

Ulf Büntgen, Cambridge, Hannes Jenny, Chur und  
Kurt Bollmann, Birmensdorf

# Steigende Temperaturen verschieben den Lebensraum alpiner Huftiere in höhere Regionen

**Zahlreiche Tier- und Pflanzenarten reagieren auf den kontinuierlichen Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur, indem sie ihren Lebensraum in andere, mehr geeignete Regionen verlagern. Die hohe Mobilität und oftmals geringen Habitatansprüche von vielen Säugetieren sowie die Vielfalt zahlreicher Einflussfaktoren auf ihr tages- und jahreszeitliches Raumverhalten erschweren den Nachweis, dass artspezifische Veränderungen in der geographischen Verbreitung klimabedingte Ursachen haben. Basierend auf einem weltweit einzigartigen Inventar aller im schweizerischen Kanton Graubünden erlegten Huftiere, analysierten wir 230 565 Abschüsse der vier häufigsten Arten in den Europäischen Alpen: Steinbock, Gams, Rothirsch und Reh. Die Abschusshöhe dieser Arten hat sich von 1991 bis 2013 stetig nach oben verschoben, was für eine Verlagerung der herbstlichen Aufenthaltsräume spricht. Diese Beobachtung stimmt sehr gut mit dem Anstieg warmer und schneefreier Bedingungen im September und Oktober überein. Unsere Ergebnisse unterstreichen die wissenschaftliche Relevanz qualitativ hochwertiger und gut belegter Langzeitbeobachtungen, wie sie jagdliche Abschussinventare darstellen können. Die vorliegende Arbeit liefert zudem einen unabhängigen Nachweis für umweltbedingte Veränderungen im Verbreitungsraum großer Wildtiere.**

**A**ufgrund sich verändernder klimatischer Bedingungen, insbesondere steigender Temperaturen, hat sich die geographische Verbreitung vieler Pflanzen- und Tierarten während der letzten Jahrzehnte in höhere Lagen und nördlichere Breiten verlagert [1]. Auch wenn dieser Trend in alpinen und arktischen Ökosystemen besonders deutlich zu erkennen ist [2–9], so fehlen oftmals die entsprechenden Aufzeichnungen, um die Ursachen für diese Veränderungen eindeutig bestimmen zu können. Eine Ursachenforschung ist bei großen Pflanzenfressern besonders schwierig, da ihr Wanderverhalten von zahlreichen biotischen und abiotischen Faktoren (mit)beeinflusst wird [10].

Kenntnisse der Verbreitungsareale und ihrer Veränderungen über längere Zeiträume sind für die raumzeitliche Analyse der Populationsdynamik von grundlegender Bedeutung. Klassische Feldbeobachtungen (vgl. Abb. 1.) in Verbindung mit Radio- und Satellitentelemetrie sowie GPS-Sensoren haben viel zur Erfassung räumlicher und zeitlicher Veränderungen von Wildtierbeständen beigetragen [11]. Aber auch wenn diese Methoden unverzichtbar sind und auf diese Weise schon wert-

volle Erkenntnisse gewonnen wurden, so besteht der Nachteil, dass die Beobachtungen bisher auf relativ kurzen Zeiträumen und nur wenigen individuell markierten oder/und mit Sendern ausgestatteten Tieren beruhen. Eine durchaus sinnvolle Alternative für Langzeitstudien bieten sogenannte jagdliche Abschussinventare [12]. Diese können im Idealfall sehr detaillierte Erhebungen zu den erlegten Tieren sowie ihren Abschusssorten beinhalten und zudem mehrere Jahrzehnte lückenlos abdecken. Wenn sie systematisch erhoben wurden und ihre Fallzahlen groß sind, können solche Datensätze bereits geringfügige Veränderungen in der Verbreitung jagdbarer Populationen widerspiegeln.

## Jagdinventare und ihr Beitrag zur Klimafolgenforschung

Die seit Jahren ohne Unterbrechung durchgeführte Überwachung und Dokumentation aller Abschüsse in Graubünden liefert heute präzise Informationen über 230 565 Abschüsse der vier häufigsten Huftierarten in den Europäischen Alpen ([www.jagd-fischerei.gr.ch](http://www.jagd-fischerei.gr.ch)): Steinbock (*Capra ibex*), Gams (*Rupicapra*

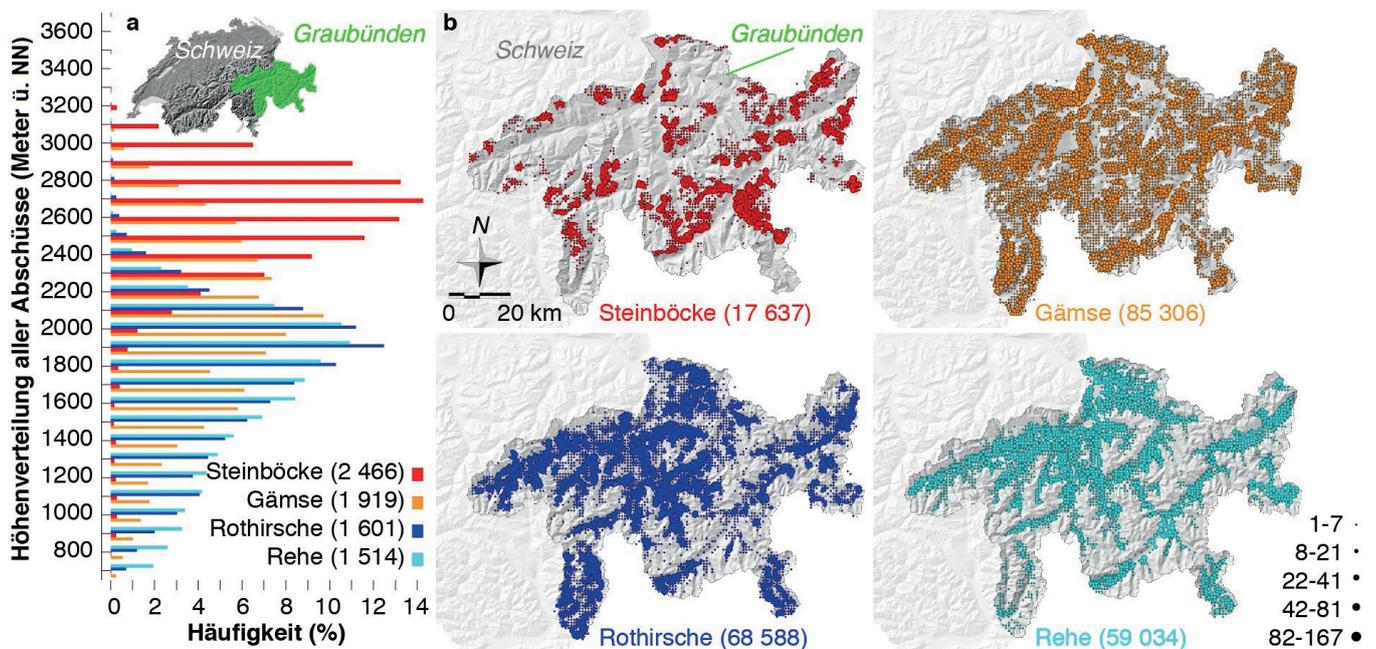


**Abb. 1.** Wildtierbeobachtungen liefern unverzichtbare Informationen über Verhalten und Aufenthaltsgebiet einzelner Tiere und Herden, doch haben sie den Charakter von Stichproben. – **a.** Brünftiger Rothirsch im Oktober, – **b.** Gamsherde im Juni, – **c.** Ein etwa 17 (!) Jahre alter Steinbock in relativ niedriger Lage, Ende Juni. Für die drei gezeigten Arten hat sich die Herbstliche Abschusshöhe in den letzten zwei Jahrzehnten signifikant nach oben verschoben. [Photo a: Roland Tomaschett, b: Thomas Wehrli, c: Josef Senn]

*rupicapra*), Rothirsch (*Cervus elaphus*) und Reh (*Capreolus capreolus*). Neben jagdlich und wildtierbiologisch relevanten Details wurden Zeitpunkt, Ort, Größe und Gewicht für jeden Abschuss zwischen 1991 und 2013 aufgenommen.

Dieser bedeutende Datensatz ermöglicht es, aus den kurz- und langfristigen Schwankungen der mittleren Abschusshöhe (m ü. NN) der vier Arten saisonale Verhaltensmuster abzuleiten.

Hierfür werden die Abschusshöhen unter anderem mit meteorologischen Messungen (Temperatur und Niederschlag) und biotischen und abiotischen Umweltparametern (Phänologie und Schneedecke) aus der Region in Beziehung gesetzt [12]. Auf diese Weise gewinnt man Einblick in die direkten und indirekten Einflussgrößen der artspezifischen Herbstlichen Aufenthaltsorte der lokalen Huftierpopulationen. Die äußerst umfas-



**Abb. 2.** Geographische Merkmale des Bündner Jagdinventars für alpine Huftiere. – **a.** Mittlere Höhenverteilung aller 230 565 Huftierabschüsse zwischen 1991 und 2013 sowie die Lage Graubündens innerhalb der Schweiz (grüne Fläche). Die Werte in den Klammern zeigen die mittleren Abschusshöhen der vier Arten (in Metern ü. NN). Die unterste Höhenstufe beinhaltet alle Abschüsse  $\leq 600$  m ü. NN (6 Steinböcke, 208 Gämse, 481 Rothirsche und 1136 Rehe). – **b.** Räumliche Verbreitung aller 230 565 in Graubünden inventarisierten Abschüsse von Steinböcken, GämSEN, Rothirschen und Rehen beider Geschlechter zwischen 280 und 3600 m ü. NN. Jeder Punkt lokalisiert einen Abschuss und die Werte in den Klammern weisen auf die Abschusssumme pro Art zwischen 1991 und 2013 hin.

sende Datensammlung der Bündner Jagdbehörde ermöglicht zudem die separate Analyse verschiedener Altersklassen sowie männlicher und weiblicher Tiere.

Das Jagdgebiet in Graubünden weist eine Fläche von rund 7000 km<sup>2</sup> mit montanen, subalpinen und alpinen Vegetationszonen auf. Der Schweizer Nationalpark und die zahlreichen, gleichmäßig über Graubünden verteilten Wildschutzgebiete, welche ca. 10% der Kantonsfläche einnehmen, waren von der Jagd ausgeschlossen. Unabhängig von der Witterung werden Gämse sowie Rothirsche und Rehe im September geschossen ([www.jagd-fischerei.gr.ch](http://www.jagd-fischerei.gr.ch)). Die vornehmlich in höheren Gebieten stattfindende Steinbockjagd ist auf 20 Tage im Oktober beschränkt [13]. Die Nutzung motorisierter Fahrzeuge ist untersagt. In Graubünden findet außerdem keine Wildtierfütterung statt, welche das artspezifische Wanderungsverhalten zwischen Sommer- und Wintereinständen beeinflussen würde. Zudem gibt es in unterschiedlichen Höhenzonen zahlreiche Schutzgebiete, welche von der Jagd ausgeschlossen sind und den Tieren somit als Rückzugsraum dienen. Da möglichst stabile und gesunde Bestände angestrebt werden, wird die herbstliche, artspezifische Jagdquote anhand der Schätzungen der Populationsgrößen in jedem Frühjahr neu berechnet.

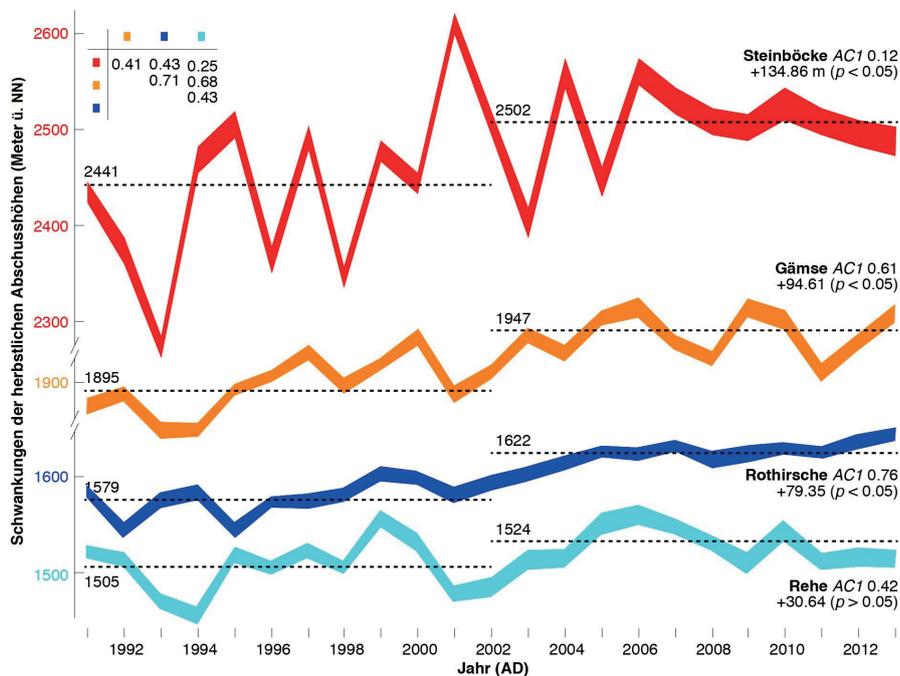
Insgesamt wurden zwischen 1991 und 2013 in Graubünden 85 306 Gämse, 68 588 Rothirsche, 59 034 Rehe und 17 637 Steinböcke beider Geschlechter geschossen (Abb. 2). Steinböcke wurden durchschnittlich auf 2466 m ü. NN geschossen (Abb. 2a), wohingegen die mittleren Abschusshöhen für Gämse, Rothirsche und Rehe mit 1919, 1601 und 1514 m ü. NN deutlich tiefer lagen. Während sich die herbstlichen Einstände der Steinböcke primär auf alpine Matten oberhalb der Waldgrenze beschränken (Abb. 2b), suchten Rothirsche und Rehe bevorzugt tiefere Zonen auf. Entsprechend konzentrierten sich ihre Abschüsse auf die Wälder, Wiesen und Weiden der Täler und Talabhänge.

Die mittleren Abschusshöhen schwankten zwar stark von Jahr zu Jahr (Abb. 3), doch ließ sich zwischen 1991 und 2013 ein kontinuierlicher Anstieg feststellen. Für alle vier Arten lag die durchschnittliche Abschusshöhe vor dem Jahr 2002 unterhalb derer nach 2002. Die Schwankungen und der Trend in den Abschusshöhen sind beim Steinbock am deutlichsten ausgeprägt. Ähnliche Veränderungen in der Abschusshöhe von Gämsen und Rothirsch legen einen übereinstimmenden Einflussfaktor nahe. Der für Steinböcke, Gämse und Rothirsche nachgewiesene Anstieg der Abschusshöhe, respektive ihrer herbstlichen Höhenverbreitung, ist für männliche und weibliche Tiere aller untersuchten Altersklassen statistisch signifikant [12].

## Diskussion und Ausblick

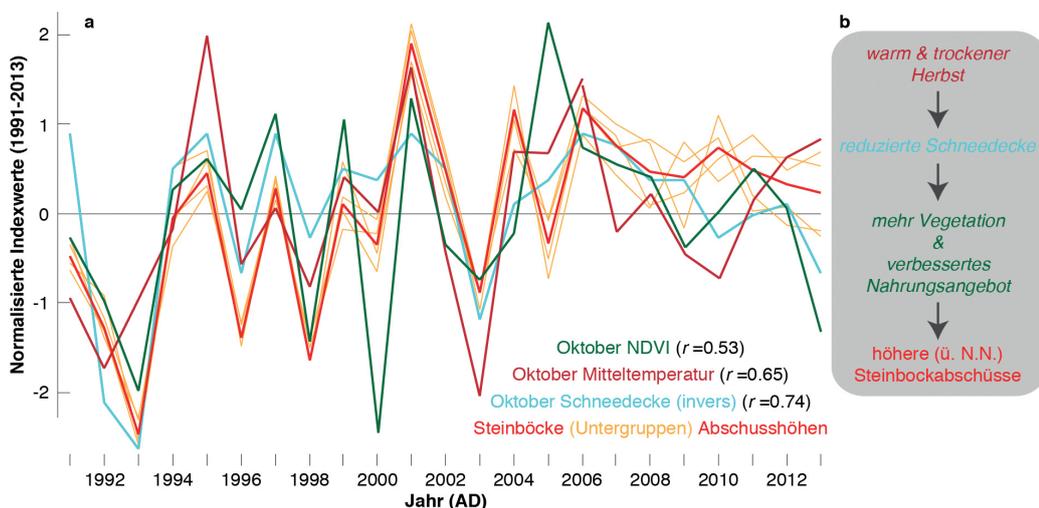
Unsere Ergebnisse stimmen mit unabhängigen Beobachtungen von nichtbejagten Steinbock- und Gamspopulationen im Schweizer Nationalpark [14] sowie mit zahlreichen Studien zu klimabedingten Veränderungen in der räumlichen Verbreitung unterschiedlicher Arten überein [1–9]. Auf der Nordhalbkugel reagieren viele Arten auf die steigenden Durchschnittstemperaturen mit einer saisonalen oder generellen Verschiebung ihrer Habitate in nördlichere und/oder höhere Zonen. Eine geringere Schneebedeckung und längere Vegetationsperioden oberhalb der alpinen Waldgrenze sind für den kontinuierlichen Höhenanstieg der Bündner Steinbockabschüsse verantwortlich (Abb. 4a).

Ganz offensichtlich ist hierbei die Herbsttemperatur entscheidend, welche nicht nur das Verhalten der Tiere, sondern auch die Jagd selber beeinflusst (Abb. 4b). Seit 1991 ist der Oktober im Untersuchungsgebiet um rund 1,3°C wärmer geworden. Witterungsbedingungen vor und nach der kurzen Jagdperiode spielen für die beobachteten Arealverschiebungen der Huftiere keine Rolle. Unabhängig von Geschlecht und Alter fand die stärkste Höhenverschiebung der Abschüsse zwischen 1993 und 2001 statt. Seit ca. 2006 steigen sowohl die Temperaturen als auch die Abschusshöhen nicht mehr an (Abb. 4), was die ökologische Relevanz der Temperatur unterstreicht. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Abschusshöhe ist evident und darf als gesichert angesehen werden.



**Abb. 3.** Mittlere herbstliche Abschusshöhen der Bündner Huftiere. Jährliche Höhenverteilung der Abschüsse von 17 637 Steinböcken, 85 306 Gämsen, 68 588 Rothirschen und 59 034 Rehen. Die Balken geben  $\pm 1$  Standardabweichung jedes Jahres zwischen 1991 und 2013 an, und die gestrichelten, horizontalen Linien beziehen sich auf die frühe/späte Periode  $\leq/\geq$  2002 mit gleicher Berechnungslänge (Wilcoxon Test;  $p < 0.05$ ). Die Korrelationsmatrix (links oben) zeigt den zeitlichen Zusammenhang der artspezifischen Abschusshöhen zwischen 1991 und 2013. Autokorrelation (AC1) und Langzeittrends basierend auf linearen Regressionsgleichungen (1991–2013) und sind für jede Art angeführt. Die herbstlichen Abschusshöhen von Steinböcken, Gämsen und Rothirschen haben sich signifikant nach oben verschoben.

## Forschung



**Abb. 4.** Zusammenhang zwischen Klima, Umwelt und Abschusshöhen. – **a.** Jährliche Veränderung der mittleren, herbstlichen Abschusshöhen aller 17 637 in Graubünden zwischen 1991 und 2013 geschossenen Steinböcke (rot) sowie der Oktober-Werte für Pflanzliche Biomassenproduktion (NDVI), räumlich gemittelt über alle acht Bündner Steinwildkolonien (grün), die Schwankungen der Oktober-Mitteltemperaturen (dunkelrot) und der akkumulierten Oktober-Schneehöhe am Bernina-Pass, 46°24' N,

10°01'E und 2307 m ü. NN (hellblau); die Schneehöhe wurde invertiert dargestellt, um den Zusammenhang (viel Schnee → geringere Abschusshöhe) deutlich zu machen. Die orangen Linien zeigen die Abschusshöhen unterschiedlicher Alters- und Geschlechtergruppen. Die normalisierten Zeitreihen haben von 1991 bis 2013 den Mittelwert 0 und die Standardabweichung 1. – **b.** Der angenommene Einfluss unterschiedlicher Umweltfaktoren auf die herbstliche Höhenverteilung der Bündner Steinbockpopulationen [12].

Dennoch sind weitere Faktoren zu berücksichtigen, welche die Datenerhebung betreffen und Einfluss auf das artspezifische Verhalten haben können [12]. So korrelieren etwa die kurz- bis mittelfristigen Schwankungen in den herbstlichen Abschusshöhen der Rehe mit denen der anderen drei Huftierarten nur wenig. Ein Grund hierfür könnte sein, dass die von Rehen bevorzugten tiefer gelegenen Habitate und ihr Nahrungsangebot weniger stark auf die aktuellen Klimaänderungen reagieren.

Bezüglich der Datenerhebung ist zu erwähnen, dass führende Muttertiere aller vier Arten grundsätzlich nicht bejagt werden. Dieser Ausschluss kann unsere Ergebnisse insofern (mit-) beeinflussen, da er zu längerfristigen Veränderungen im Populationswachstum führen kann, was wiederum Wanderbewegungen zur Konkurrenzvermeidung auslösen dürfte. Durch den Klimawandel kann es zudem zukünftig zu weiteren Verschiebungen in den Konkurrenzverhältnissen zwischen den Arten kommen, da es je nach Bestandentwicklung zu mehr oder weniger räumlichen Überlappungen der zonalen Habitate kommen kann. Sich zeitlich verändernde Interaktionen zwischen den vier Huftierarten können somit nicht ausgeschlossen werden.

Auch die Faktoren Schneebedeckung und Länge der Vegetationsperiode verdienen eine nähere, jeweils artbezogene Betrachtung. So bevorzugt der Steinbock generell baumfreie, felsige und kühlere Regionen, die zudem auch oftmals arm an Insekten sind, andererseits profitieren sie von einer Verlängerung der Vegetationsperiode, die Qualität und Quantität des herbstlichen Nahrungsangebotes oberhalb der Waldgrenze steigert [13]. Sicherlich beeinflusst auch die Jagd selbst das Verhalten der Tiere, weshalb Schlussfolgerungen aus jagdlichen Abschussinventaren jeweils mit der notwendigen Sorgfalt interpretiert werden müssen. Für unsere Studie schließen wir aus, dass die Ergebnisse zu den jährlichen Schwankungen der Abschusshöhe von systematischen Langzeitfehlern verfälscht wurden: Das Jagdsystem und die Art und Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung haben sich im Kanton Graubünden

innerhalb des Untersuchungszeitraumes nicht geändert. Auch ist die Zahl der lizenzierten Jäger dort nicht gestiegen, und Einflüsse durch große Raubtiere, wie Wolf und Luchs [15], sind für den Untersuchungszeitraum in Graubünden zu vernachlässigen.

Mit der hier vorgestellten Arbeit möchten wir nicht nur substantielle Daten zu den oftmals komplexen ökologischen Folgen von Klimaveränderungen vorstellen, sondern besonders auf die Relevanz gut belegter und kontinuierlicher Langzeitbeobachtungen aufmerksam machen. Mit Hilfe von innovativen und interdisziplinären Methoden liefert das Bündner Jagdinventar wichtige Antworten auf problemorientierte Fragestellungen im Rahmen der aktuellen Klimawandel-Forschung. Neben ihrer eigenen wissenschaftlichen Bedeutung soll diese Studie zudem als Ansporn dienen, nach ähnlichen Datensätzen von unterschiedlichen Arten und weiteren Klimazonen zu suchen oder derartige Inventarisierungen einzuführen.

## Literatur

- [1] C. Parmesan, G. Yohe, *Nature* **421**, 37 (2003). – [2] J. Lenoir et al., *Science* **320**, 1768 (2008). – [3] M. A. Harsch et al., *Ecol. Lett.* **12**, 1040 (2009). – [4] E. Post et al., *Science* **325**, 355 (2009). – [5] I. C. Chen et al., *Science* **333**, 1024 (2011). – [6] D. M. Johnson et al. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* **107**: 20576 (2010). – [7] M. Gottfried et al., *Nature Clim. Change* **2**, 111 (2012). – [8] H. Pauli et al., *Science* **336**, 353 (2012). – [9] C. D. Thomas et al., *Nature* **427**, 145 (2004). – [10] R. L. Senft et al., *BioScience* **37**, 789 (1987). – [11] R. Kays et al., *Science* **348**, aaa2478 (2015). – [12] U. Büntgen et al., *Ecosphere* **8(4)**: e01761 (2017). – [13] U. Büntgen et al., *Ecol. Lett.* **17**, 303 (2014). – [14] F. Filli, *GREAT- Grandi Erbivori negli Ecosistemi Alpini in Trasformazione 1* (2013). – [15] U. Breitenmoser et al., *KORA Bericht* **70**, 1 (2016).

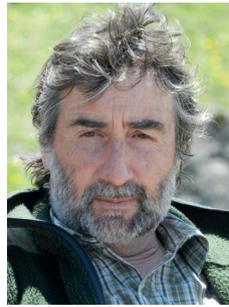
## Danksagung

Ausdrücklicher Dank gilt allen Co-Autoren der *Ecosphere*-Originalpublikation von 2017 [12]. Weiterhin danken wir dem Amt für Jagd und Fischerei (AJF) in Graubünden sowie den rund 7000 Jägern und 100 Wildhütern für die Erhebung und Bereitstellung der Abschussdaten. Das Kantonale Amt für Landwirtschaft und Geoinformation (ALG) in Graubünden hat großzügig weitere Daten zur Verfügung gestellt. Lukas Keller, Achaz von Hardenberg und Alice Brambilla haben die Diskussion kritisch belebt.



**Ulf Büntgen** ist Professor für Umwelt-systemforschung am Geographischen Institut der Universität Cambridge in Großbritannien, sowie Senior Scientist an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf, Schweiz. Zudem ist er seit Jahren eng mit dem „CzechGlobe“ Cluster für Klimawissenschaften sowie der Masaryk Universität im Tschechischen Brno affiliert. Das Erkennen, Verschieben und Überschreiten disziplinbedingter Grenzen ist ein zentraler Eckpfeiler seiner

Forschung, die zu mehr als 240 Publikationen unterschiedlicher Themen in den Bereichen (Paleo-)Klimatologie, Mykologie und Ökologie geführt hat. *Geographisches Institut, Universität Cambridge, CB2 3EN, England, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 8903 Birmensdorf, Schweiz, sowie „CzechGlobe“ und Masaryk Universität, 613 00 Brno, Tschechische Republik, E-Mail: ulf.buentgen@geog.cam.ac.uk*



**Hannes Jenny** ist Wildbiologe beim Amt für Jagd und Fischerei Graubünden und dort mitverantwortlich für das Wildtiermanagement und den Wildtierschutz. Seine jahrelange Jagdpraxis hat maßgeblich zur Erstellung, Auswertung und Interpretation des weltweit einmaligen Bündner Jagdinventares beigetragen.

*Amt für Jagd und Fischerei (AJF), Graubünden, 7001 Chur, Schweiz E-Mail: Hannes.Jenny@ajf.gr.ch*



**Kurt Bollmann** ist Leiter der Gruppe „Naturschutzbiologie“ an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL, wo er sich schwerpunktmäßig mit der Biodiversität von Waldökosystemen und der Ökologie und Gefährdung von seltenen Vogel- und Säugetierarten der Alpen beschäftigt. Dabei schenkt er dem Landnutzungs- und Klimawandel besondere Beachtung. Kurt Bollmann ist Dozent an der ETH und Universität Zürich.

*Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 8903 Birmensdorf, Schweiz, E-Mail: kurt.bollmann@wsl.ch*

## Auf Wissen abonniert Kompetenz im Jahresabo

# Naturwissenschaftliche Rundschau

Im Abonnement inbegriffen ist die jährlich erscheinende **NR-CD-ROM** mit allen Jahrgängen seit 2004!

Der reguläre Bezugspreis beträgt jährlich € 218,- zzgl. € 24,90 Versandkosten\*

Vorzugspreis jährlich € 194,- zzgl. € 24,90 Versandkosten\* für Mitglieder VBIO (Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland e.V.); Deutsche Botanische Gesellschaft und Deutsche Zoologische Gesellschaft; für Assistenten, Referendare

**Sonder-Vorzugspreis von jährlich € 178,- zzgl. € 24,90 Versandkosten\* für Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte.**

Vorzugspreis von jährlich € 134,- zzgl. € 24,90 Versandkosten\* für Studenten und Schüler (Nachweis bitte beilegen).



[www.naturwissenschaftliche-rundschau.de](http://www.naturwissenschaftliche-rundschau.de)

Alle Preise inklusive MwSt. [D], sofern nicht anders angegeben. Das Abonnement hat eine Laufzeit von 12 aufeinander folgenden Monaten, falls nicht befristet bestellt, und verlängert sich um jeweils weitere 12 Monate, wenn es nicht bis spätestens 6 Wochen vor Ende der Laufzeit beim Verlag gekündigt wird. Stand der Preise 1.1.2018.  
\*Lieferung innerhalb Deutschlands.

WVG

Wissenschaftliche  
Verlagsgesellschaft  
Stuttgart

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart  
Birkenwaldstraße 44 | 70191 Stuttgart  
Telefon 0711 2582-353 | Telefax 0711 2582-390  
[www.wissenschaftliche-verlagsgesellschaft.de](http://www.wissenschaftliche-verlagsgesellschaft.de)

**Ihr Begrüßungs-Geschenk** bei Bestellung eines Jahresabonnements:

Lesen Sie die Naturwissenschaftliche Rundschau **3 Monate kostenlos** vor Beginn Ihres Abonnements.