



# Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Pflanzengemeinschaften im Nationalpark Berchtesgaden



# Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Pflanzengemeinschaften im Nationalpark Berchtesgaden

Dr. Thomas Kudernatsch  
TU München

**Impressum:**

Nationalpark Berchtesgaden  
Forschungsbericht 52/2006

Herausgeber:

Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, Doktorberg 6,  
D-83471 Berchtesgaden, Telefon 0 86 52/96 86-0, Telefax 0 86 52/96 86 40,  
e-Mail: [poststelle@npv-bgd.bayern.de](mailto:poststelle@npv-bgd.bayern.de)

Internet: <http://www.nationalpark-berchtesgaden.de>

im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Alle Rechte vorbehalten!

ISSN ????-????

ISBN ?-?????-??-?

Druck: Berchtesgadener Anzeiger, Berchtesgaden

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

Titelbild:

Erwärmte OTC-Flächen und benachbarte, nicht erwärmte Kontrollflächen im Polsterseggenrasen.

Durch den Vergleich von erwärmten mit nicht erwärmten Flächen können die Auswirkungen  
einer Temperaturerhöhung auf die Vegetation untersucht werden.

Fotos:

????????????

????????????????????

# Inhaltsverzeichnis

## Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Pflanzengemeinschaften im Nationalpark Berchtesgaden

<b>1</b>	<b>Einführung und übergeordnete Fragestellung</b> . . . . .	??
<b>2</b>	<b>Mittelfristige Vegetationsveränderungen alpiner Rasen – Wiederholungsaufnahmen auf Quasi-Dauerflächen</b> . . . . .	??
2.1	Einleitung und Fragestellung . . . . .	??
2.2	Untersuchungsgebiet . . . . .	??
2.2.1	Lage . . . . .	??
2.2.2	Klima . . . . .	??
2.2.3	Geologie und Boden . . . . .	??
2.2.4	Vegetation . . . . .	??
2.3	Methodik . . . . .	??
2.3.1	Aufnahmen von 1988 . . . . .	??
2.3.2	Aufnahmen von 2003 . . . . .	??
2.3.3	Nomenklatorischer Abgleich . . . . .	??
2.3.4	Auswertungsverfahren . . . . .	??
2.3.4.1	Tabellenvergleich . . . . .	??
2.3.4.2	Multivariate Analyseverfahren . . . . .	??
2.3.4.3	Statistische Tests . . . . .	??
2.3.4.4	Eigenschaften von Arten . . . . .	??
2.4	Ergebnisse . . . . .	??
2.4.1	Klassifikation und standörtliche Einordnung der Vegetation . . . . .	??
2.4.2	Zeitliche Veränderungen der Vegetation . . . . .	??
2.4.2.1	Stetigkeit und Deckung . . . . .	??
2.4.2.2	Artenzahl . . . . .	??
2.4.2.3	Evenness . . . . .	??
2.4.2.4	Zeigerwerte . . . . .	??
2.4.2.5	Vegetationsdynamik in der Gradientenanalyse . . . . .	??
2.5	Diskussion . . . . .	??
2.6	Zusammenfassung . . . . .	??
<b>3</b>	<b>Kurzfristige Vegetationsveränderungen alpiner Rasen – Erwärmungsexperimente</b> . . . . .	??
3.1	Einleitung und Fragestellung . . . . .	??
3.2	Untersuchungsgebiet . . . . .	??
3.2.1	Lage . . . . .	??
3.2.2	Klima . . . . .	??
3.2.3	Geologie und Boden . . . . .	??
3.2.4	Vegetation . . . . .	??
3.3	Methodik . . . . .	??
3.3.1	Methodik der Erwärmung . . . . .	??
3.3.2	Experimentelles Design . . . . .	??
3.3.3	Standortdokumentation . . . . .	??
3.3.3.1	Messung der Temperatur . . . . .	??
3.3.3.2	Messung des Bodenwassergehalts . . . . .	??
3.3.3.3	Messung der Luftfeuchte . . . . .	??
3.3.3.4	Entnahme der Bodenlösung . . . . .	??
3.3.3.5	Untersuchung der Streuzersetzung . . . . .	??
3.3.4	Vegetationsdokumentation . . . . .	??
3.3.4.1	Frequenzanalyse . . . . .	??
3.3.4.2	Messung von Wachstum und Reproduktion . . . . .	??

3.3.4.3	Phänologische Untersuchungen . . . . .	??
3.3.4.4	Erfassung von Keimung und Etablierung . . . . .	??
3.3.5	Auswertungsverfahren . . . . .	??
3.4	Ergebnisse . . . . .	??
3.4.1	Ausgelöste Standortveränderungen . . . . .	??
3.4.1.1	Temperatur . . . . .	??
3.4.1.2	Bodenwassergehalt . . . . .	??
3.4.1.3	Luftfeuchte . . . . .	??
3.4.1.4	Bodenlösung . . . . .	??
3.4.1.5	Streuzersetzung . . . . .	??
3.4.2	Ausgelöste Vegetationsveränderungen . . . . .	??
3.4.2.1	Artenzahl und Gesamtdeckung . . . . .	??
3.4.2.2	Frequenz und Deckung der einzelnen Arten . . . . .	??
3.4.2.3	Wachstum und Reproduktion . . . . .	??
3.4.2.4	Phänologie . . . . .	??
3.4.2.5	Keimung und Etablierung . . . . .	??
3.5	Diskussion . . . . .	??
3.6	Zusammenfassung . . . . .	??
<b>4</b>	<b>Können die mittelfristig beobachteten Vegetationsveränderungen durch die experimentelle Erwärmung induziert werden? – Verschneidung beider Ansätze . . . . .</b>	<b>??</b>
<b>5</b>	<b>Gesamtzusammenfassung . . . . .</b>	<b>??</b>
<b>6</b>	<b>Danksagung . . . . .</b>	<b>??</b>
<b>7</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>??</b>
<b>8</b>	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>??</b>

## 5 Gesamtzusammenfassung

Die globale Erwärmung ist ein in Politik und Wissenschaft viel diskutiertes Umweltproblem. Innerhalb des letzten Jahrhunderts hat sich die Oberflächentemperatur der Erde um  $0,6 \pm 0,2$  °C erhöht, wobei die stärkste Erwärmung zwischen 30° und 70° Nord, also in unseren Breiten, stattgefunden hat. Für das gerade begonnene Jahrhundert ist global mit einem weiteren Temperaturanstieg von 1,4 bis zu 5,8 °C zu rechnen.

Insbesondere der Alpenraum ist von der globalen Klimaänderung betroffen. Im Nordalpenraum hat sich die Temperatur während der letzten zwei Jahrzehnte im Mittel um ca. 1,5 °C erhöht. Damit verbunden verlängerte sich die Vegetationsperiode um mehr als drei Wochen, während die Dauer der Schneebedeckung um den gleichen Betrag abnahm. Bis zum Jahr 2030 wird für den süddeutschen Raum eine weitere Temperaturzunahme um 2,5 °C vorausgesagt, wobei die Temperaturerhöhung im Bereich der Alpen voraussichtlich noch deutlicher ausfällt. Da der Stoffhaushalt und die Artenzusammensetzung von Pflanzenbeständen in den Hochlagen der Alpen (alpine/nivale Stufe) direkt oder indirekt durch niedrige Temperaturen begrenzt werden, sind insbesondere dort Veränderungen durch die globale Erwärmung zu erwarten.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Vegetation alpiner Kalk-Magerrasen untersucht. Die Arbeit konzentriert sich dabei auf Bestände des Horst- und des Polsterseggenrasens, da diese zwei Gesellschaften die flächenmäßig bedeutendsten Vegetationseinheiten der alpinen Kalk-Magerrasen darstellen. Alle Untersuchungen wurden in der unteren bzw. mittleren alpinen Stufe des Nationalparks Berchtesgaden (SO-Deutschland; Nördliche Kalkalpen) durchgeführt.

Um erwärmungsbedingte Vegetationsveränderungen zu untersuchen wurden zwei sich ergänzende methodische Vorgehensweisen (Wiederholungsaufnahmen auf Quasi-Dauerflächen: Kap. 2 bzw. Erwärmungsexperimente: Kap. 3) angewandt und miteinander verknüpft (Kap. 4). Ziel war es, durch die Kombination die methodenbedingten Restriktionen der einzelnen methodischen Ansätze abzumildern und somit die Aussagekraft der Ergebnisse insgesamt zu verbessern.

So kann im Rahmen von Wiederholungserhebungen zwar eine Beziehung zwischen Temperaturerhöhung und mittelfristigen Vegetationsveränderungen hergestellt aber letztlich nicht bewiesen werden. Durch Erwärmungsexperimente können kurzfristige Effekte einer Temperaturerhöhung auf die Vegetation tatsächlich nachgewiesen werden; da die Untersuchungen aber sowohl räumlich als auch zeitlich begrenzt sind, ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine längere Zeitspanne bzw. auf ein größeres Gebiet schwierig. Findet man allerdings in beiden Ansätzen gleichsinnige Effekte,

so ist das ein starker Beleg für die Hypothese, dass Klimaerwärmung an den mittelfristigen Vegetationsänderungen ursächlich beteiligt ist. Umgekehrt belegt die Gleichsinnigkeit die Relevanz der kurzfristigen Beobachtung für ein größeres, längerfristiges Muster.

### Wiederholungsaufnahmen

Im Rahmen des Wiederholungsflächenansatzes wurden im Jahr 2003 historische Aufnahmeflächen des Horst- und des Polsterseggenrasens, die von Herrmann et al. zwischen 1984 und 1988 vegetationskundlich beschrieben wurden, erneut aufgesucht und pflanzensoziologisch erhoben (Quasi-Dauerflächen-Methodik).

Ziel der Arbeit war es, durch einen Vergleich der Aufnahmekollektive, Vegetationsveränderungen während der letzten ca. 15 Jahre aufzuzeigen und diese als allogene oder autogene Prozesse zu interpretieren. Dabei wurde insbesondere der Frage nachgegangen, ob der deutliche Temperaturanstieg innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte als Hauptursache für mögliche Veränderungen angesehen werden kann.

Tatsächlich konnten ausgeprägte floristische Veränderungen im Vergleichszeitraum nachgewiesen werden. Die Bestände des Horst- und des Polsterseggenrasens weisen dabei vergleichbare Entwicklungstendenzen auf:

- Seit 1988 hat sich die mittlere Artenzahl sowohl im Polsterseggenrasen als auch im Horstseggenrasen um elf Arten erhöht.
- Der Anstieg beruht im Wesentlichen auf einer Stetigkeitszunahme bereits damals vorhandener Arten und nicht auf einer Erweiterung der Gesellschafts-Artenpools (Hinzukommen neuer Arten).
- Die Artenzahlzunahme ist auf ehemals artenarmen Flächen stärker ausgeprägt als auf 1988 schon artenreichen Flächen.
- Eine Abhängigkeit der Artenzahlzunahme von der Höhenlage (wie in der Literatur beschrieben) ist nicht nachweisbar.
- Die Arten, die in ihrer Stetigkeit deutlich zugenommen haben, zeichnen sich durch eine niedrige Wuchshöhe, vorzugsweise generative Reproduktion und leichte Samen („mobile“ Arten) sowie im Polsterseggenrasen zusätzlich durch einen späten Blühbeginn aus. Es sind allesamt typische Arten der alpinen Rasenstufe.
- Arten, die in ihrer Stetigkeit zugenommen haben, haben gleichzeitig auch in ihrer mittleren Deckung zugenommen.
- Durch die Stetigkeitszunahme vieler Arten weisen die Aufnahmen der Gesellschaften heute untereinander einen höheren floristischen Einheitlichkeitsgrad als damals auf.
- Der Grad der floristischen Veränderung ist in den Ausbildungen „reifer“ Böden stärker ausgeprägt als in den Ausbildungen „initialer“ Böden.

Es zeigt sich, dass die floristischen Veränderungen am besten durch die globale Erwärmung erklärt werden können. Auch natürlich ablaufende Sukzessionsprozesse

se könnten die aufgezeigten Änderungen in der Artenzusammensetzung erklären, allerdings ist die Zeitspanne von 1 ? Jahrzehnten zu kurz, als dass autogene Sukzessionsprozesse als der Hauptfaktor angesehen werden können. Denkbar ist aber, dass natürliche Sukzessionsprozesse durch die globale Erwärmung sowie durch N-Immissionen heutzutage beschleunigt ablaufen. Stickstoffeinträge, geänderte Landnutzungsformen und methodenbedingte Unschärfen spielen als Erklärungsmodelle für die Vegetationsveränderungen eine untergeordnete Rolle.

Im Wiederholungsflächenansatz kann somit zwar eine Koinzidenz von Temperaturerhöhung und floristischen Veränderungen glaubhaft aufgezeigt werden, ein direkter Zusammenhang zwischen beiden Faktoren (Ursache-Wirkungs-Beziehung) kann allerdings nicht nachgewiesen werden.

### **Erwärmungsexperiment**

Um eine kausale Beziehung zwischen einer Temperaturerhöhung und Veränderungen der Vegetation nachweisen zu können, wurde zwischen 2002 und 2004 zusätzlich zu den Wiederholungserhebungen ein Erwärmungsexperiment in Beständen des Horstseggen- und des Polsterseggenrasens durchgeführt. Die Umgebungstemperatur der Pflanzen und die Oberbodentemperatur wurden mittels Open Top Chambers (OTCs) passiv erhöht. Die Konstruktion der OTCs erwies sich als günstig, da sie die Temperatur deutlich erhöhte, nicht aber den Wasserhaushalt (Luftfeuchtigkeit, Bodenwassergehalt) der Bestände änderte.

Durch einen Vergleich von erwärmten mit nicht erwärmten Flächen wurden die Auswirkungen einer Temperaturerhöhung auf Wachstum, Reproduktion und Phänologie ausgewählter Schlüssel-Arten untersucht. Zusätzlich wurde geprüft, ob sich die Häufigkeit von Arten bzw. die Artenzusammensetzung der Bestände bei Erwärmung ändert. Bodenkundliche Untersuchungen sollten klären, ob neben direkten auch indirekte Temperatureffekte (verbesserte Nährstoffverfügbarkeit) für die Vegetation eine Rolle spielen. Durch einen Saatversuch wurde geprüft, ob sich die Etablierungswahrscheinlichkeit von Arten tieferer Lagen durch eine Temperaturerhöhung erhöht. Die vorliegende Untersuchung zeigt:

- Pflanzenarten alpiner Kalk-Magerassen reagieren sensibel und unmittelbar auf eine experimentell induzierte Temperaturerhöhung.
- Wachstum, Reproduktion und Entwicklungsgeschwindigkeit der meisten untersuchten Arten werden durch die Erwärmung stimuliert.
- Nur wenige Arten reagieren nicht, keine einzige Art zeigt eine negative Reaktion.
- Zwergsträucher und Graminoide reagieren insgesamt stärker auf die Temperaturerhöhung als krautige Arten.
- In beiden Ökosystemen konnten vergleichbare Prozesse induziert werden.
- Während auf Ebene der Individuen ausgeprägte Er-

wärmungseffekte nachgewiesen wurden, konnten für die Populationen bzw. den Gesamtbestand kurzfristig kaum Veränderungen aufgezeigt werden. Für vier Arten wurde eine behandlungsbedingte Änderung der Häufigkeit aufgezeigt. Vegetationsbedeckung und Artenzahl der Aufnahmeflächen änderten sich durch die Erwärmung nicht.

- Signifikante Effekte der Erwärmung auf die Nährstofffreisetzung konnten nicht nachgewiesen werden. Die aufgezeigten Reaktionen der Vegetation beruhen daher aller Voraussicht nach vorwiegend auf direkten und nicht auf indirekten Temperatureffekten.
- Eine Etablierung von Arten tieferer Lagen in den Beständen ist prinzipiell möglich. Allerdings wurde die Etablierung stärker durch den jeweiligen Vegetationstypus als durch die Temperaturerhöhung beeinflusst. Offenbar spielt für die Etablierung der Arten das Vorhandensein spezifischer Schutzstellen eine größere Rolle als die induzierte Erwärmung.

Die umfassende und unmittelbare Reaktion der Vegetation auf die experimentelle Erwärmung unterstreicht die Hypothese, dass alpine Vegetation überwiegend durch niedrige Temperaturen begrenzt wird.

### **Verschneidung beider Ansätze**

Kombiniert man beide Ansätze miteinander, so zeigt sich, dass man ein hohes Maß an übereinstimmenden Ergebnissen findet und sich gravierende Widersprüche nicht zeigen. Kurzfristig wie mittelfristig dominieren eindeutig positiv gerichtete Reaktionen der Arten; neutrale oder negative Reaktionen spielen in beiden Ansätzen eine deutlich untergeordnete Rolle. Der überwiegende Anteil der Arten, der im Experiment positiv reagiert (Erhöhung von Wachstum/Reproduktion, Verfrühung von Phänophasen), zeigt auch mittelfristig eine ausgeprägte positive Reaktion (deutliche Stetigkeitszunahme). Umgekehrt haben Arten, die im Experiment nicht reagieren, auch im Rahmen der Wiederholungserhebungen nicht reagiert. Auch bezüglich der Ausprägung funktioneller Merkmale weisen die Arten, die kurzfristig (Experiment) bzw. mittelfristig (Wiederholungsaufnahmen) reagieren bzw. nicht reagieren, ein hohes Maß an Übereinstimmung auf. Durch die Gleichsinnigkeit der Ergebnisse wird einerseits die Hypothese bestätigt, dass die globale Erwärmung tatsächlich die Hauptursache für die nachgewiesenen mittelfristigen Vegetationsveränderungen darstellt. Andererseits kann aufgezeigt werden, dass die im Rahmen des Experiments gewonnenen Ergebnisse durchaus auch auf einen größeren Landschaftsausschnitt bzw. eine längere Zeitspanne übertragen werden können. Die Restriktionen, der die einzelnen Ansätze unterliegen, konnten also tatsächlich durch die Ergebnisse des jeweils anderen Ansatzes abgeschwächt werden, wodurch die Aussagekraft der Untersuchung insgesamt verbessert wird.

Durch eine Zusammenschau der Ergebnisse aus beiden Ansätzen kann man sich die Auswirkungen einer Temperaturerhöhung auf die Vegetation alpiner Kalk-Magerassen wie folgt vorstellen:

Die Erwärmung führt kurzfristig bei vielen Arten zu einem erhöhten Wachstum bzw. zu einer effizienteren Reproduktion (vgl. Ergebnisse Experiment); eine Erhöhung der Fitness der Individuen ist die Folge.

Die erhöhte Fitness der Individuen wiederum wirkt sich mittelfristig positiv auf die Populationsentwicklung dieser Arten aus; eine Erhöhung der Populationsdichten sowie eine Ausweitung der Populationsareale (von der Population besiedelte Fläche) ist die Folge. Im Rahmen der Wiederholungserhebungen äußerten sich diese Änderungen über eine Zunahme der mittleren Deckung bzw. der Stetigkeit der Arten sowie über einen damit verbundenen Anstieg der Artenzahlen. Insbesondere „mobile“ Arten mit generativer Vermehrung und leichten

Samen sowie spät blühende Arten können die günstigeren Umweltbedingungen mittelfristig am effizientesten nutzen.

Eine Änderung der Artenzusammensetzung durch eine Einwanderung von Arten der hochmontanen bzw. subalpinen Stufe findet mittelfristig nicht statt. Die Vegetationsveränderungen beruhen also überwiegend auf einem „filling“- und nicht auf einem „moving“-Prozess. Ob die aufgezeigten Veränderungen auf Ebene der Individuen und Populationen langfristig zu Änderungen auf der Gesellschaftsebene führen, hängt von vielen Faktoren ab und kann letztlich nur über ein konsequentes, langfristiges Monitoring alpiner Pflanzenbestände geklärt werden.