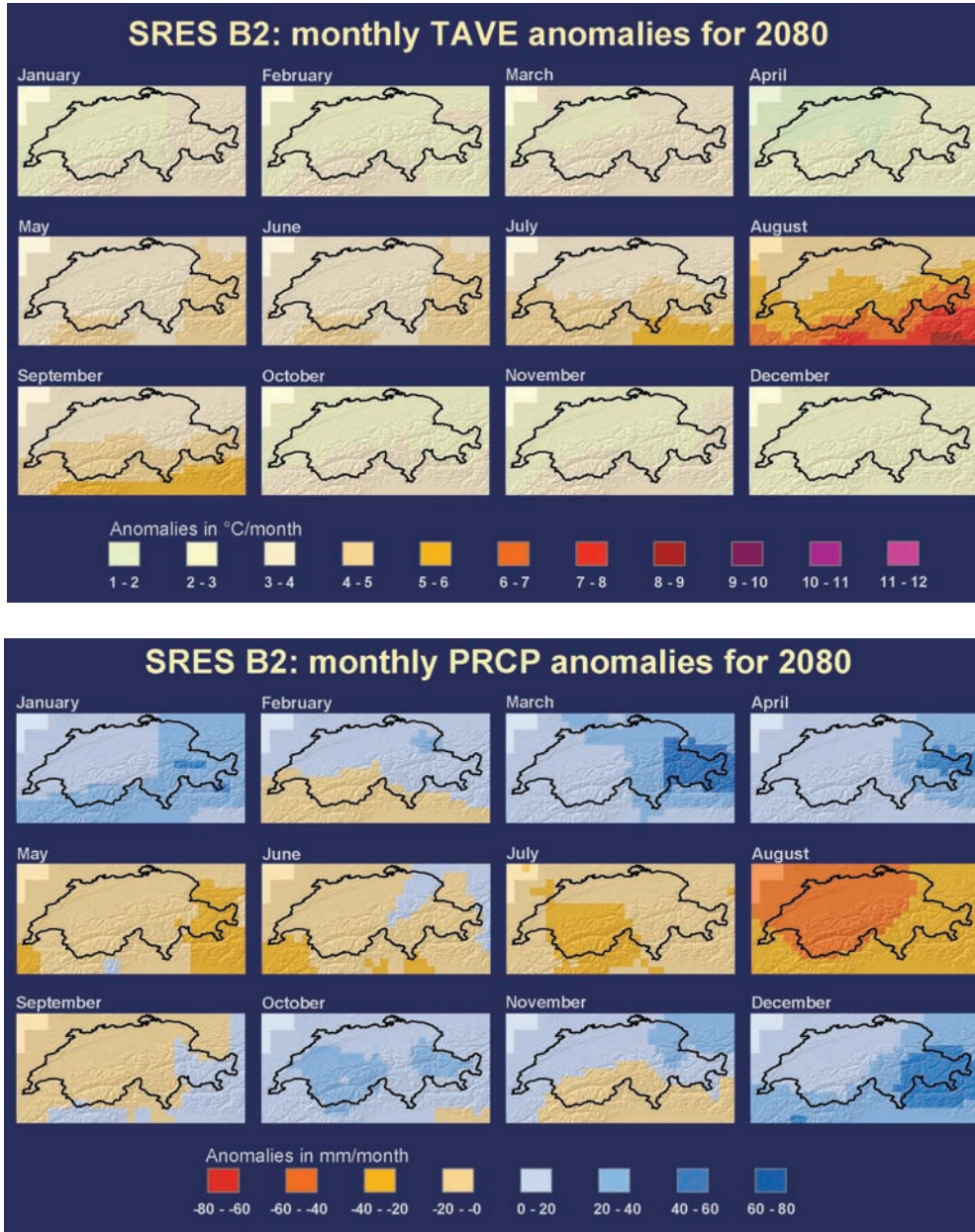


Abb. 5: Klimaszenarien für die Modellierung der Veränderungen der potentiellen Verbreitungsgebiete der Baumarten nach dem B2-Szenario des IPCC. Oben: Mitteltemperatur; unten: Niederschlagssumme. Daten: CRU, Norwich, basierend auf dem HadCM3-Modell, IPCC AR3.

Tab. 3: Zusammenfassung der erwarteten Änderungen (Anomalien), Szenario B2 (vgl. Abb. 5).

	$\Delta$ Temperatur	$\Delta$ Niederschlag
<b>Jahresmittel</b>	<b>3.4 °C</b> [ $\pm 0.29$ ]	<b>+3 mm/Mt</b> [ $\pm 5.2$ ]
<i>Sommer</i>	<b>3.8 °C</b> [ $\pm 0.44$ ]	<b>-12 mm/Mt</b> [ $\pm 4.0$ ]
<i>Winter</i>	<b>2.9 °C</b> [ $\pm 0.19$ ]	<b>+17 mm/Mt</b> [ $\pm 6.6$ ]
<b>Juni-August</b>	<b>4.3 °C</b> [ $\pm 0.50$ ]	<b>-22 mm/Mt</b> [ $\pm 3.9$ ]



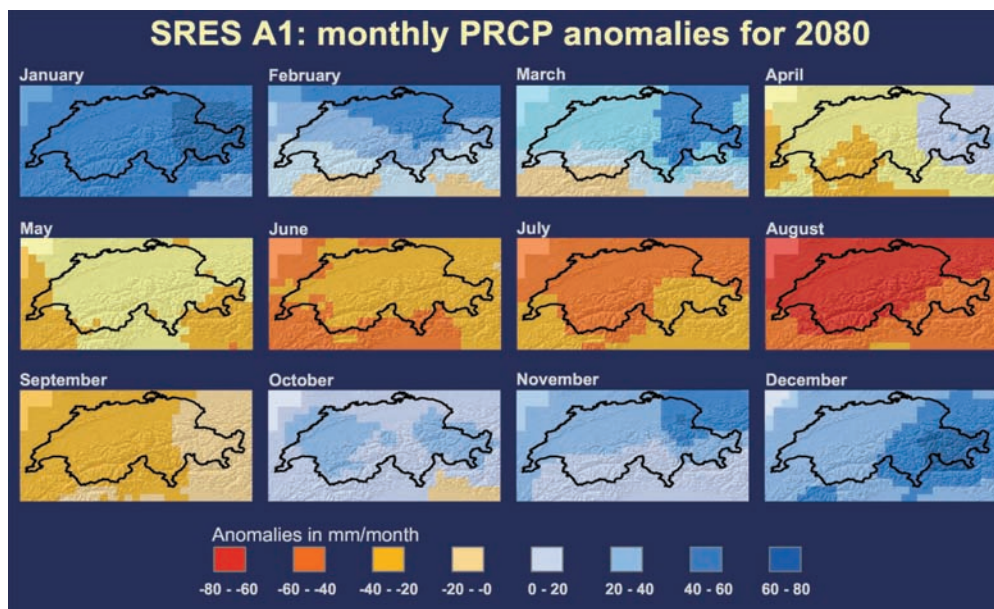
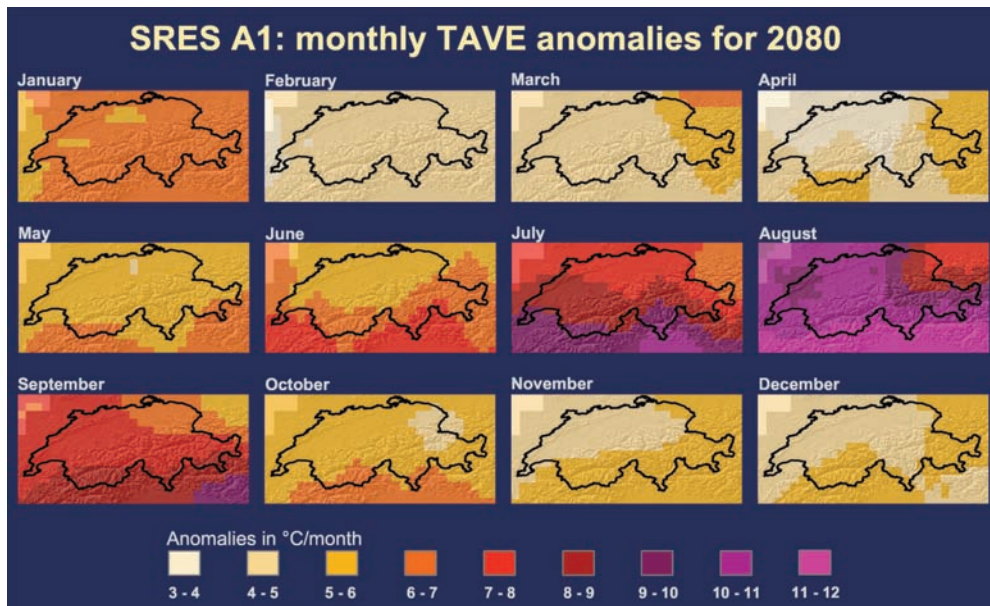


Abb. 6: Klimaszenarien für die Modellierung der Veränderungen der potentiellen Verbreitungsgebiete der Baumarten nach dem A1-Szenario des IPCC. Oben: Mitteltemperatur; unten: Niederschlagssumme. Daten: CRU, Norwich, basierend auf dem HadCM3-Modell, IPCC AR3.

Tab. 4: Zusammenfassung der erwarteten Änderungen (Anomalien), Szenario A1 (vgl. Abb. 6).

	$\Delta$ Temperatur	$\Delta$ Niederschlag
<b>Jahresmittel</b>	<b>6.1 °C</b> [ $\pm 0.34$ ]	<b>+0.2 mm/Mt</b> [ $\pm 6.2$ ]
<i>Sommer</i>	<b>7.0 °C</b> [ $\pm 0.56$ ]	<b>-33 mm/Mt</b> [ $\pm 5.6$ ]
<i>Winter</i>	<b>5.1 °C</b> [ $\pm 0.26$ ]	<b>+33 mm/Mt</b> [ $\pm 8.8$ ]
<b>Juni-August</b>	<b>8.2 °C</b> [ $\pm 0.76$ ]	<b>-49 mm/Mt</b> [ $\pm 5.8$ ]

5.2 Potentielle Verbreitungsgebiete der Baumarten

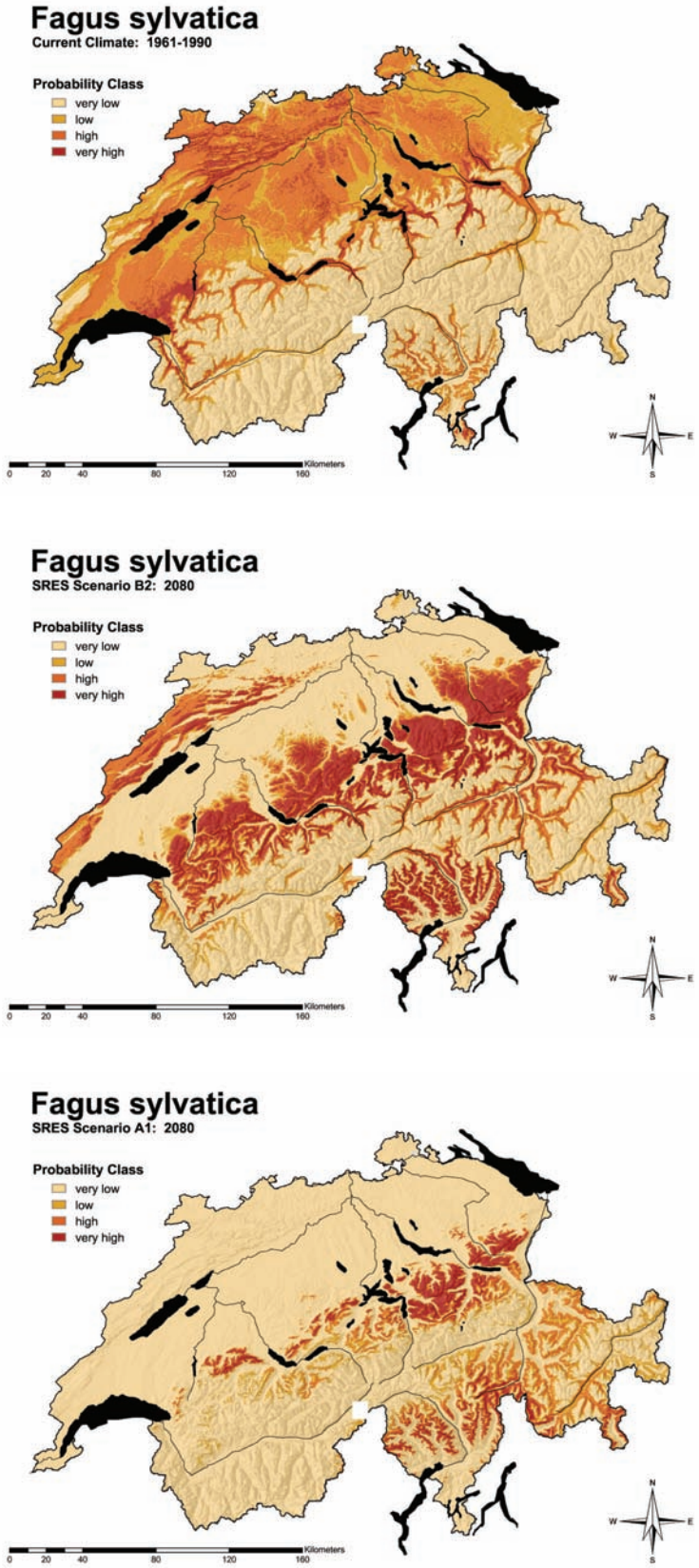
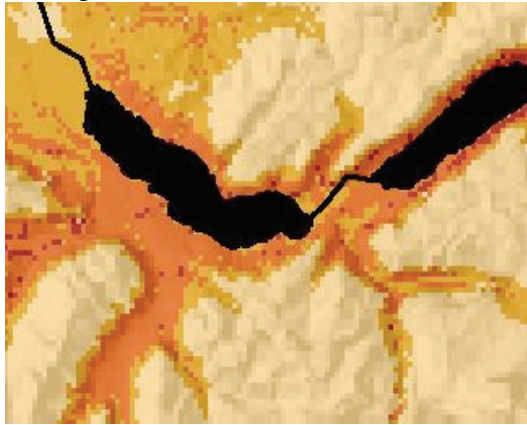


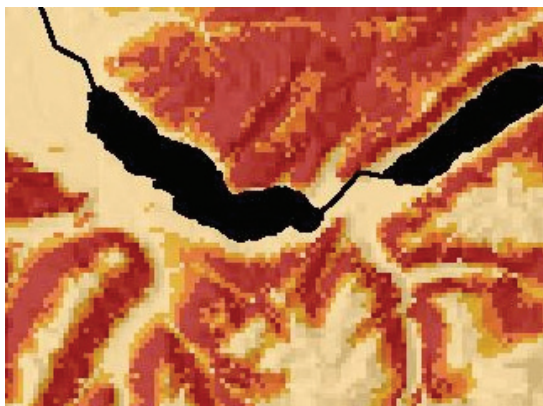
Abb. 7: Verbreitungsgebiete der Buche (Quelle: N. Zimmermann et al., WSL).

**Buche (*Fagus sylvatica*), Ausschnitte für das Gebiet von Interlaken:**

Heutiges Klima



B2-Szenario



A1-Szenario

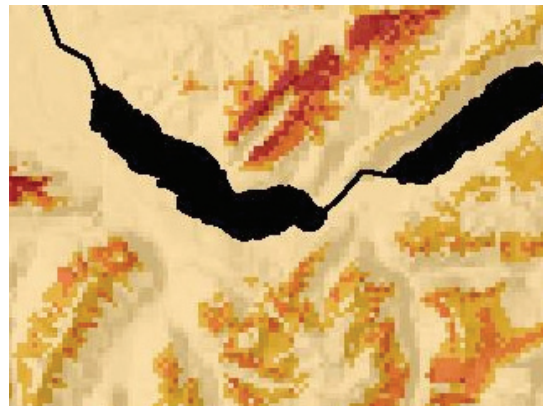


Abb. 8: Ausschnitt aus Abb. 7 für das Gebiet von Interlaken und Umgebung.

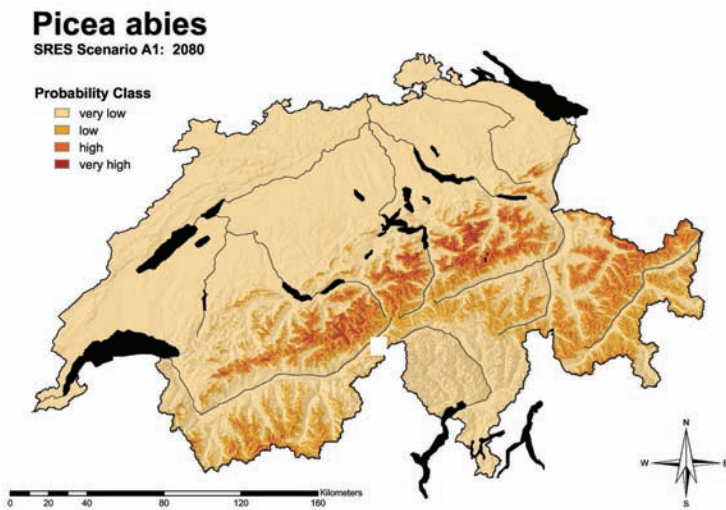
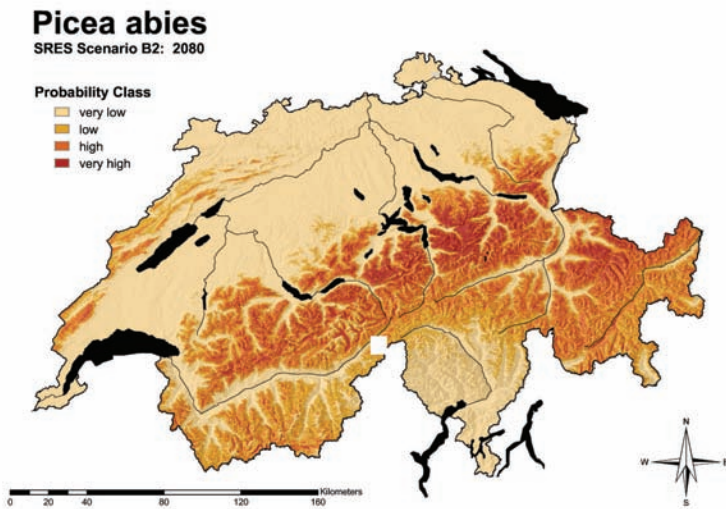
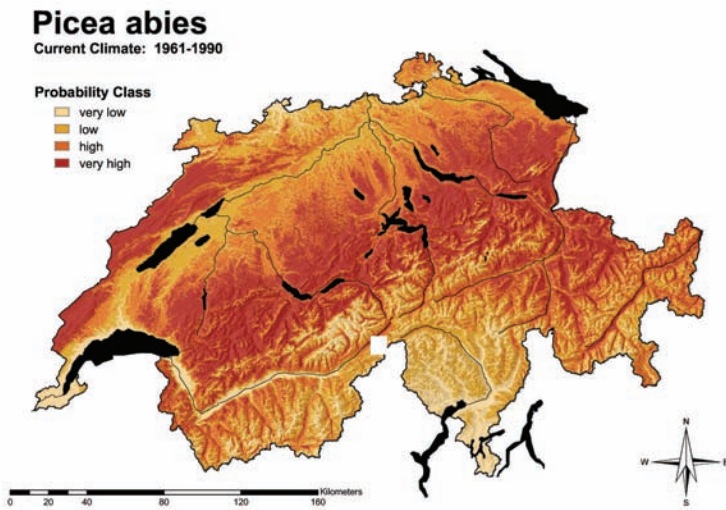
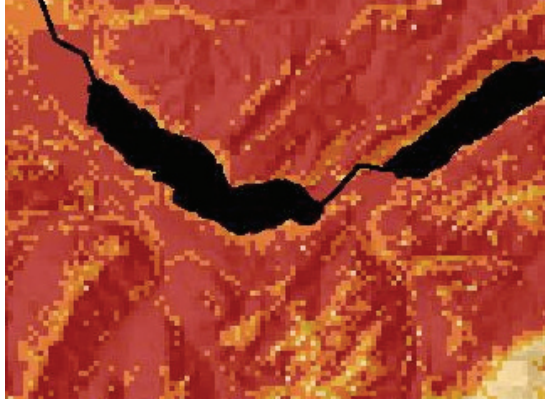


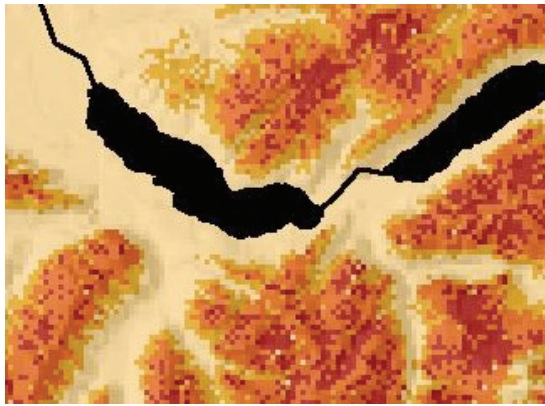
Abb. 9: Verbreitungsgebiete der Fichte (Quelle: N. Zimmermann et al., WSL).

**Fichte (*Picea abies*), Ausschnitte für das Gebiet von Interlaken:**

Heutiges Klima



B2-Szenario



A1-Szenario

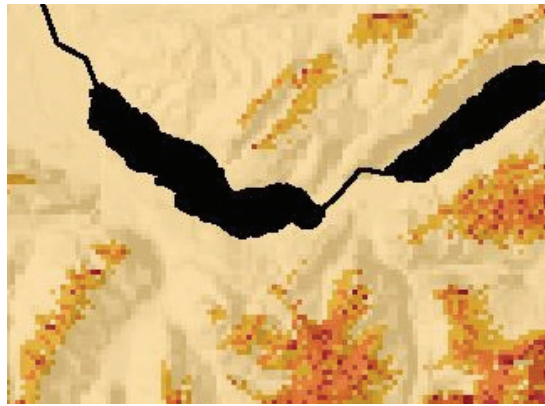


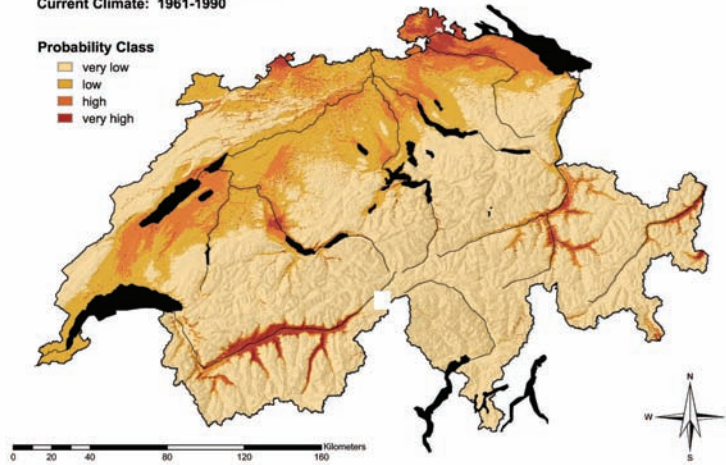
Abb. 10: Ausschnitt aus Abb. 9 für das Gebiet von Interlaken und Umgebung.

## Pinus sylvestris

Current Climate: 1961-1990

### Probability Class

- very low
- low
- high
- very high

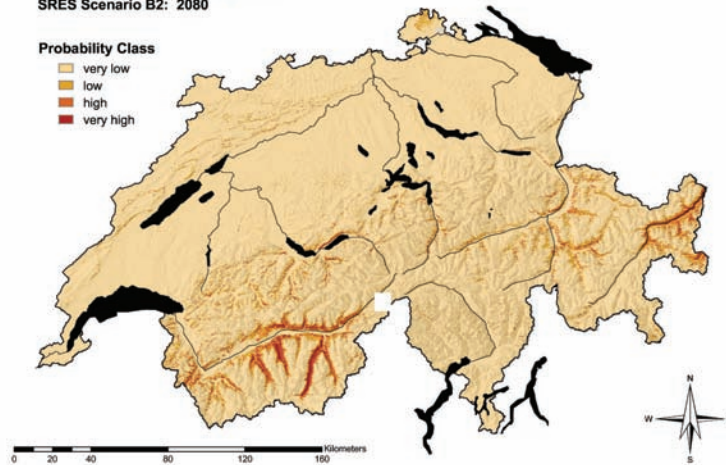


## Pinus sylvestris

SRES Scenario B2: 2080

### Probability Class

- very low
- low
- high
- very high



## Pinus sylvestris

SRES Scenario A1: 2080

### Probability Class

- very low
- low
- high
- very high

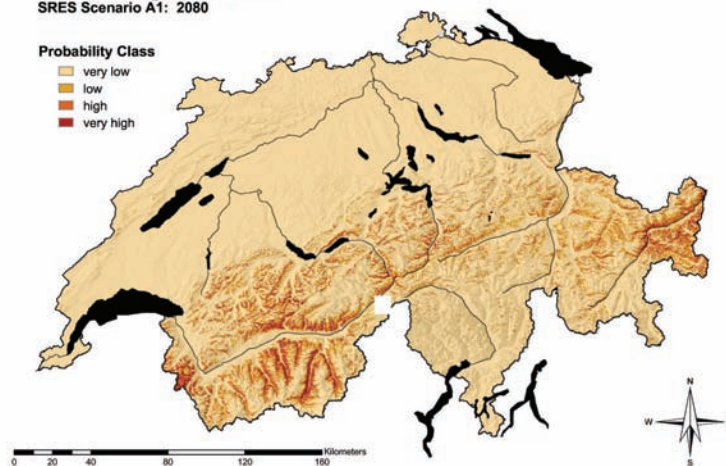
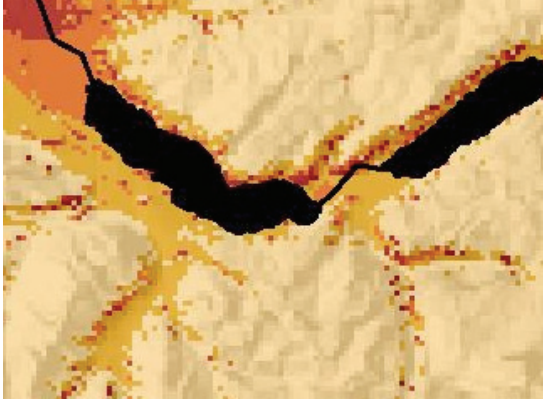


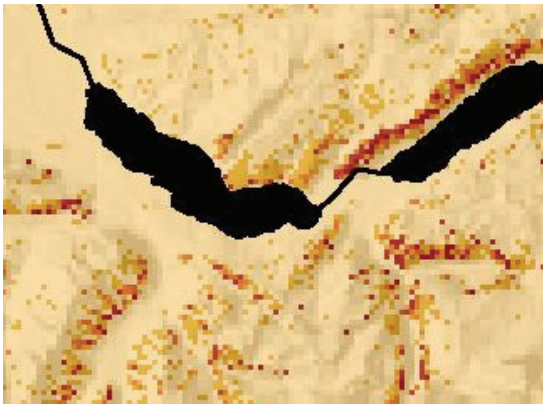
Abb. 11: Verbreitungsgebiete der Waldföhre (Quelle: N. Zimmermann et al., WSL).

**Waldföhre (*Pinus sylvestris*), Ausschnitte für das Gebiet von Interlaken:**

Heutiges Klima



B2-Szenario



A1-Szenario

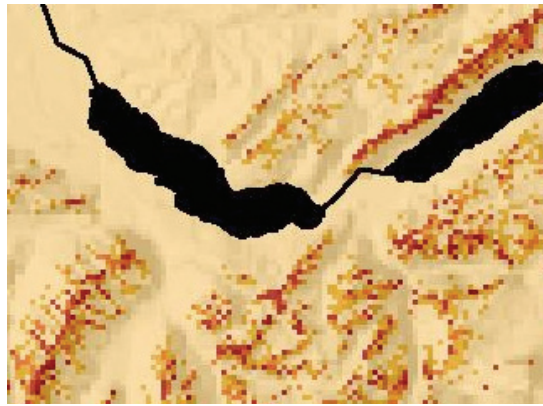


Abb. 12: Ausschnitt aus Abb. 11 für das Gebiet von Interlaken und Umgebung.

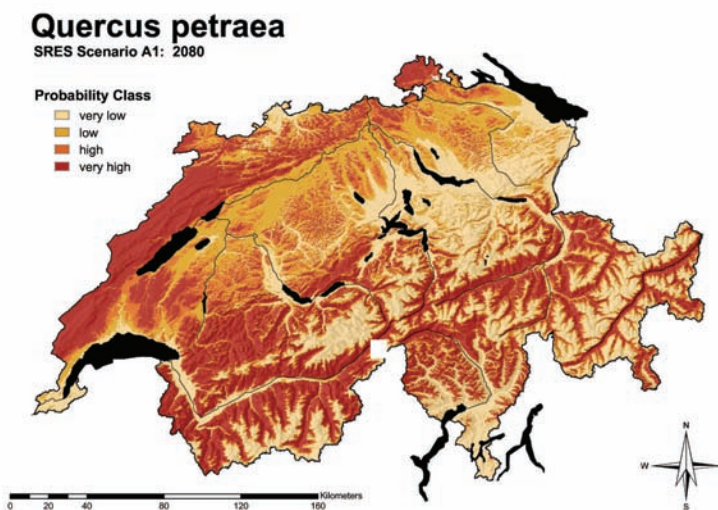
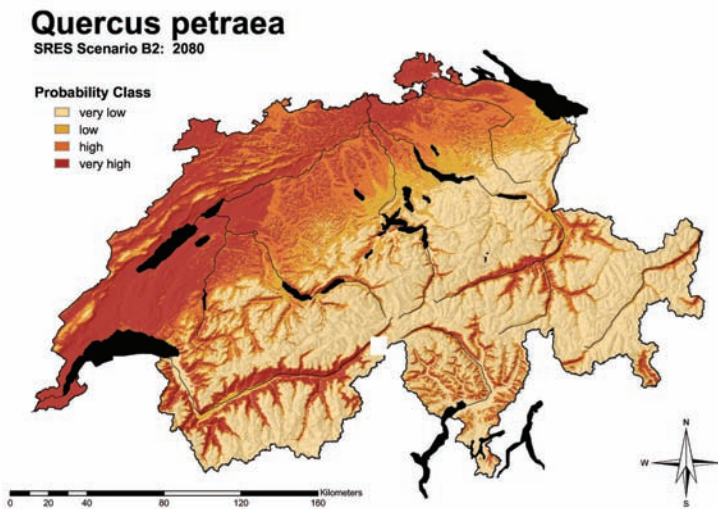
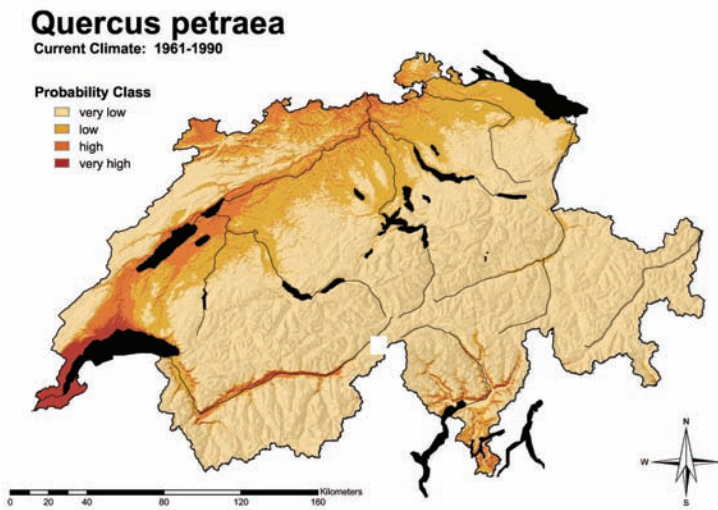
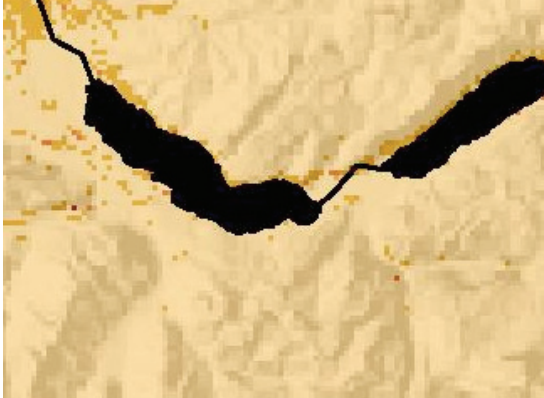


Abb. 13: Verbreitungsgebiete der Traubeneiche (Quelle: N. Zimmermann et al., WSL).

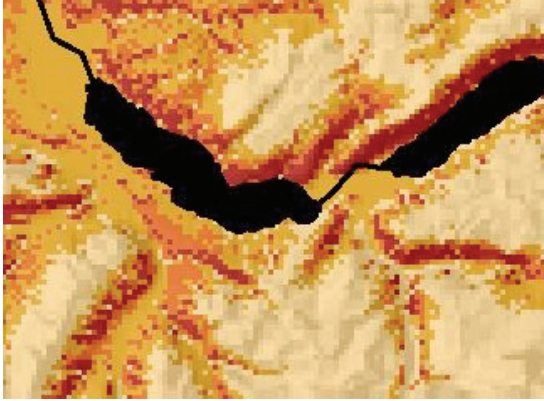


**Traubeneiche (*Quercus petraea*), Ausschnitte für das Gebiet von Interlaken:**

Heutiges Klima



B2-Szenario



A1-Szenario

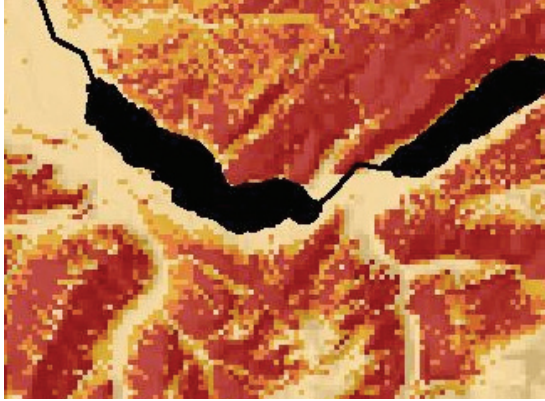


Abb. 14: Ausschnitt aus Abb. 13 für das Gebiet von Interlaken und Umgebung.

## 6. Interpretation der Klimaszenarien hinsichtlich der Anbaueignung von Baumarten

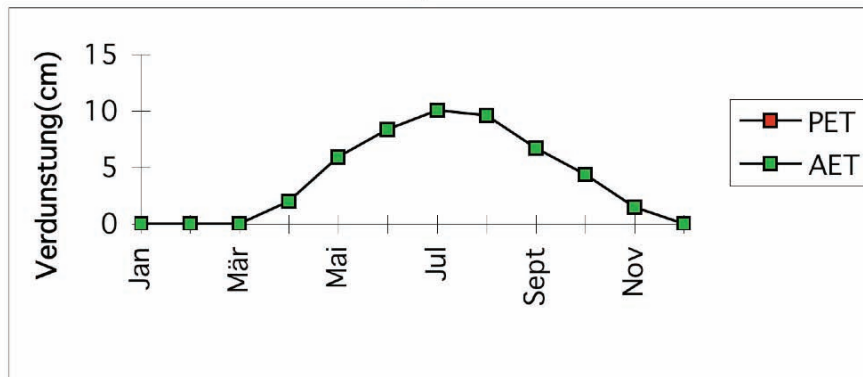
### 6.1 Wasserbilanz der vier Standorte bei mittlerer Wasserversorgung

gerechnet nach Bugmann & Cramer (1998), *Forest Ecology & Management* **103**: 247-263.

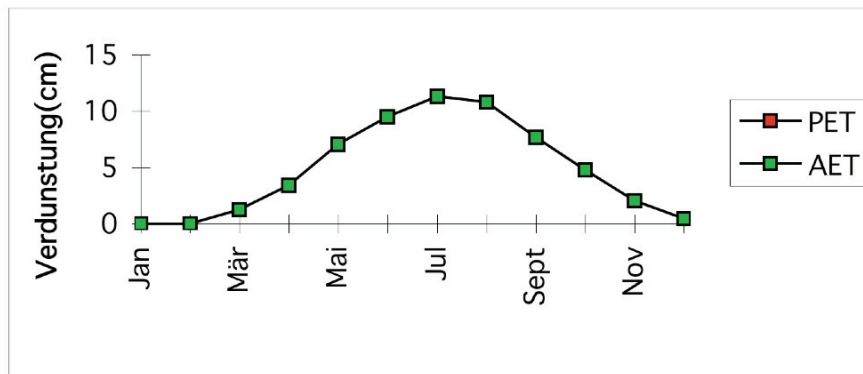
Klimaszenarien gemäss Tab. 3 & 4 (WSL-Daten, IPCC 2007).

#### a) Nieender

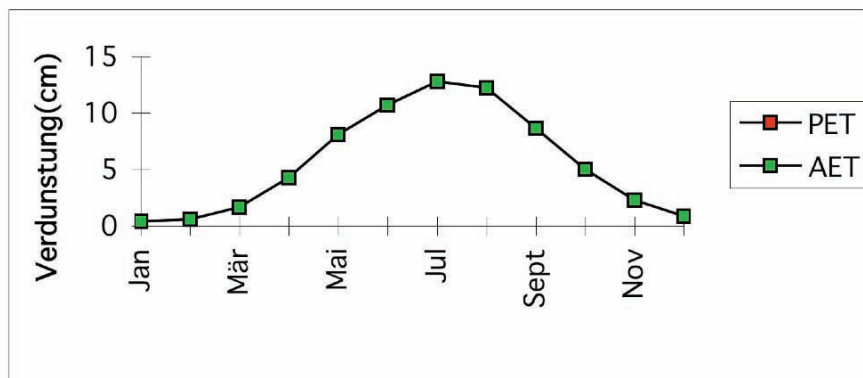
Heutiges Klima:



B2-Szenario:



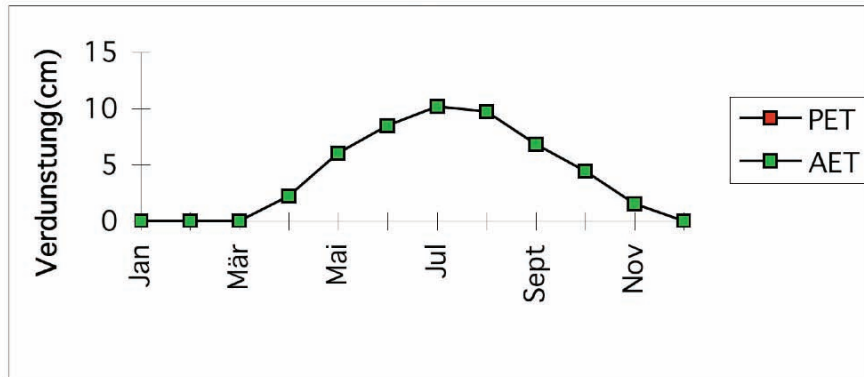
A1-Szenario:



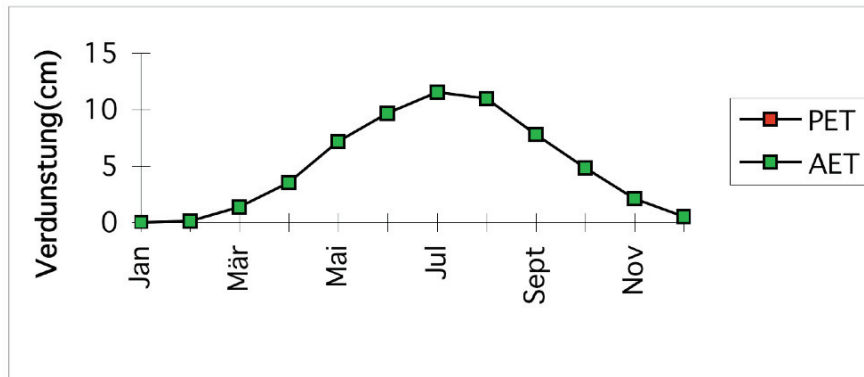
AET = aktuelle Evapotranspiration  
 PET = potentielle Evapotranspiration

## b) Inhalt

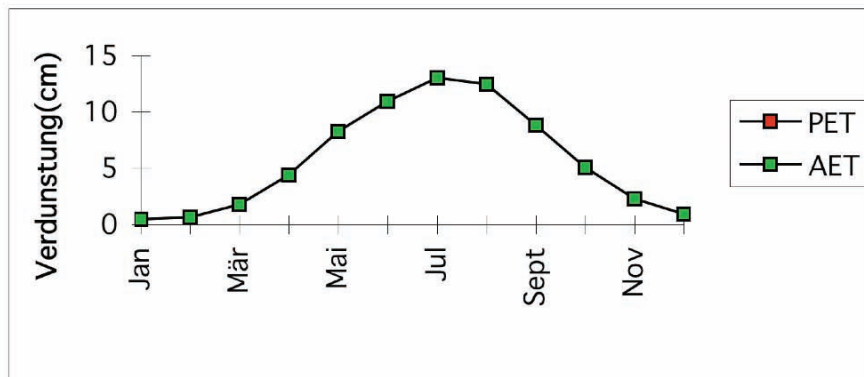
Heutiges Klima:



B2-Szenario:



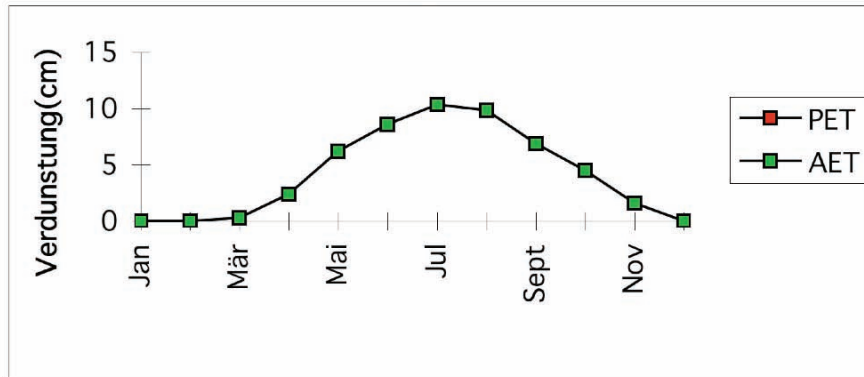
A1-Szenario:



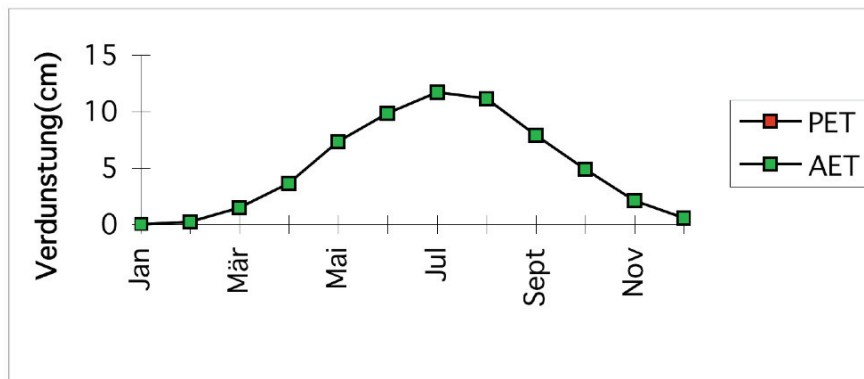
AET = aktuelle Evapotranspiration  
PET = potentielle Evapotranspiration

### c) Spryszen

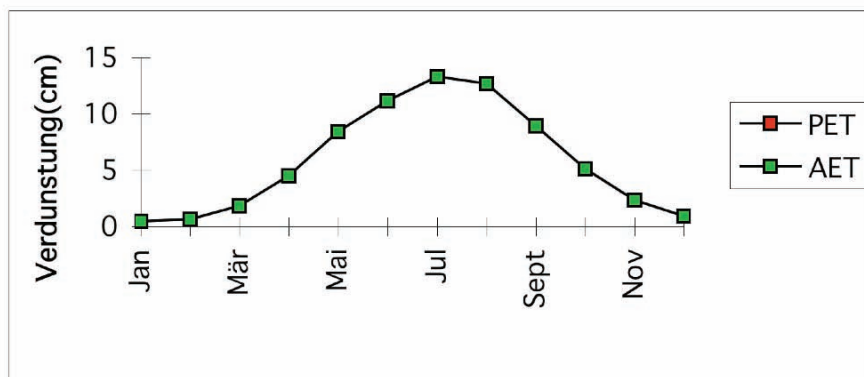
Heutiges Klima:



B2-Szenario:



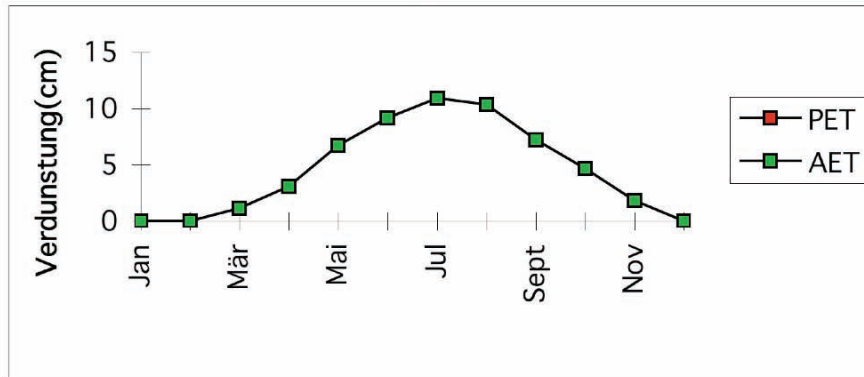
A1-Szenario:



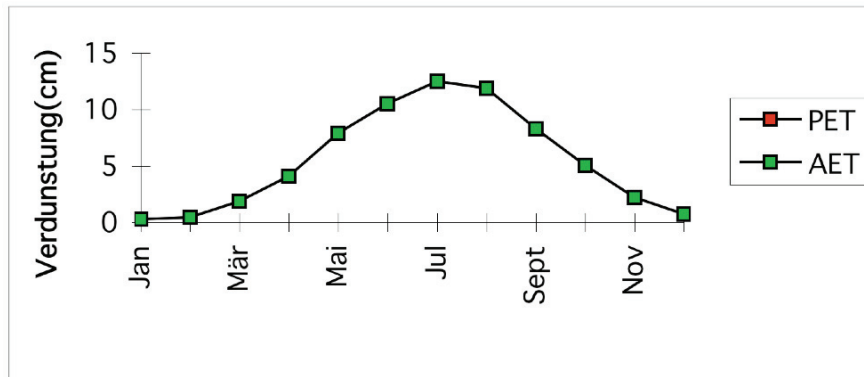
AET = aktuelle Evapotranspiration  
PET = potentielle Evapotranspiration

## d) Brendli

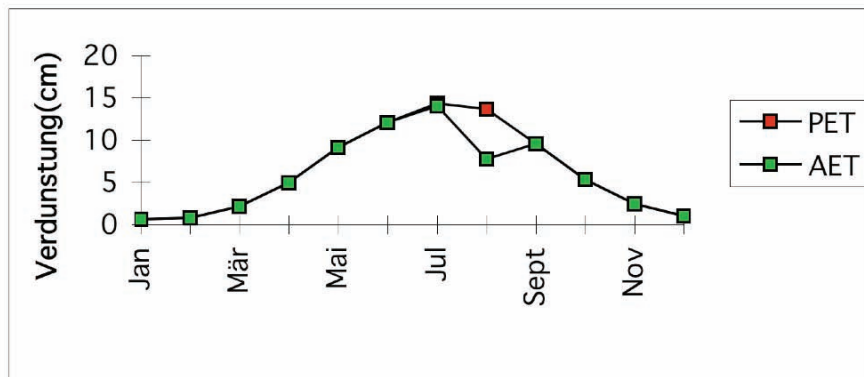
Heutiges Klima:



B2-Szenario:



A1-Szenario:



AET = aktuelle Evapotranspiration  
PET = potentielle Evapotranspiration

## 6.2 Bioklimatische Limitierungen für wichtige Baumarten

### a) Nieender

Baumart	Heutiges Klima		B2-Szenario		A1-Szenario	
	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT
<i>Abies alba</i>	(+)	(+)	++	–	++	–
<i>Larix decidua</i>	++	++	++	(+)	++	–
<i>Picea abies</i>	++	++	++	(+)	++	–
<i>Pinus cembra</i>	++	–	++	–	++	–
<i>Pinus montana</i>	++	(+)	++	–	++	–
<i>Pinus silvestris</i>	(+)	++	++	++	++	(+)
<i>Taxus baccata</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Acer platanoides</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Acer pseudoplatanus</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Carpinus betulus</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Castanea sativa</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Fagus sylvatica</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Fraxinus excelsior</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Quercus robur</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Quercus pubescens</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Quercus petraea</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Sorbus aucuparia</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Tilia cordata</i>	–	++	(+)	++	++	++
<i>Tilia platyphyllos</i>	–	++	(+)	++	++	++
<i>Ulmus glabra</i>	–	++	++	++	++	++

DD = Tagesgrad-Summe (= Sommer-Wärme)

MinT/MaxT = Minimal- oder Maximaltemperatur (Kälte, Frost, Hitze)

++ = keine Limitierung, Anbaueignung gegeben

(+) = Baumart im Grenzbereich der Ansprüche

– = Anbaueignung nicht gegeben

## b) Inhalt

Baumart	Heutiges Klima		B2-Szenario		A1-Szenario	
	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT
<i>Abies alba</i>	++	(+)	++	-	++	-
<i>Larix decidua</i>	++	++	++	(+)	++	-
<i>Picea abies</i>	++	++	++	(+)	++	-
<i>Pinus cembra</i>	++	-	++	-	++	-
<i>Pinus montana</i>	++	(+)	++	-	++	-
<i>Pinus silvestris</i>	++	++	++	++	++	-
<i>Taxus baccata</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Acer platanoides</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Acer pseudoplatanus</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Carpinus betulus</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Castanea sativa</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Fagus sylvatica</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Fraxinus excelsior</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Quercus robur</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Quercus pubescens</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Quercus petraea</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Sorbus aucuparia</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Tilia cordata</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Tilia platyphyllos</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Ulmus glabra</i>	-	++	++	++	++	++

DD = Tagesgrad-Summe (= Sommer-Wärme)

MinT/MaxT = Minimal- oder Maximaltemperatur (Kälte, Frost, Hitze)

++ = keine Limitierung, Anbaueignung gegeben

(+) = Baumart im Grenzbereich der Ansprüche

- = Anbaueignung nicht gegeben

### c) Spryszen

Baumart	Heutiges Klima		B2-Szenario		A1-Szenario	
	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT
<i>Abies alba</i>	++	(+)	++	-	++	-
<i>Larix decidua</i>	++	++	++	-	++	-
<i>Picea abies</i>	++	++	++	-	++	-
<i>Pinus cembra</i>	++	-	++	-	++	-
<i>Pinus montana</i>	++	(+)	++	-	++	-
<i>Pinus silvestris</i>	++	++	++	(+)	++	-
<i>Taxus baccata</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Acer platanoides</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Acer pseudoplatanus</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Carpinus betulus</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Castanea sativa</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Fagus sylvatica</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Fraxinus excelsior</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Quercus robur</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Quercus pubescens</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Quercus petraea</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Sorbus aucuparia</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Tilia cordata</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Tilia platyphyllos</i>	-	++	++	++	++	++
<i>Ulmus glabra</i>	-	++	++	++	++	++

DD = Tagesgrad-Summe (= Sommer-Wärme)

MinT/MaxT = Minimal- oder Maximaltemperatur (Kälte, Frost, Hitze)

++ = keine Limitierung, Anbaueignung gegeben

(+) = Baumart im Grenzbereich der Ansprüche

- = Anbaueignung nicht gegeben



## d) Brendli

Baumart	Heutiges Klima		B2-Szenario		A1-Szenario	
	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT	DD	MinT/MaxT
<i>Abies alba</i>	++	–	++	–	++	–
<i>Larix decidua</i>	++	(+)	++	–	++	–
<i>Picea abies</i>	++	(+)	++	–	++	–
<i>Pinus cembra</i>	++	–	++	–	++	–
<i>Pinus montana</i>	++	–	++	–	++	–
<i>Pinus silvestris</i>	++	++	++	(+)	++	–
<i>Taxus baccata</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Acer platanoides</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Acer pseudoplatanus</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Carpinus betulus</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Castanea sativa</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Fagus sylvatica</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Fraxinus excelsior</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Quercus robur</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Quercus pubescens</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Quercus petraea</i>	(+)	++	++	++	++	++
<i>Sorbus aucuparia</i>	++	++	++	++	++	++
<i>Tilia cordata</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Tilia platyphyllos</i>	–	++	++	++	++	++
<i>Ulmus glabra</i>	(+)	++	++	++	++	++

DD = Tagesgrad-Summe (= Sommer-Wärme)

MinT/MaxT = Minimal- oder Maximaltemperatur (Kälte, Frost, Hitze)

++ = keine Limitierung, Anbaueignung gegeben

(+) = Baumart im Grenzbereich der Ansprüche

– = Anbaueignung nicht gegeben