

Vegetationsveränderungen im Hochgebirge

# Klimawandel verändert alpine Kalk-Magerrasen

Historische Vegetationsaufnahmen haben hohen Wert in der Klimafolgenforschung. Vergleich historischer mit aktuellen Erhebungen belegt Einfluss der Klimaerwärmung

von Thomas Kudernatsch, Markus Bernhardt-Römermann, Anton Fischer und Clemens Abs

**Vegetationsaufnahmen in alpinen Kalk-Magerrasen des Nationalparks Berchtesgaden aus dem Jahr 2003 zeigen gegenüber historischen Aufnahmen aus demselben Untersuchungsgebiet deutliche Vegetationsveränderungen auf. Die Klimaerwärmung führte in den zwei untersuchten Rasengesellschaften zu einer Zunahme der Artenzahlen um 30 bzw. 40 Prozent. Andere mögliche Ursachen dieser Vegetationsveränderungen wie z. B. Stickstoffeinträge, Almwirtschaft, Tourismus oder auch endogene Prozesse konnten einwandfrei ausgeschlossen werden. Hauptfaktor für die beobachteten Veränderungen ist eindeutig der Anstieg der Temperatur, der auch im Alpenraum nachgewiesen ist.**

Um zu überprüfen, ob sich die Artenzusammensetzung alpiner Rasen während der letzten zwei Jahrzehnte geändert hat, wurden Mitte der 1980er Jahre im Nationalpark Berchtesgaden dokumentierte Aufnahmeflächen im Jahr 2003 erneut aufgesucht und erhoben. Ziel war es, in dem Zeitraum aufgetretene Vegetationsveränderungen aufzuzeigen und diese zu interpretieren. Dabei wurde insbesondere der Frage nachgegangen, ob der deutliche Temperaturanstieg während der letzten zwei Jahrzehnte als Hauptursache der Veränderungen angesehen werden kann.

## Historische Vegetationsaufnahmen: Ein Schlüssel für die Klimafolgenforschung

Alpine Pflanzenbestände sind - wie grundsätzlich alle Vegetationstypen der Erde - zeitlichen Veränderungen unterworfen. Diese können sowohl durch äußere Faktoren (z. B. globale Klimaänderungen, Stickstoffeinträge, Landnutzungsänderungen) als auch durch den Pflanzenbestand selbst (z. B. durch Humusakkumulation) ausgelöst werden.

Vergleicht man den aktuellen Vegetationszustand eines Pflanzenbestands mit historischen Vegetationsaufnahmen desselben Bestands, können zeitliche Veränderungen aufgezeigt und Hypothesen zu deren Ursachen aufgestellt werden. Daher sind sorgfältig dokumentierte, historische Vegetationserhebungen - gerade für die aktuelle Klimafolgenforschung - eine Datengrundlage von hohem Wert.

Vegetationsveränderungen in der alpinen und nivalen Stufe der Alpen werden schon seit längerem mit einer Klimaänderung in Verbindung gebracht. Bereits BRAUN-BLANQUET (1957) führt den beobachteten Anstieg der Artenzahl am Piz Linard (3.414 m ü. NN) zwischen 1835 und 1947 auf eine Temperaturerhöhung zurück. Auch HOFER (1992), GRABHERR et al. (1994) und BURGA et al. (2004) stellen im Rahmen von Wiederholungserhebungen deutliche Anstiege der Artenzahlen alpiner und nivaler Pflanzenbestände fest und nennen als Hauptursache die globale Erwärmung.



**Abb. 1:** Alpine Rasenstufe im Bereich des Nationalparks Berchtesgaden. Die hochwüchsigen Horstseggenrasen sind auf engem Raum mit den niedrigen und offenen Beständen des Polsterseggenrasens verzahnt. In beiden Pflanzengesellschaften haben sich in den letzten 20 Jahren die Artenzahlen deutlich erhöht. (Foto: T. Kudernatsch)

Auch im Bereich des Nationalparks Berchtesgaden wurden Mitte der 1980er Jahre zahlreiche Vegetationserhebungen durchgeführt, welche für Wiederholungserhebungen geeignet sind (HERRMANN et al. 1988). Aus diesem Datenpool wurden 25 Vegetationsaufnahmen des Blaugras-Horstseggenrasens und 23 Vegetationsaufnahmen des Polsterseggenrasens als Referenzflächen ausgewählt, im Gelände lokalisiert und während des Sommers 2003 wiederholt erhoben. Die zwei Pflanzengesellschaften wurden gewählt, da sie die flächenmäßig bedeutendsten Vegetationseinheiten alpiner Kalk-Magerrasen darstellen (Abb. 1). Die Untersuchungsflächen befinden sich in der alpinen Stufe im Nordosten des Nationalparks zwischen Hohem Brett und Kahlersberg in einer Höhenlage von 1.800 bis 2.350 m ü. NN.

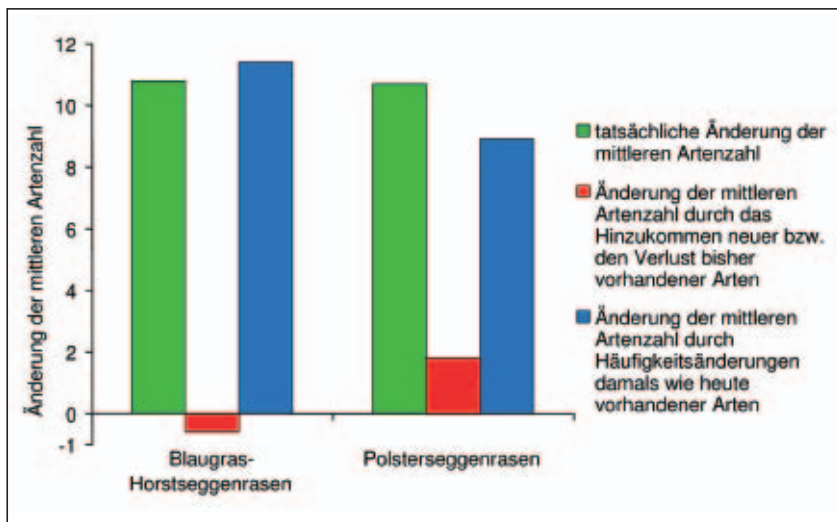


Abb. 2: Änderung der mittleren Artenzahl in beiden Gesellschaften differenziert nach Artenpool-Änderungen (Hinzukommen neuer bzw. Verlust bisher vorhandener Arten) und Häufigkeitsänderungen damals wie heute vorhandener Arten. Insgesamt beruht der beobachtete Anstieg der Artenzahlen wesentlich stärker auf einer Häufigkeitszunahme bereits 1988 vorhandener Arten als auf einer Zuwanderung neuer, ökosystemfremder Arten.

### Artenzahlen in alpinen Kalk-Magerrasen haben sich deutlich erhöht

Der Vergleich der historischen mit den aktuellen Aufnahmen belegt, dass sich seit Mitte der 1980er Jahre die Artenzahl pro Aufnahme­fläche sowohl im Blaugras-Horstseggenrasen als auch im Polsterseggenrasen durchschnittlich um knapp elf Arten erhöht hat. Dies entspricht einer Zunahme um 27 Prozent im Blaugras-Horstseggenrasen bzw. 42 Prozent im artenärmeren Polsterseggenrasen. Der beobachtete Anstieg der Artenzahl beruht im Wesentlichen auf einer Häufigkeitszunahme bereits 1988 nachgewiesener Arten und nicht auf einer Zuwanderung neuer, ökosystemfremder Arten (Abb. 2). Bei den Arten, für die eine signifikante Zunahme ihrer Häufigkeit nachgewiesen werden konnte, handelt es sich überwiegend um niedrigwüchsige, sich generativ (also über Samen/Sporen) fortpflanzende Arten. Es sind allesamt typische Arten der alpinen Rasenstufe.

### Temperaturanstieg auf der Zugspitze um 1,9 °C

Die Artenzahlen der meisten alpinen Pflanzenbestände sind durch die extremen Temperaturbedingungen im Hochgebirge (niedrige Temperaturen, kurze Vegetationsperiode) begrenzt. Eine durch die globale Erwärmung bedingte Änderung des Temperaturklimas kommt daher als mögliche Ursache für den beobachteten Artenzahlanstieg in Frage. Tatsächlich haben sich die Klimabedingungen in den Nördlichen Kalkalpen während der letzten 20 Jahre gravierend geändert. So erhöhte sich die Jahresmitteltemperatur auf der Zugspitze (2.964 m ü. NN) zwischen 1980 und 2003 um

ca. 1,9 °C (Abb. 3). Die Vegetationsperiode verlängerte sich im gleichen Zeitraum um 24 Tage, während die Dauer der Schneebedeckung um den gleichen Betrag abnahm (Daten: DWD).

### Experiment belegt: Erwärmung fördert Wachstum und Reproduktion alpiner Pflanzen

Dass Pflanzenarten alpiner Kalk-Magerrasen positiv auf eine **Erwärmung** reagieren, konnte mit einem Erwärmungsexperiment (Abb. 4) nachgewiesen werden (KUDERNATSCH et al.; im Druck). Die Untersuchungen zeigen, dass Wachstum und Reproduktion vieler alpiner Arten durch eine Erwärmung stimuliert werden und Entwicklungsprozesse beschleunigt ablaufen. Arten, die derart von einer Erwärmung profitieren, sollten über die Zeit in ihrer Häufigkeit zunehmen und ihre Populationsareale ausweiten. Insbesondere „mobile“ Arten mit generativer Vermehrung müssten

dazu in der Lage sein. Die nachgewiesenen Häufigkeitszunahmen der Arten und der damit verbundene Anstieg der Artenzahlen könnten somit erklärt werden.

### Bedeutung von Stickstoff, Almwirtschaft und Tourismus ist als gering einzuschätzen

Auch **Stickstoffeinträge** kommen als mögliche Ursache für Vegetationsveränderungen alpiner Pflanzenbestände in Frage. THEODOSE und BOWMAN (1997) wiesen in den Rocky Mountains nach, dass Stickstoffgabe in alpinen Rasen zu einer Erhöhung der Artenvielfalt führt. Der beobachtete Anstieg der Artenzahlen könnte also auch eine Folge erhöhter Stickstoff-

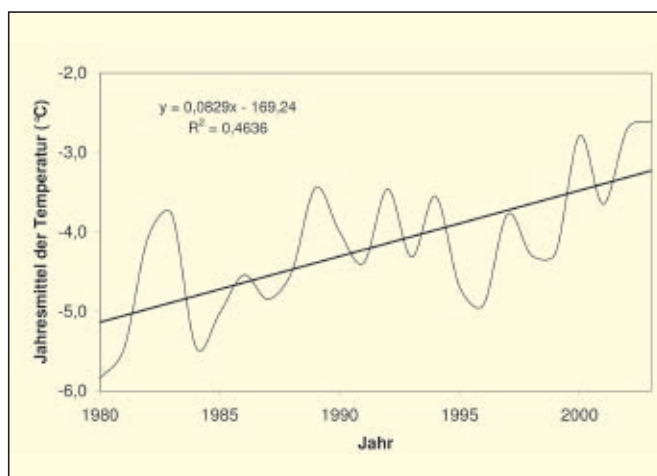


Abb. 3: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur auf der Zugspitze (2.962 m ü. NN) zwischen 1980 und 2003. In diesen Zeiträumen ist die Durchschnittstemperatur auf der Zugspitze um 1,9 °C angestiegen. (Daten: Deutscher Wetterdienst)

einträge sein. Zieht man aber in Betracht, dass der Berchtesgadener Raum die niedrigsten Stickstoffeinträge in ganz Bayern aufweist und die Eintragstendenz seit Beginn der 1990er Jahre sogar leicht fallend ist (vgl. Daten der Waldklimastation Berchtesgaden), erscheint es unwahrscheinlich, dass Stickstoffeinträge die Hauptursache darstellen.

Auch **Landnutzungsänderungen** stellen eine mögliche Ursache für zeitliche Vegetationsveränderungen dar. Im Bereich des Nationalparks Berchtesgaden ist dabei insbesondere an die Almwirtschaft und den Tourismus zu denken. Die wenigen im Untersuchungsgebiet liegenden Almen wurden aber bereits Anfang des letzten Jahrhunderts aufgegeben. Eine immer noch andauernde Rückentwicklung der Rasen kann daher als Ursache für die floristischen Veränderungen ausgeschlossen werden. Eine Beeinflussung der Vegetation durch den Tourismus kommt ebenfalls nicht in Frage, da alle Aufnahmeflächen abseits viel begangener Wege liegen.

Vegetationsveränderungen können nicht nur durch äußere Faktoren ausgelöst werden, sondern auch als „endogener“ **Prozess** durch den Pflanzenbestand selbst. Die für Gebirgslandschaften typische progressive Sukzession von Schutthalden zu initialen und schließlich reifen Rasenstadien stellt ein typisches Beispiel für einen derartigen „endogenen“ Prozess dar (z. B. THIELE 1978). Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass eine progressive Sukzession einen Anstieg des Artenreichtums bewirkt. Der gefundene Artenzahlanstieg könnte also auch aus einer natürlichen Weiterentwicklung der Pflanzenbestände resultieren. Dabei gilt es allerdings die Zeitspanne zu berücksichtigen, in welcher solche Veränderungen ablaufen: Die Zeitspanne von 15 Jahren ist viel zu kurz, als dass die aufgezeigten Veränderungen allein durch endogene Prozesse erklärt werden könnten.

## Hauptverursacher Temperaturanstieg

Wägt man die möglichen Ursachen der floristischen Veränderungen gegeneinander ab, zeigt sich, dass unter allen Faktoren die globale Erwärmung als wesentliche Ursache angesehen werden kann. Die in der Literatur beschriebenen Auswirkungen einer Temperaturerhöhung auf alpine und nivale Pflanzenbestände stimmen am besten mit den aufgezeigten floristischen Veränderungen überein. Auch ist die Temperatur der Faktor, der sich in dem Vergleichszeitraum am stärksten geändert hat. Berücksichtigt man darüber hinaus, dass niedrige Temperaturen der limitierende Faktor alpiner Ökosysteme sind, kann die globale Erwärmung als **der** Hauptfaktor angesehen werden.

## Literatur

- BRAUN-BLANQUET, J. (1957): Ein Jahrhundert Florenwandel am Piz Linard (3414 m). - Bulletin Jardin Botanique, Bruxelles: Volume Jubilee, W. Robyns: 221-232.
- BURGA, C.; WALTHER, G.-R.; BEIBNER, S. (2004): Florenwandel in der alpinen Stufe des Berninagebiets - ein Klimasignal? - Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 16: 57-66.

GRABHERR, G.; GOTTFRIED, M.; PAULI, H. (1994): Climate effects on mountain plants. - Nature 369: 448.

HERRMANN, T.; KÖPPEL, J. G.; MOSER, M. (1988): Dokumentation Vegetationstabellen für den subalpinen/alpinen Bereich. Fachbereich 02. Vegetation der Nutzungstypen. - Abschlussbericht Band D/III.

HOFER, H. R. (1992): Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. - Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 58: 39-54.

KUDERNATSCH, T.; FISCHER, A.; BERNHARDT-RÖMERMANN, M.; ABS, C. (in Druck): Short-term effects of temperature enhancement on growth and reproduction of alpine grassland species. - Basic and Applied Ecology.

THEODOSE, T.; BOWMAN, W. (1997): Nutrient availability, plant abundance, and species diversity in two alpine tundra communities. - Ecology 78: 1861-1872.

THIELE, K. (1978): Vegetationskundliche und pflanzenökologische Untersuchungen im Wimbachgries. - Oldenbourg, München, Wien. 73 S.



**Abb. 4:** Durch oben offene Kunststoffkammern erwärmte Experimentierflächen im Polsterseggenrasen. Der Vergleich derartig erwärmter Flächen mit nicht erwärmten Kontrollflächen weist die Auswirkungen einer Temperaturerhöhung auf die Vegetation nach. (Foto: T. Kudernatsch)

DR. THOMAS KUDERNATSCH promovierte am Fachgebiet Geobotanik der Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement (TU München) über alpine Kalk-Magerrasen im Nationalpark Berchtesgaden.

E-Mail: t.kudernatsch@web.de

PROF. DR. ANTON FISCHER leitet das Fachgebiet Geobotanik der TUM.

DR. MARKUS BERNHARDT-RÖMERMANN ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Waldbau der Universität Göttingen.

DR. CLEMENS ABS ist Privatdozent am Fachgebiet Geobotanik.