

eurac
research

Klima *report*

Südtirol 2018

05	Warum dieser Report: Einleitung
07	DOSSIER Der Klimawandel in Südtirol und wie er sich auswirkt. Der Report in Kurzform
17	KAPITEL 1 Der Klimawandel
29	KAPITEL 2 Die Treibhausgasemissionen
37	KAPITEL 3 Auswirkungen auf die Natur
38	Schnee und Gletscher
43	Wasser
50	Flora und Fauna
55	Boden
58	Naturgefahren
65	Ökosystemleistungen
67	KAPITEL 4 Auswirkungen auf die Gesellschaft
68	Wassermanagement
73	Landwirtschaft
78	Forstwirtschaft
82	Siedlungen
89	Klimaflüchtlinge
90	Tourismus
97	Verkehrsinfrastrukturen
101	Gesundheit
105	KAPITEL 5 Was können wir tun? Klimaschutz und Klimaanpassung
116	Indikatoren
122	Autoren

SO ENTSTAND DER KLIMAREPORT

Unser ökologischer Fußabdruck wird immer größer. Je nach Berechnungsmethode produziert jeder Einwohner Südtirols im Jahr etwa 5-7,5 Tonnen CO₂-Äquivalent.

2016 beginnen die Forscher von Eurac Research, an einer neuen Ausgabe des Klimareports Südtirol zu arbeiten.

Klimaforscher, Biologen, Umweltplaner, Ingenieure, Soziologen und Juristen sammeln monatelang Daten und werten sie aus.

Die Experten der Provinzverwaltung, der Universität Bozen und des Versuchszentrums Laimburg tragen ihrerseits Daten und Sachkenntnis bei. 14 von ihnen tauschen sich am 15. Juni 2017 in einem Workshop aus.

Die Forscher schreiben, schreiben, schreiben. Von über 400 Seiten wird der Bericht schließlich auf 100 verdichtet.

Warum dieser Report

Im Sommer 2017 war Norditalien von einer beispiellosen Dürre betroffen, mit Schäden für die Landwirtschaft, die auf zwei Milliarden Euro geschätzt wurden. Verantwortlich waren nicht nur Hitze und ausbleibende Niederschläge: Weil der Winter davor sehr schneearm war, fehlte auch das Schmelzwasser. Südtirol hat nicht sehr unter der Trockenheit gelitten, doch vereinzelt mussten aus den Staubecken größere Wassermengen in die Etsch abgelassen werden, damit Gemeinden in der Polesine nicht das Trinkwasser ausging.

Nun brachte der vergangene Winter viel Schnee – so dramatischer Wassermangel wie 2017 ist für den kommenden Sommer nicht zu erwarten. Doch auch der schneereiche Winter 2017/18 war nicht außergewöhnlich kalt: Die Januartemperaturen lagen in Südtirol sogar zwei Grad über dem langjährigen Durchschnitt. Der Trend ist eindeutig. Der Klimawandel ist weder zu leugnen noch aufzuhalten.

Was bedeutet das für Südtirol? Welche Veränderungen sind schon eingetreten, welche zu erwarten? Um davon ein klareres Bild zu gewinnen, haben über 20 Wissenschaftler von Eurac Research über ein Jahr lang Daten gesammelt und ausgewertet, Fakten recherchiert, mit Experten diskutiert und schließlich diesen Report verfasst. Er dokumentiert und analysiert den Wissensstand zum Klimawandel in Südtirol (Kap. 1), zu seinen Ursachen (Kap. 2) sowie den Auswirkungen auf Umwelt (Kap. 3) und Gesellschaft (Kap. 4). Anschließend werden Handlungsempfehlungen gegeben (Kap. 5).

Dieser Report setzt den 2011 veröffentlichten ersten Klimareport fort und entwickelt ihn vor allem in zwei Aspekten entscheidend weiter:

- Wichtige **Datenreihen zu Klimawandel und Klimafolgen** in Südtirol sind in Form von Indikatoren dargestellt. Die in diesem Klimareport verwendeten Indikatoren können auch in Zukunft fortgeschrieben und zur Beobachtung von Klimawandel und Klimafolgen eingesetzt werden. Eine Liste der Indikatoren findet sich auf Seite 116.
- Es liegt ein starker Fokus auf den wichtigsten **Strategien im Umgang mit dem Klimawandel**: Die Verringerung von Treibhausgasemissionen (Klimaschutz) und die Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Mit diesem Klimareport möchten wir so nicht nur eine Faktenbasis liefern, sondern auch den Handlungsbedarf aufzeigen und mögliche Lösungen vorschlagen.

Danksagung

Unser Dank geht vor allem an die Vertreter und Vertreterinnen der verschiedensten Ämter der Autonomen Provinz Bozen, die an diesem Bericht mitgewirkt haben. Sie standen uns als Experten zur Verfügung, gaben in Interviews sachkundige Auskunft, tauschten sich mit uns in Workshops aus und halfen uns, den Report zu verbessern, indem sie Kapitel gegenlasen und kommentierten. Ohne ihre Mitarbeit und ihr Wissen wäre dieser Bericht nicht zu Stande gekommen.

Die Autoren



*Der Klimawandel
in Südtirol und
wie er sich aus-
wirkt. **Der Report
in Kurzform***

Wie verändert sich das Klima in Südtirol?

Man sieht es deutlich an der Entwicklung der Temperaturen. Seit den 1960er Jahren ist die Jahresdurchschnittstemperatur um 1,5 Grad angestiegen. Im Sommer ist es in Bozen und Brixen sogar um drei Grad wärmer geworden. Nach dem pessimistischsten Szenario muss man bis 2050 für den Sommer mit einer weiteren Erwärmung um 1,5 Grad zu rechnen, bis 2100 um fünf Grad. Auffallend ist auch die Zunahme der sogenannten Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 Grad fällt. In den 1960er Jahren konnte man sie in Bozen an einer Hand abzählen. 2015 waren

es 29, ein Rekord. Doch bis Ende des Jahrhunderts könnten 60 Tropennächte im Jahr Normalität sein. Tage mit einer Minimaltemperatur unter null Grad sind dagegen sehr viel seltener geworden, auch in den Bergen. In Sexten zum Beispiel gab es im Jahr 1960 noch 200 solcher Tage, heute sind es ca. 160, und für 2050 rechnet man nur noch mit 140.

Nach dem pessimistischsten Szenario könnten die Sommertemperaturen bis 2100 um fünf Grad steigen



Was bedeutet diese Erwärmung für die Umwelt?

Gleichzeitig mit den Temperaturen verändern sich auch die Niederschläge, überhaupt alle Naturphänomene. Wie schnell in Südtirol die Gletscher zurückgehen – allein zwischen 1983 und 2006 um ein Drittel ihrer Fläche – konnten viele mit eigenen Augen beobachten. Es gibt weniger Schnee, Permafrost (dauerhaft gefrorener Boden) taut auf; dadurch werden Berghänge instabil und es kommt häufiger zu Rutschungen und Bergstürzen, wie im Sommer 2016 an der Kleinen Gaisl in den Sextner Dolomiten. Ein anderes, weniger offensichtliches Beispiel: In den vergangenen zwanzig Jahren haben Tiere und Pflanzen ihren Lebensraum zunehmend in höhere Regionen verlagert, um der Wärme auszuweichen; in tiefen Lagen breiten sich dagegen neue Arten aus. Pflanzenparasiten und Tigermücken vermehren sich immer schneller. Amsel und Gartenrotschwanz werden regelmäßig über der Waldgrenze gesichtet, der Graureiher überwintert mittlerweile in Südtirol und in Wäldern unter 700 m Meereshöhe treten immer häufiger invasive gebietsfremde Pflanzen wie die Robinie auf. Im Moment führt dies noch zu größerem Artenreichtum, zumindest bis auf eine Höhe von 2000 Metern; aber Arten, die schon in hohen Lagen leben, haben früher oder später keine Ausweichmöglichkeit mehr.

Kann eine Erwärmung um wenige Grade Ökosysteme wirklich so durcheinanderbringen?

Ja, weil jede Veränderung wieder andere nach sich zieht, es zu einer Verkettung der Auswirkungen und zu Rückkoppelungseffekten kommt. Vielleicht wird es deutlicher, wenn wir eine Auswirkung auf die Gesellschaft betrachten. Nehmen wir zum Beispiel das Wasser. Mit zunehmender Erwärmung gedeihen Äpfel und Trauben auch in höheren Lagen, die Anbaufläche wird also größer werden. Schon heute aber entfallen 60% der Bewässerung auf den Obstbau. Da die Som-

mer tendenziell trockener werden, kann man sich leicht ausmalen, dass der Wasserbedarf für Intensivkulturen, aber auch für Mähwiesen, beträchtlich zunehmen wird. Derzeit werden im Juni 14 Kubikmeter Wasser pro Sekunde für Bewässerungszwecke entnommen; in 30 Jahren, so schätzen die Experten der Provinz, werden es schon mehr als 16 Kubikmeter pro Sekunde sein. Gleichzeitig wird aber immer weniger Wasser verfügbar sein: Nutzungskonflikte, etwa zwischen Landwirtschaft und Energieproduktion, werden also wahrscheinlicher.

Wie zuverlässig sind diese Voraussagen?

Kein mathematisches Modell ist in der Lage, die Zukunft des Klimas exakt vorherzusagen. Die Zusammenhänge sind außerordentlich komplex, viele Einflüsse sind im Spiel. Trotzdem lassen sich aus Langzeitdaten, etwa zu Temperatur, Bodenfeuchtigkeit oder Niederschlägen, Trends ablesen und davon ausgehend Zukunftsszenarien entwerfen. Je besser die Daten, desto robuster die Vorhersagen. Dank der meteorologischen Stationen des Hydrographischen Amtes der Autonomen Provinz Bozen verfügen wir in Südtirol über zuverlässige Messungen für die vergangenen 50 Jahre (20 Jahre in Bezug auf Naturgefahren), und die Forschungseinrichtungen gewinnen laufend wertvolle Informationen aus der Auswertung von Satellitendaten und aus spezifischen Messungen. Dass die Temperaturen auch in Zukunft steigen werden, gilt als sicher. Weniger sicher sind die Wissenschaftler sich bei anderen Vorhersagen, etwa in Bezug auf Niederschläge, doch Trends lassen sich auch hier erkennen.

Welche zum Beispiel?

Es wird im Winter aufgrund der steigenden Temperaturen weniger schneien, dafür mehr regnen. Auf 1500 Metern wird im Jahr 2100 Schätzungen zufolge 80 – 90% weniger Schnee fallen. Das bedeutet, dass im Sommer immer weniger Wasser zur Verfügung steht. Die Sommer werden trockener und wärmer. Durch die Hitze nimmt die Verdunstung zu, sowohl durch Pflanzen wie aus dem Boden (Evapotranspiration); dazu kommt, dass die Sommerniederschläge abnehmen könnten. Von lokalen Ausnahmen abgesehen bedeutet

dies, dass die Flüsse im Sommer weniger Wasser führen. Der Sommerabfluss der Etsch hat sich seit 1957 um 20% verringert.

**Auf 1500 Metern wird im Jahr 2100
80-90% weniger Schnee fallen**

Doch im Winter 2017/18 fiel viel Schnee – oft mehr als vorhergesehen. Wie können die Wissenschaftler voraussagen, welches Klima in 80 Jahren herrschen wird, wenn sie sich beim Wetter der nächsten Woche nicht sicher sind?

Klima ist nicht dasselbe wie Wetter. Ein schneereicher Winter oder ein ungewöhnlich kühler Sommer reichen nicht aus, um den Klimawandel zu widerlegen. Mit seinen Temperaturen lag übrigens auch der Winter 2017/18 im Trend. In Südtirol waren die Temperaturen durchschnittlich, in vielen Teilen der Welt aber außergewöhnlich hoch. Im Norden Grönlands wurden im Februar 2018 sechs Grad über null gemessen: 20 Grad mehr als normalerweise um diese Jahreszeit. Dagegen drohte Kapstadt in Südafrika aufgrund der Hitze und Trockenheit das Wasser auszugehen, und in Australien brachten Temperaturen von über 40 Grad den Asphalt zum Schmelzen. Der Winter 2017/18 war also global gesehen außergewöhnlich warm.

**Werden wir die Natur in
Zukunft als menschen-
feindlicher erleben?**

So kann man die Frage nicht stellen. Nehmen wir ein anderes Beispiel. Die Experten sind sich einig, dass Extremereignisse wie Starkniederschläge häufiger werden. Auf Straßen und in Siedlungen wird es also häufiger Überflutungen geben, vor allem wenn das Kanalnetz nicht entsprechend ausgebaut ist. Die Schlammlawine, die im Sommer 2017 einen Zug in Oberpustertal blockierte, oder die Überschwemmungen in Bozen während der Gewitter im April des gleichen Jahres sind nur ein Vorgeschmack auf das, was uns in Zukunft häufiger erwarten könnte. Trotz dieser Probleme nimmt die Versiegelung weiter zu, das heißt, es wird immer mehr Bodenfläche durch Beton, Asphalt, Pflastersteine oder Gebäude abgedeckt – Regenwasser kann dann nicht mehr versickern. Die Versiegelung trägt zusätzlich zur Erwärmung bei und es kommt häufiger zur Überlastung der Kanalisation, Infrastrukturen werden anfälliger.

**Extremereignisse wie Starknieder-
schläge werden häufiger werden**

**Sind die Schreckens-
szenarien der Wissen-
schaftler nicht ein wenig
übertrieben?**

Leider nicht. Selbst im optimistischsten Fall, selbst wenn die Menschheit ab sofort keine Treibhausgase mehr freisetzen würde, wäre es zu spät, um die Klimaveränderungen noch aufzuhalten. Übrigens nennt auch der aktuelle Risikobericht des Weltwirtschaftsforums den Klimawandel zum zweiten Mal in Folge als eines der größten globalen Risiken, gemeinsam mit der sozialen Ungleichheit.

Es befindet sich heute eine größere Menge Treibhausgase in der Atmosphäre als zu irgendeinem anderen Zeitpunkt in den vergangenen 800.000 Jahren. 80% der Erwärmung hat der Mensch verursacht – durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe und durch industrielle Prozesse.

In Südtirol gibt es wenig Industrie. Sind wir deshalb auch weniger verantwortlich für den Klimawandel?

In Südtirol produzieren wir jährlich 5,3 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Einwohner, der italienische Durchschnitt liegt bei fast sieben Tonnen. Dabei wirken sich zwei Faktoren zu unseren Gunsten aus:

1. wir haben wenig Industriebetriebe, die fossile Brennstoffe verbrauchen, und
2. wir nutzen zu so hohem Anteil erneuerbare Energiequellen – an erster Stelle Biomasse und Wasserkraft –, dass wir unseren Stromverbrauch praktisch ohne Emissionen decken.

Das heißt aber nicht, dass wir uns auf den Lorbeeren ausruhen können.

Warum nicht? Welche sind die relevanten Emissionsquellen in Südtirol?

Der Verkehr, eingerechnet der Transitverkehr auf der Brennerachse, ist für 44% der Gesamtemissionen verantwortlich, seine Emissionen liegen über dem italienischen Durchschnitt. Es folgt die Produktion von Wärmeenergie: 36% der Emissionen entstehen beim Heizen eines Großteils veralteten und energetisch wenig effizienten Gebäudebestands. An dritter Stelle steht die Landwirtschaft mit 18% der Emissionen, vor allem Methan und Lachgas. Auch dieser Wert liegt über dem italienischen Durchschnitt. Nicht berücksichtigt sind in dieser Rechnung außerdem die sogenannten „grauen Emissionen“, die außerhalb der Provinzgrenzen anfallen, aber mit Produkten zusammenhängen, die wir konsumieren – etwa Kleidung, Lebensmittel, Telefone und andere technische Geräte. Gerade weil Südtirol wenig Industrie hat, werden viele Güter importiert.

Für welche Emissionsmenge sind wir verantwortlich, wenn man auch die grauen Emissionen verbucht?

Nach Berechnungen der KlimaHaus-Agentur kommen dann auf jeden Einwohner jährlich fast 7,5 Tonnen CO₂-Äquivalent. So gesehen sind wir alles andere als vorbildhaft. Viel hängt eben davon ab, wie man die Emissionen berechnet. Nehmen wir zum Beispiel die Produktion von Milch: Würden alle dabei anfallenden Emissionen eingerechnet, unabhängig davon, ob sie in der Provinz oder außerhalb entstehen – vom Stromverbrauch im Stall bis zu Futterproduktion und Milchtransport – dann wäre allein dieser Bereich für mehr Emissionen verantwortlich, als wir sie jetzt dem gesamten Agrarsektor zuschreiben.

Würden alle bei der Milchproduktion anfallenden Treibhausgase eingerechnet, dann wäre sie alleine für mehr Emissionen verantwortlich, als wir sie jetzt dem gesamten Agrarsektor zuschreiben

In unserer Provinz gibt es schon viele Initiativen zum Umweltschutz.

Das stimmt, wir tun einiges. Aber noch nicht genug, um den Klimawandel abzuschwächen, also unsere Emissionen zu verringern. Wollen wir die Ziele des Klimaplanes erreichen, müssen wir die Emissionen bis 2050 um zwei Drittel senken. Was die Anpassung betrifft, also Maßnahmen, um uns auf die Klimaveränderungen vorzubereiten und mit ihren Folgen umzugehen, so stehen wir erst ganz am Anfang. Sowohl

die internationale Wissenschaftsgemeinde wie die EU empfehlen seit Jahren, Klimaschutz und Klimaanpassung in einer umfassenden Strategie zu verbinden, die alle Sektoren einschließt – Verkehr, Tourismus, Wasserwirtschaft, Stadtplanung usw.

Woran mangelt es der Südtiroler Umweltpolitik?

Der 2011 veröffentlichte Klimaplan „Energie Südtirol 2050“ ist ein grundlegendes strategisches Instrument. Anerkennenswert sind auch Aktionspläne auf Gemeindeebene und Initiativen wie die KlimaHaus-Zertifizierung oder das Programm Green Mobility, das Elektrofahrzeuge subventioniert. Wichtig wäre jedoch, über entsprechende Instrumente auch für die Klimaanpassung zu verfügen – so wie die Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici es den Regionen nahelegt.

Aufgaben der Südtiroler Politik

- Das Paris-Abkommen in konkrete Instrumente auf regionaler Ebene übersetzen; den Klimaplan „Energie-Südtirol-2050“ entsprechend überprüfen und gegebenenfalls anpassen
- Eine umfassende Klimaanpassungsstrategie ausarbeiten
- Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in Gesetze und Fachpläne integrieren, insbesondere in das Landesgesetz für Raum und Landschaft, den Wassernutzungsplan, den Gefahrenzonenplan und den Landesforstplan
- Die Aktionspläne für nachhaltige Energie der Gemeinden (Sustainable Energy Action Plan, SEAP) um die Komponente Klimaanpassung ergänzen
- Die Position eines „Nachhaltigkeitsbeauftragten“ schaffen, der die Maßnahmen in verschiedenen Bereichen koordiniert, ihre Umsetzung begleitet und den Erfolg überblickt

In welchen Sektoren ist es in Südtirol besonders wichtig, zu handeln? Und wie?

An erster Stelle steht das Wassermanagement; hier geht es vor allem um eines: weniger zu verbrauchen. Entscheidend ist außerdem, die Emissionen zu reduzieren, die durch den Verkehr und den Tourismus entstehen. Nicht zuletzt gilt es in allen Sektoren auf das erhöhte Risiko von Naturgefahren vorbereitet zu sein. All dies bringt neue Herausforderungen mit sich, die man aber auch als Chance sehen kann.

Aufgaben der wichtigsten Sektoren

<i>Wasser: Sparen!</i>	Beispiele: Konzessionen nach Bedarf und nicht nach festgesetzten Quoten / mehr Tropfenbewässerung / mehr und präzisere Systeme zur Überwachung der Bodenfeuchte und entsprechenden Anpassung der Bewässerung / genauere jahreszeitliche Vorhersagen
<i>Verkehr: Emissionen reduzieren!</i>	Beispiele: mehr öffentlicher Verkehr, zuverlässig und koordiniert / weniger und teurere Parkplätze / mehr Infrastrukturen für Radfahrer und Fußgänger / mehr Anreize für Autos mit Elektro-, Hybrid- oder Wasserstoffantrieb und Ausbau des entsprechenden Tankstellennetzes / Umweltkosten auf Mautgebühren anrechnen
<i>Tourismus: Emissionen reduzieren!</i>	Beispiele: An- und Abreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln fördern, inklusive guter Verbindungen zu den Flughäfen / mehr Initiativen, die Touristen dazu bringen, ihr Auto stehen zu lassen, etwa Leih-Elektrofahrzeuge oder für den Autoverkehr geschlossene Pässe / mehr KlimaHotels und BioHotels / Zertifizierungen wie Grüner Stern, Green Globe, Earthcheck für die nachhaltigsten Betriebe

Der Klimawandel bedeutet eine große Herausforderung, beinhaltet aber auch Chancen

In welcher Hinsicht können die Klimaveränderungen für den Tourismussektor eine Chance bedeuten?

Eine Zukunft mit weniger Schnee lässt die Betreiber der Skigebiete um den traditionellen Wintertourismus bangen. Obwohl sich die Zahl der Schneekanonen zwischen 1995 und 2015 verfünffacht hat, ging die Zahl der Skifahrer in den letzten Jahren leicht zurück, und die technische Beschneigung wird immer weniger aufrechtzuerhalten sein. Doch mit den Klimaänderungen ist auch eine Bewusstseinsveränderung eingetreten, die aus mindestens zweierlei Gründen eine Chance bedeutet. Dies ist der richtige Moment, um das Angebot für den Sommer oder die Zwischensaison auszubauen, zum Beispiel den Radtourismus mit E-Bikes oder die „Sommerfrische“; nach einer unseren Studien könnten im Jahr 2080 77% der Touristen im Sommer nach Südtirol kommen – in den vergangenen zwanzig Jahren waren es konstant 60%. Dies ist auch der Moment, den Tourismus insgesamt neu zu denken: mit mehr naturnahen, klimafreundlichen Angeboten wie Urlaub auf dem Bauernhof, Zertifizierungen nach Umweltkriterien, Initiativen, die den Gebrauch öffentlicher Verkehrsmittel für Touristen attraktiv machen.

Und was kann der einzelne Bürger tun? Wie sich nicht entmutigen lassen angesichts eines so großen und unvermeidbaren Phänomens?

Der erste Schritt ist, uns bewusst zu werden, wieviel Treibhausgase wir ausstoßen und wieviel Energie wir verbrauchen – auch eine Familie muss erst einmal wissen, was sie ausgibt, bevor sie entscheidet, wo sie sparen kann. Der CO₂-Rechner auf der Webseite der KlimaHaus-Agentur (casaclima.co2-rechner.de/de_IT) macht es leicht, unseren ökologischen Fußabdruck zu bestimmen und Einsparpotenziale zu entdecken. Ein Flug von Verona nach Palermo und zurück belastet unsere Bilanz zum Beispiel mit 0,5 Tonnen. Wer vegetarisch isst und jahreszeitliche Lebensmittel aus der Umgebung verwendet, kann dagegen seine Klimabilanz um 0,2 Tonnen verbessern.

NATUR

• Die Schneegrenze steigt an

• Höhere Temperaturen

• Im Winter fällt weniger Schnee und mehr Regen

• Die Gletscher schmelzen

• Permafrost geht zurück

• Erhöhte Evapotranspiration

• Mehr Massenbewegungen

• Pflanzen und Tiere verlegen ihren Lebensraum in höhere Regionen

• Wärmere Seen

• Die Flüsse führen im Sommer weniger Wasser, im Winter mehr

• Häufigere Gewitter

• Vorgezogene Blüte, längere Vegetationsperioden

• Mehr anpassungsfähige Arten, sogenannte Generalisten

• Mehr Überflutungen

• Mehr Pilze und Parasiten

GESELLSCHAFT



◆ Mehr Kunstsnee

◆ Weniger Skisport

◆ Mehr Sommertourismus

◆ Häufigere Unterbrechungen von Straßen und Eisenbahnlinien

◆ Laubbäume erweisen sich als einträglicher als Nadelbäume

◆ Frühere Obsternte und Weinlese

◆ Mehr Konflikte ums Wasser: Energieerzeugung, Landwirtschaft, Fischerei und Tourismus konkurrieren um knapperes Gut

◆ Mehr Bewässerung

◆ Mehr Krankheiten (und Unannehmlichkeiten) durch Zecken und Mücken

◆ Obst- und Weinbau in höheren Lagen

◆ Mehr urbane Überflutungen

◆ Häufigere Hitzewellen



Der Klima- wandel

MARC ZEBISCH

1

WELTWEIT UND IN EUROPA

Seit ca. einem Jahrhundert beobachtet man eine ungewöhnliche und rasche Erwärmung des Erdklimas. Die Jahre 2000-2015 waren die 15 wärmsten seit Beginn der Industrialisierung. Global hat sich die Durchschnittstemperatur seit 1880 um 0,85°C erhöht (1) (→ Abb. 1). Besonders seit den 1970er Jahren ist die Temperatur kontinuierlich und beschleunigt gestiegen. In Europa sind die Temperaturen in diesem Zeitraum um 1,5°C gestiegen (2), im Alpenraum sogar um 2°C (3). Ursache für die stärkere Erwärmung der Alpen ist ihre Lage in der Mitte Europas. Zum einen erwärmen sich die Kontinente stärker als die Ozeane, zum ande-

ren verschieben sich mit dem Klimawandel die Wetterlagen und Klimaregime, sodass die Alpen, und vor allem der Süden der Alpen, verstärkt in den Einfluss eines mediterranen Klimas geraten, das milde, feuchte Winter und trockene, heiße Sommer kennzeichnen. Die unmittelbaren Auswirkungen sind global bereits zu spüren. Der Meeresspiegel steigt an, Gletscher und Polkappen schmelzen, die Vegetationsperiode verschiebt sich nach vorne, Dürren nehmen zu. Zu den Auswirkungen in Südtirol siehe Kapitel 3 und 4. Der Hauptgrund für diesen Klimawandel ist die vom Menschen verursachte Emission von Treibhausgasen, deren Konzentration in der Atmosphäre

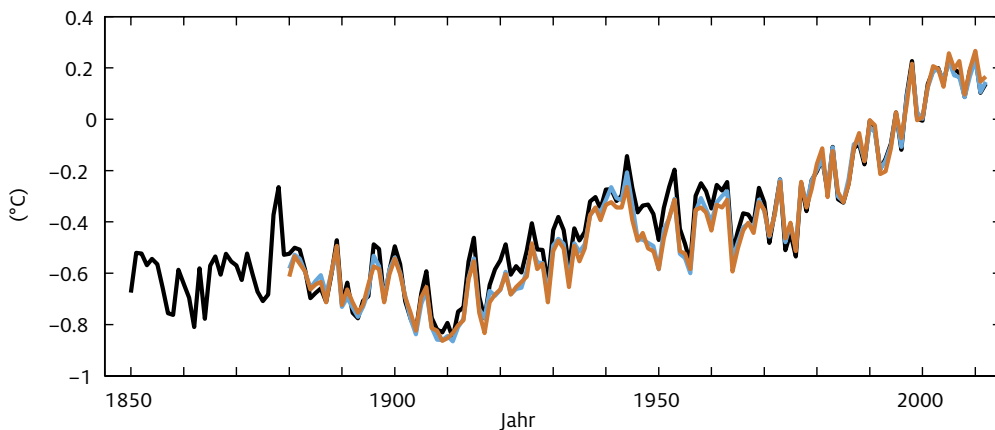


Abb. 1: Jährlicher globaler Mittelwert der kombinierten Land- und Meeresoberflächentemperaturanomalie bezogen auf die Mittelwerte der Referenzperiode 1986-2005. Die Farben kennzeichnen unterschiedliche Datensätze. (Quelle: IPCC, 2014)

DAS ABKOMMEN VON PARIS

Im Dezember 2015 trafen sich Vertreter fast aller Länder der Welt in Paris, um ein Abkommen zur Begrenzung der globalen Erwärmung zu treffen. Kern des Abkommens ist die gemeinsame Absichtserklärung, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst 1,5°C im Vergleich zum vorindustriellen Temperaturniveau zu beschränken. Außerdem verpflichteten sich Länder und Re-

gionen auf individuelle Emissionsminderungen. Da die globale Erwärmung der letzten Jahrzehnte bereits nahezu 1°C beträgt, könnte selbst das weniger ambitionierte 2°C Ziel nur durch ein sofortiges Umsteuern im Stil des RCP2.6 Szenarios erreicht werden (grüne Kurve in Abb. 3). Selbst wenn alle Staaten ihre Emissionen um das vereinbarte Maß reduzierten, müsste man mit einer Erwärmung

1972

In Stockholm wird das UN-Umweltprogramm UNEP gegründet

1988

Der Weltklimarat IPCC wird gegründet

1990

Erster Bericht des IPCC

1992

Weltgipfel in Rio de Janeiro: erste Weltkonferenz der Staatsoberhäupter zu Umwelt und Entwicklung

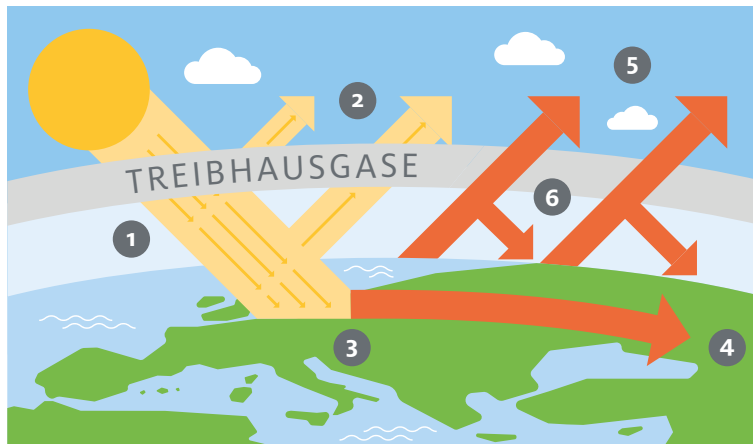


Abb. 2: Der Treibhauseffekt

1. Die Sonnenstrahlung durchdringt die Erdatmosphäre.
2. Atmosphäre und Erdoberfläche reflektieren einen Teil der Solarstrahlung.
3. Solarenergie wird von der Erdoberfläche absorbiert und in Wärme verwandelt.
4. Die erwärmte Erde gibt Infrarotstrahlung an die Atmosphäre ab.
5. Ein Teil der Infrarotstrahlung durchdringt die Atmosphäre und verliert sich im All.
6. Ein Teil der Infrarotstrahlung wird von den Treibhausgas-Molekülen in der Atmosphäre absorbiert und auf die Erde zurück reflektiert, wodurch sie sich weiter erwärmt.

re in der Folge zunimmt. Treibhausgase strahlen die von der Erde ausgehende Wärmestrahlung zum Teil zurück und tragen durch diesen „Treibhauseffekt“ zu einer Erwärmung der Atmosphäre, der Erdoberfläche und der Meere bei. Der größte Anteil des Temperaturanstiegs (fast 80%) ist durch die Freisetzung von Kohlendioxid (CO_2) verursacht, das bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Öl, Kohle, Gas) und bei industriellen Prozessen entsteht. Methan (CH_4)-Emissionen und Lachgas (N_2O)-Emissionen, vor allem aus der Landwirtschaft, tragen ebenfalls zum Treibhauseffekt bei. **In Folge dieser Emissionen befinden sich heute mehr Treibhausgase in der Atmosphä-**

re als zu irgendeinem anderen Zeitpunkt in den letzten 800.000 Jahren. Seit Beginn der Industrialisierung hat die Konzentration um ca. 40% zugenommen. Zur Emission von Treibhausgasen global und in Südtirol siehe Kapitel 2. Zwar lässt sich die Zukunft des Klimas nicht genau vorher-sagen, mit Hilfe von Computermodellen lassen sich aber mögliche Entwicklungen projizieren. Wie schnell und wie stark der Klimawandel fort-schreitet, hängt vor allem von der Entwicklung der Treibhausgasemissionen ab. Der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat hierzu vier verschiedene Szenarien aufgestellt, so-genannte Representative Concentration Pathways

von deutlich mehr als 3°C rechnen. Dennoch kann der Gipfel als Erfolg angesehen werden, da zum ersten Mal auch die größten Treibhausgasemit-tenten (USA, China) ein Klimaschutzabkommen mitunterzeichneten. Im Juni 2017 verkündete der amerikanische Präsident Donald Trump den Rückzug Amerikas aus dem Pariser Vertrag, was international mit Protest und Unverständnis auf-

genommen wurde. Gleichzeitig erklärten mehrere US-Bundesstaaten, Städte und sogar Firmen, sich nach wie vor an das Abkommen gebunden zu fühlen. Insofern besteht die Hoffnung, dass das Pariser Abkommen auch nach dem Ausscheiden der US-Regierung ein wirksames Signal in Rich-tung Klimaschutz darstellt.

1997

Kyoto-Protokoll: Die Industrieländer verpflichten sich, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren

2008

Klima- und Energiepaket 2020: Die EU setzt sich zum Ziel, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 20% gegenüber dem Stand von 1990 zu senken

2015

Abkommen von Paris; Aktualisierung des Klima- und Energiepakets 2020: 40% weniger Emissionen bis zum Jahr 2030

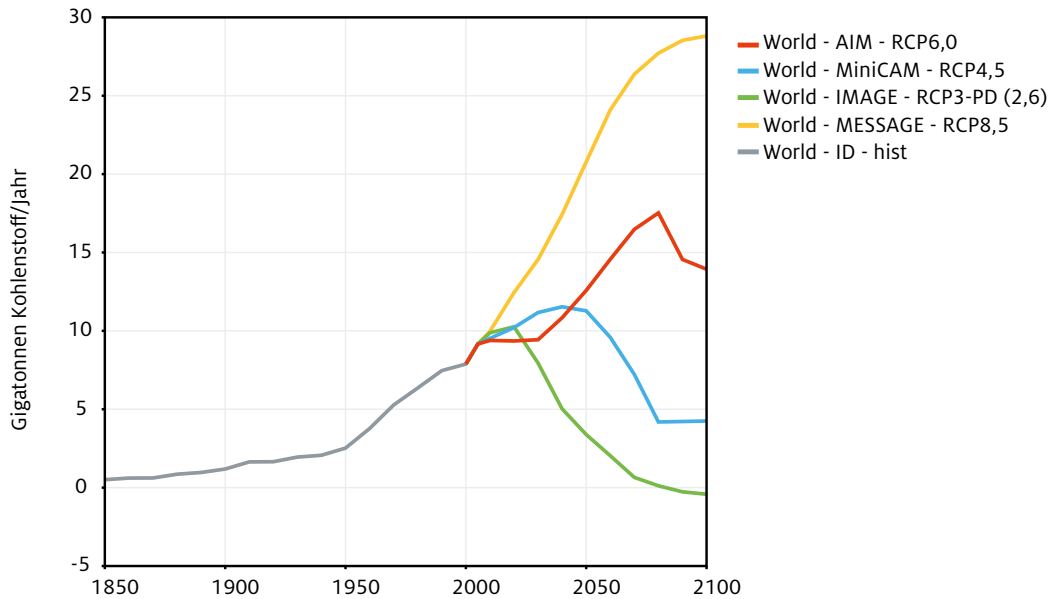


Abb. 3: Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen
(Quelle: RCP Database (Version 2.0.5) 30.10.2017)

– RCP (→ Abb. 3). Diese reichen von *business-as-usual*-Szenarien, die eine weitere kontinuierliche Steigerung der Emissionen annehmen (RCP8.5), über optimistischere Szenarien, die von einer Reduktion ab ca. 2080 (RCP6.0) bzw. ab ca. 2040 (RCP4.5) ausgehen, bis hin zu einem fiktiven Optimal-Szenario, in dem Treibhausgasemissionen bereits ab 2020 stark reduziert und schließlich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts völlig eingestellt würden (RCP2.6). Mit diesen Szenarien zu Treibhausgasemissionen werden dann Klimamodelle angetrieben, die das mögliche zukünftige Klima berechnen können. Für das Szenario RCP8.5 muss demnach global bis zum Ende des Jahrhunderts mit einer Erwärmung von bis zu 4,1°C über dem vorindustriellen Niveau gerechnet werden.

Selbst das optimale Szenario würde aber noch eine Erwärmung um ein weiteres Grad mit sich bringen (→ Abb. 4).

Generell sind Klimaszenarien und die Ableitung von möglichen Folgen mit großen Unsicherheiten behaftet. **Sehr sicher sind dabei alle Aussagen zu steigenden Temperaturen.** Dieser Trend lässt sich weltweit und in Südtirol durch Beobachtungen belegen. Die Computermodelle zeigen hier auch große Einigkeit. Weniger sicher sind Aussagen zu Veränderungen der Niederschläge und zu Niederschlagsextremen. Besonders in Bezug auf lokale Ereignisse wie Gewitter lassen sich Trends wissenschaftlich nur teilweise belegen und für die Zukunft schwer modellieren, weil Messnetze nicht dicht genug bzw. Mess-Zeitreihen zu kurz sind.

METHODEN

Für den vorliegenden Bericht wurden Messungen des Hydrographischen Amtes der Autonomen Provinz Bozen, Daten des Projekts 3PClim (4) sowie die neuesten Klimaszenarien für Europa aus der Euro-Cordex Datenbank (5) analysiert, und für Vergangenheit und Zukunft über 30 verschiedene Klimaparameter berechnet. Dabei wurden exemplarisch sechs ausgewählte Stationen untersucht, die in ihrer Abdeckung alle Landesteile und unterschiedliche Höhenlagen berücksichtigen und für

die ausreichend lange Zeitreihen vorliegen (Bozen, Brixen, Sterzing, Vernagt, Sexten, Marienberg).



Bei den Berechnungen zu Klimaszenarien für Südtirol haben wir uns als optimistische Zukunftsvariante für das Szenario RCP4.5 entschieden, als pessimistische für das Szenario RCP8.5. Neben der Darstellung in diesem Kapitel finden sich in den einzelnen Fachkapiteln weitere für das jeweilige Thema relevante Klimaindices.

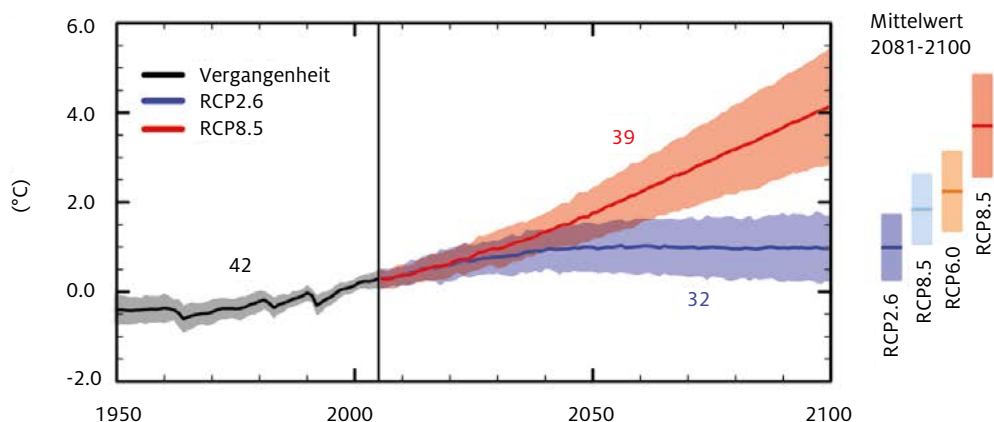


Abb. 4: Mögliche Entwicklung der globalen Durchschnittstemperatur in Abhängigkeit von Treibhausgasszenarien

Dennoch sollten im Sinne eines Vorsorgeprinzips auch solche Trends berücksichtigt werden, da es zumindest als wahrscheinlich erscheint, dass z. B. Starkregenereignisse mit dem Klimawandel an Heftigkeit zunehmen werden.

IN SÜDTIROL

Südtirol hat sich in den letzten 50 Jahren (1966–2015) überdurchschnittlich stark erwärmt. Im Durchschnitt wurden seit den 1960er Jahren an den sechs ausgewählten Stationen die Sommer um 2,2°C wärmer, die Winter um ca. 0,8°C (Tabelle 1).

Am stärksten ist die Temperatur an den Stationen Bozen und Brixen gestiegen. Hier hat sich die Durchschnittstemperatur im Sommer seit den 60er Jahren um ca. 3°C erhöht, im Winter um ca. 1,5 – 2°C (→ Abb. 6). Allerdings hat sich die Umgebung der Station Bozen etwas verändert (Neubau Krankenhaus), die Station Brixen wurde verlegt, sodass ein geringer Teil der ermittelten Erwärmung auch auf diese Veränderungen zurückzuführen sein mag.

Nicht alle ausgewählten Stationen haben sich so deutlich erwärmt. Vor allem die höher gelegene, nördlichere Station (Vernagt) zeigt in der Vergangenheit nur einen geringen Trend im Sommer und einen negativen Trend im Winter. Für die Zukunft wird allerdings auch an diesen Stationen mit einem ähnlichen Anstieg der Temperaturen

wie an der Station Bozen gerechnet. Besonders die warmen Sommer 2003 und 2015 stellten jeweils Hitzerekorde auf.

WETTERREKORDE IN SÜDTIROL SEIT BEGINN DER WETTERAUFEZEICHNUNG

(von Dieter Peterlin, Wetterdienst Bozen)

- Wärmstes Jahr:** 2015
- Mildester Winter:** 2006/2007
- Heißester Juni:** 2003
- Heißester Juli:** 2015
- Heißester August:** 2003
- Höchste Anzahl Tropennächte:** 29 (2015)
- Wärmste Nacht:** 25,7°C (Bozen, 16. Juli 2015)
- Höchste Temperatur:** 40,1°C (Tramin, 11. August 2003)
- Tiefste Temperatur im Tal:** -29°C (Toblach, 10.02.1969)
- Längste Trockenperiode:** 103 aufeinanderfolgende Tage im Winter 1992/1993
- Höchste Niederschlagsintensität der letzten Jahre:** 124 mm in 6 Stunden in St. Martin im Passeier (05. August 2015)
- Blitzreichster Tag:** 24. Juni 2017 mit 11.500 Blitzeinschlägen



Abb. 5: Für die Auswertung herangezogene Stationen

Bis 2050 muss in Südtirol mit einer weiteren Erwärmung im Sommer um ca. 1,4°C bis 1,6°C und bis 2100 sogar um 2,1°C (RCP4,5) bis 5,4°C (RCP8,5) gerechnet werden. Die Winter könnten sich bis 2050 um 1,1°C bis 1,3°C erwärmen und bis 2100 um 1,8°C bis 4,7°C (Tabelle 1). Eine Karte der modellierten zukünftigen Temperaturentwicklung bis 2050 für den Großraum der Alpen zeigt, dass sich der Alpenraum, und damit auch Südtirol, stärker erwärmt als andere Regionen in Europa (→ Abb. 7). Mit steigenden Temperaturen nimmt auch die Anzahl der Tage mit extremen Temperaturen zu. So hat zum Beispiel die Anzahl der Sommertage (Tage

mit Tmax > 20°C) in Bozen bereits von ca. 100 in den 1960er Jahren auf heute ca. 115 zugenommen. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte diese Zahl auf 175 Tage steigen. Auch Vernagt, mit heute durchschnittlich weniger als 10 Sommertagen pro Jahr, könnte bis Ende des Jahrhunderts über 60 Sommertage im Jahr erleben. Ebenfalls stark zu, nimmt die Anzahl der Tropennächte, das sind Nächte, in denen die Temperatur nicht unter 20°C abkühlt. Bisheriges Rekordjahr war das Jahr 2015 mit 29 Tropennächten. Ein ähnlicher Indikator ist die Anzahl der Tage, an denen die Minimaltemperatur nicht unter 20°C sinkt. 24 solche Tage gab es

Temperatur [°C]

	1966-2015		2011-2050 RCP4.5		2011-2050 RCP8.5		2011-2100 RCP4.5		2011-2100 RCP8.5	
	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter
Bozen	+3,15	+1,55	+1,32	+1,12	+1,48	+1,40	+1,82	+1,97	+5,18	+4,80
Brixen	+3,10	+2,60	+1,56	+1,04	+1,80	+1,28	+2,31	+1,94	+5,65	+4,73
Marienberg	+2,00	+0,10	+1,48	+1,04	+1,64	+1,08	+2,18	+1,59	+5,74	+4,23
Sexten	+1,90	+0,65	+1,28	+1,16	+1,44	+1,28	+1,83	+2,11	+4,84	+5,18
Sterzing	+2,05	+0,75	+1,80	+0,96	+2,04	+1,28	+2,65	+1,71	+6,29	+4,78
Vernagt	+0,95	-1,10	+1,20	+1,12	+1,32	+1,28	+1,65	+1,72	+4,82	+4,63
Durchschnitt	+2,19	+0,76	+1,44	+1,07	+1,62	+1,27	+2,07	+1,84	+5,42	+4,73

Tab. 1: Temperaturentrends an Südtiroler Stationen für die Vergangenheit und ausgewählte Perioden der Zukunft

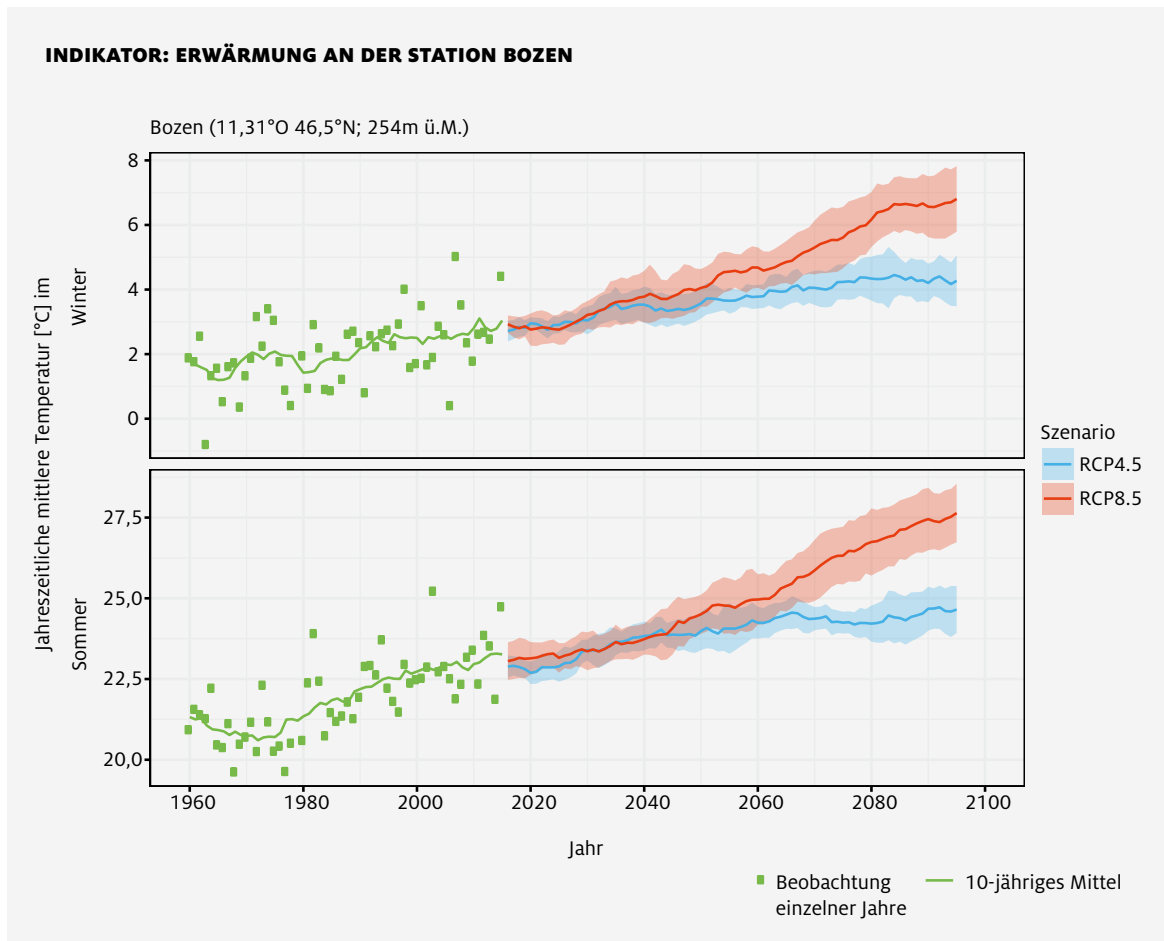


Abb. 6: Erwärmung an der Station Bozen (Grüne Punkte: Beobachtung einzelner Jahre, Linie: 10-jähriges Mittel) und mögliche Temperaturentwicklung für ein business-as-usual-Szenario (RCP8.5, roter Bereich) und ein optimistisches Szenario bei rascher Reduktion der Treibhausgasemissionen (RCP4.5, blauer Bereich). (Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

im Rekordjahr 2015. Was heute einen Rekord bedeutet, wäre nach den Berechnungen aber bereits im Jahr 2050 normal. Bis 2100 könnte es in Bozen durchschnittlich mehr als 60 Tage im Jahr geben, an denen es auch in der Nacht nie kühler als 20°C wird (→ Abb. 8).

Anders verhält es sich mit den Niederschlägen. Hier sind für die meisten Stationen keine Trends zu erkennen und es überwiegen die Schwankungen von Jahr zu Jahr. In Zukunft ändert sich daran nicht viel, allerdings lässt sich ein leichter Trend zur Zunahme der Winterniederschläge beobachten.

Eine Analyse der Regenmengen pro Tag legt nahe, dass bereits in den letzten Jahrzehnten der Regen an einigen Stationen (Bozen) vermehrt als Starkregen fällt (untersucht wurden Tage mit >10mm; >20mm; > 50mm Niederschlag) (→ Abb. 9). Vor allem im Sommer gehen Starkregenereignisse meist mit Gewittern einher. Klimaforscher gehen davon aus, dass mit dem Anstieg der Temperaturen auch die Anzahl und Intensität von Gewittern zunehmen wird. Das lässt sich zwar bisher für Südtirol noch nicht ausreichend mit Daten belegen, doch in Zukunft könnte die Anzahl der Blitze in Südtirol ein guter Indikator für eine mögliche Veränderung

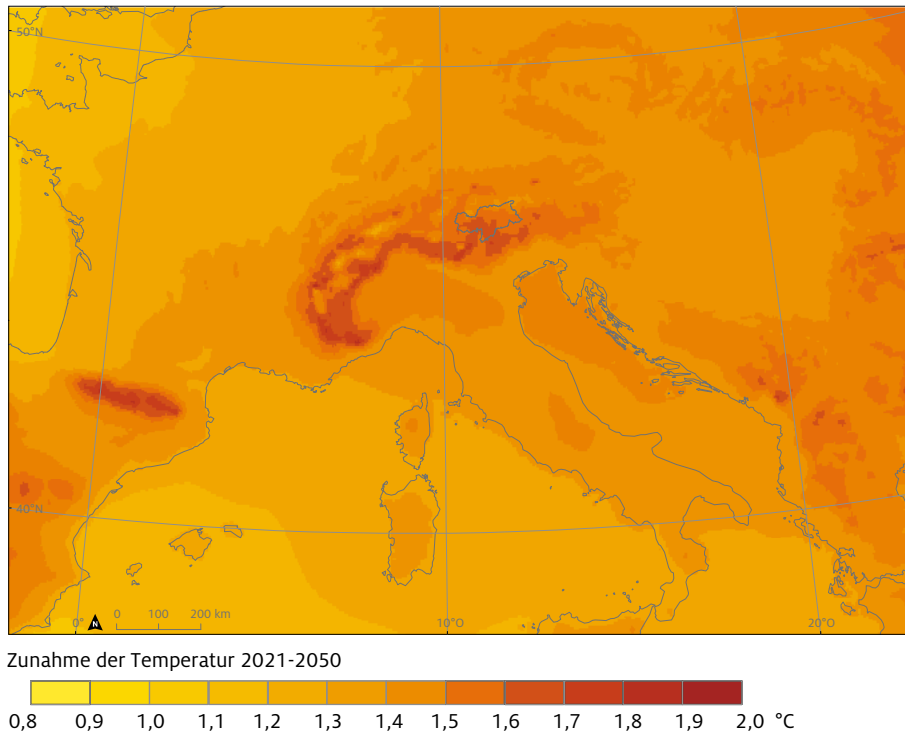


Abb. 7: Veränderung der Temperatur der nahen Oberfläche im Zeitraum 2021 – 2050, berechnet aus dem Durchschnitt der Euro-Cordex RCP45 Ensemble Szenarien. (Daten: Euro-Cordex. Darstellung: Eurac Research)

der Gewittertätigkeit sein. Blitzdaten werden seit 2007 durch das Messnetz Nowcast.de für ganz Südtirol automatisch erhoben und über das Hydrographische Amt zur Verfügung gestellt (→ Abb. 10). Das Jahr 2017, mit über 100.000 Blitzen bis Ende August, war das blitzreichste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen. Entsprechend reich war der Sommer an Starkniederschlägen und ihren Folgen (Muren, Rutschungen, Überschwemmungen). Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass **in Südtirol in Zukunft vor allem im Sommer die Monate mit Trockenheit zunehmen**. Das liegt hauptsächlich daran, dass mit steigenden Temperaturen deutlich mehr Wasser durch Verdunstung verloren geht, sowohl durch Pflanzen wie aus dem Boden (Evapotranspiration). Mit Hilfe des

speziellen Trockenheitsindex SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) lässt sich ermitteln, wie viele Monate in einer bestimmten Periode stark unter- oder überdurchschnittlich trocken sind. Für die meisten Stationen in Südtirol zeigt sich für die Zukunft eine deutliche Zunahme der extrem trockenen Monate, vor allem nach 2040. Die Anzahl der extrem feuchten Monate erhöht sich ebenfalls leicht (→ Abb. 11). In der Summe setzt sich also der Trend fort, dass die Sommer heißer und trockener werden, mit entsprechenden Hitze- und Trockenheitsextremen. Die Winter werden hingegen milder und feuchter. Die Niederschläge fallen verstärkt als Starkregen.

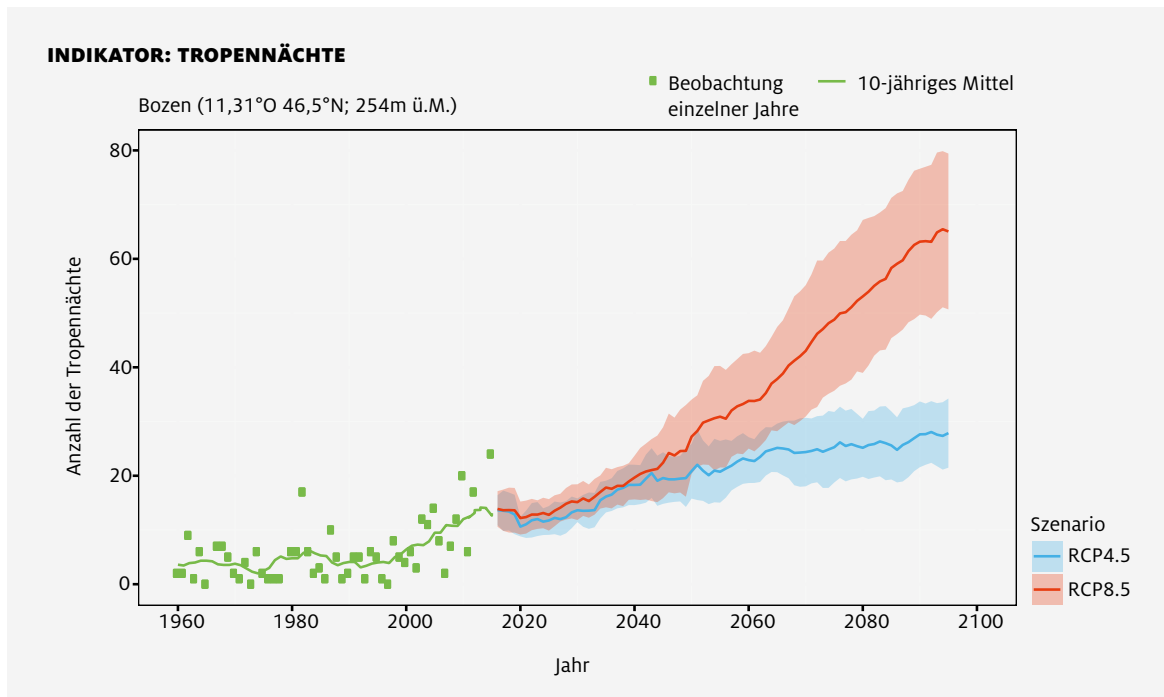


Abb. 8: Anzahl der Tage mit Minimaltemperaturen über 20°C in Bozen (entspricht der Anzahl der Tropennächte)
(Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

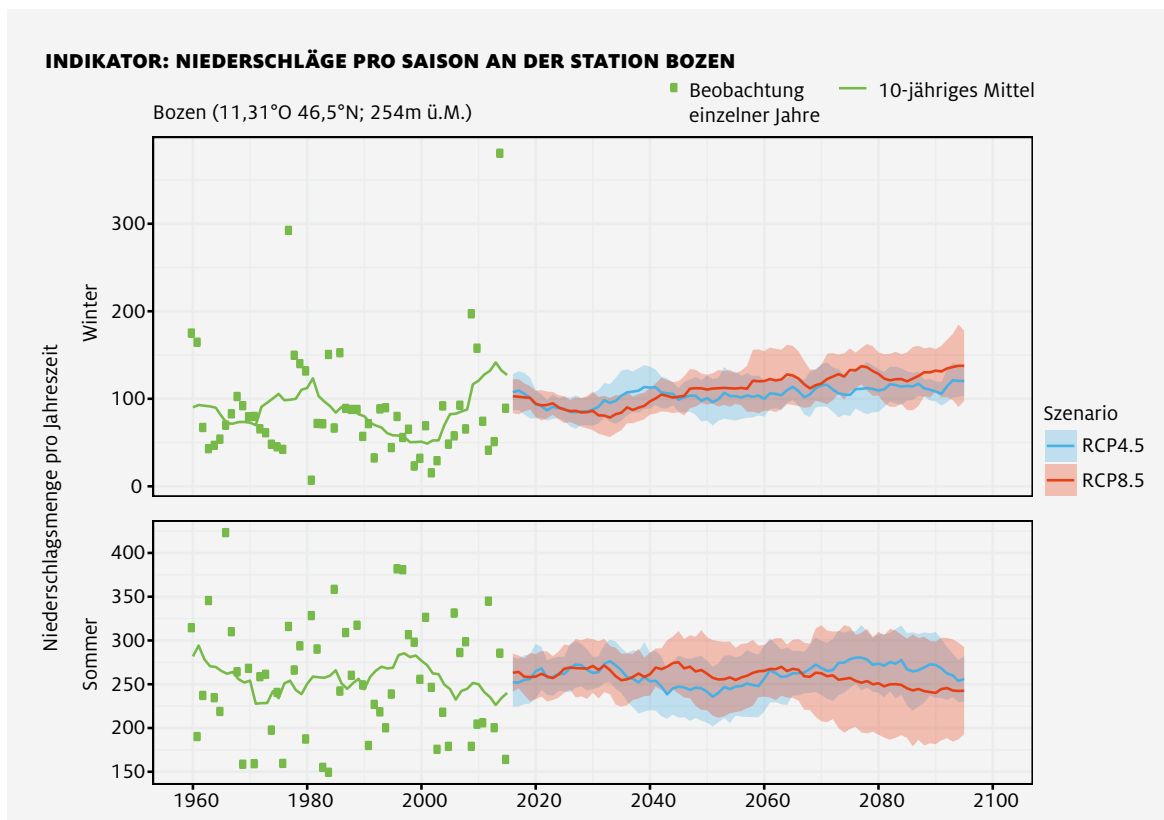


Abb. 9: Veränderung der Niederschläge pro Saison an der Station Bozen. Es überwiegen die Schwankungen von Jahr zu Jahr.
(Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

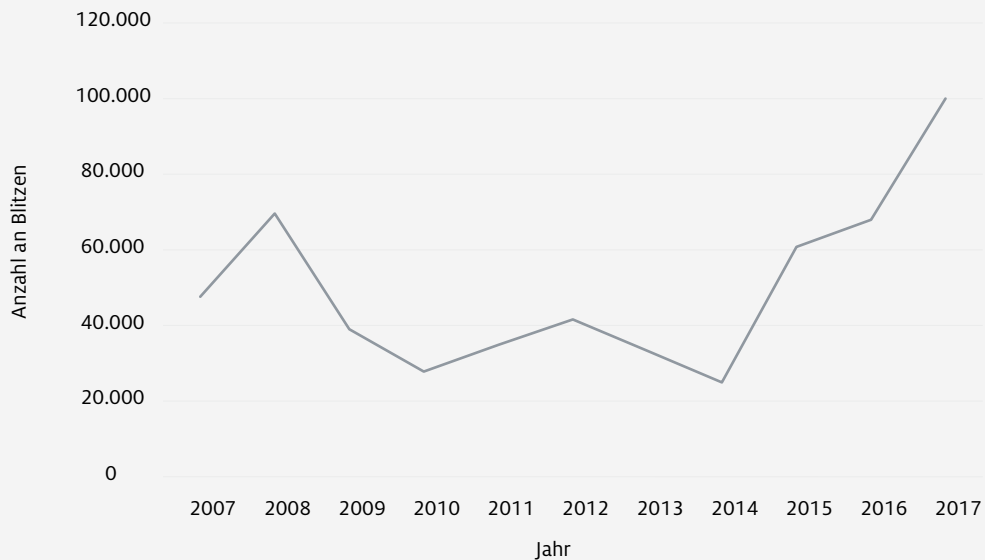
INDIKATOR: ANZAHL BLITZE PRO JAHR

Abb. 10: Anzahl der Blitze pro Jahr. Auffällig ist das Jahr 2017 mit über 100.000 Blitzen. Ein kleiner Teil der Veränderung könnte auf methodologische Verfeinerungen zurückzuführen sein. Die Anzahl der Blitze ist ein guter Indikator für die Anzahl an Gewittern, die oft mit Starkregen und daraus folgenden Naturgefahren (Muren, Rutschungen, Überschwemmungen) einhergehen. (Daten: Netzwerk nowcast.de, bereitgestellt vom Hydrographischen Amt der Autonomen Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

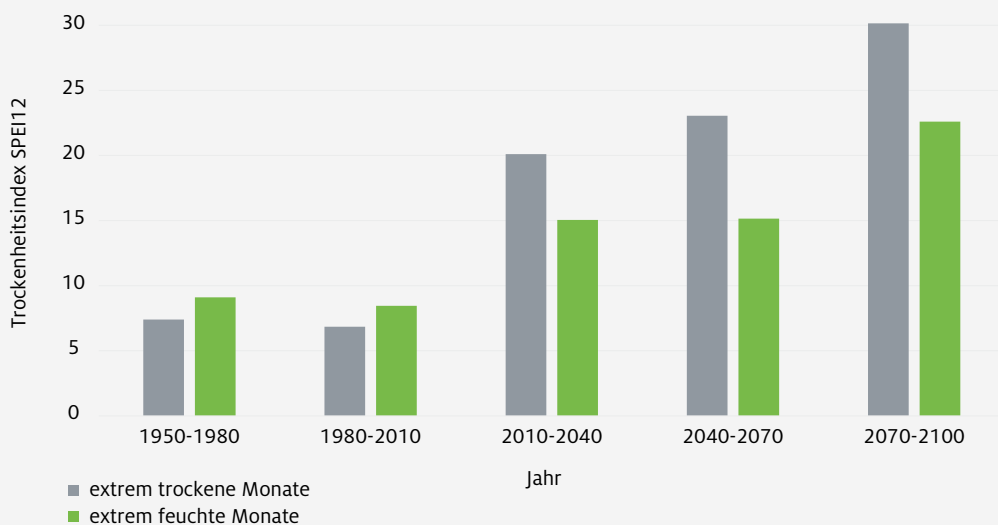
INDIKATOR: ANZAHL VON EXTREMEN MONATEN IN EINER 30-JÄHRIGEN PERIODE AN DER STATION BOZEN

Abb. 11: Für Bozen zeigt der Trockenheitsindex SPEI12 für das Szenario RCP8.5 für die Zukunft eine deutliche Zunahme von überdurchschnittlich trockenen und feuchten Monaten, wobei der Trend zur Trockenheit überwiegt. (Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

ZWEI FRAGEN AN DIETER PETERLIN, METEOROLOG BEIM LANDESWETTERDIENST

Stellen Sie bei Ihrer täglichen Arbeit als Meteorologe einen Einfluss des Klimawandels auf das Wetter fest?

Was die Temperaturen anbelangt, eindeutig. Allein die Aufzeichnungen der vergangenen Jahre zeigen, dass die Temperaturen insgesamt gestiegen sind – und das in allen Jahreszeiten. Bei den anderen klimatischen Faktoren ist es nicht so eindeutig: Die Niederschlagsmenge und -intensität ist von Jahr zu Jahr variabel. Auch bei Extremereignissen können wir keinen eindeutigen Trend feststellen. Denn ich würde den Klimawandel nicht an einem Rekord festmachen. Es ist die Summe der Rekorde, die den Klimawandel ausmacht. Zwei Tropennächte bereits im Juni bedeuten noch lange nicht, dass dies der Klimawandel ist. Das eine ist das Wetter, das andere ist das Klima.

Kann es in Südtirol passieren, dass die Sommer irgendwann so trocken werden, dass gar keine Gewitter mehr entstehen können, weil kein Wasser verdunsten kann?

Da müsste die Trockenheit ganz extrem werden – von einer Wüste sind wir schon noch weit entfernt. Und nicht nur in Südtirol dürfte dann kein Wasser mehr vorhanden sein, sondern auch im Mittelmeer. Denn von dort könnte der Wind trotzdem noch Regenschauer und Gewitter zu uns bringen.



Literatur

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): Fifth Assessment Report. Climate Change 2014 Synthesis report – Summary for Policymakers. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
2. EEA (European Environment Agency) (2017): Climate Change, impacts and vulnerability in Europe 2016. Copenhagen, <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>
3. Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisevin, J., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, Z., Majstorovic, Z. and Nieplova, E. (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region. *International Journal of Climatology*, 27, S. 17–46, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1377/abstract>
4. ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), Abteilung Brand- und Zivilschutz - Autonome Provinz Bozen, Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) (Hrsg.) (2015): Das Klima von Tirol – Südtirol – Belluno. <http://www.alpenklima.eu/>
5. <http://www.euro-cordex.net/> (Letzter Zugang: 31.01.2018)



Die Treibhausgas- emissionen

ROBERTO VACCARO

MIT UNTERSTÜTZUNG VON **ROBERTA PERNETTI,**
FEDERICO CAVALLARO, ANNA SCUTTARI,
THOMAS STREIFENEDER, GEORG NIEDRIST
UND **CHRISTIAN HOFFMAN**

2

EMISSIONEN IN SÜDTIROL

Die Gesamtemissionen in Südtirol betragen nach Zahlen von 2013 2733kt CO₂-Äquivalent; 44% davon (1203kt CO₂-Äquivalent) verursacht der **Verkehrssektor**, 36% (985kt CO₂-Äquivalent) stammen aus der Erzeugung von **Wärmeenergie**, 18% (489kt CO₂-Äquivalent) aus der **Landwirtschaft** und 2% (57kt CO₂-Äquivalent) entfallen auf die Kategorie **Sonstige**.

Die Emissionen des Verkehrssektors stammen zu 99% aus dem Straßenverkehr. Die Kategorie „Wärmeenergie“ umfasst die für Heizzwecke und industrielle Prozesse produzierte Energie, aber auch die Verluste in den Gasverteilernetzen, die in Südtirol für 2,3% aller Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Unter „Sonstige“ fallen vor allem die mit der Abfallbehandlung verbundenen Emissionen, mit Ausnahme der Müllverbrennungsanlage in Bozen, deren Emissionen aufgrund des Fernwärmenetzes in der Kategorie Wärmeenergie verbucht werden.

Als **Pro-Kopf-Mittelwert** ausgedrückt bedeutet dies, dass **jährlich auf jeden Einwohner Südtirols 5,3 Tonnen CO₂-Äquivalent** kommen. Der im Klimaplan „Energie-Südtirol-2050“ genannte Wert ist geringer (4,4 Tonnen), da er nicht jene Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen enthält, die nicht aus Verbrennungsprozessen stammen; diese Emissionen produziert in Südtirol vorwiegend die Landwirtschaft.

Der Gesamtwert setzt sich zusammen aus 76,4% Kohlendioxid, 15,2% Methan und 8,4% Distickstoffoxid. Dies spiegelt die sozioökonomischen Besonderheiten Südtirols wider, die der Vergleich mit den nationalen Daten noch deutlicher macht. Wir haben dafür die Daten von 2013 herangezo-

gen, denn für dieses Jahr steht sowohl das von der ISPRA erarbeitete nationale Emissionsinventar zur Verfügung als auch die letzte vollständige Erfassung der Luftschadstoffe in Südtirol (erstellt vom Amt für Luft und Lärm der Landesagentur für Umwelt der Autonomen Provinz Bozen).

Die Zahlen zeigen, dass **der Straßenverkehr und die Landwirtschaft sich in Südtirol stärker auswirken als im italienischen Durchschnitt, Industrie und Heizung dagegen geringeres Gewicht haben**. Besonders signifikant ist der Unterschied im Sektor Energieerzeugung: In Südtirol entstehen aufgrund der überwiegenden Nutzung von Wasserkraft kaum Emissionen. Lediglich die Fernwärme, die zum Teil mit fossilen Brennstoffen (Gas, Öl) betrieben wird, erzeugt geringfügige Emissionen. In Italien schließt der Sektor auch die Erzeugung von elektrischer Energie aus Gas, Öl oder Kohle sowie die Raffination und Verarbeitung von Erdöl ein.

Einige Schlüsselfaktoren erklären das Gesamtbild:

1) Der starke Transitverkehr entlang der Brenner-Achse, 2) der hohe Anteil erneuerbarer Energieträger an der Energieerzeugung in Südtirol und 3) die unterschiedliche Wirtschaftsstruktur, die in Südtirol stark auf Landwirtschaft und Tourismus ausgerichtet ist (letzterer Aspekt ist aus der Tabelle jedoch nicht ersichtlich). Gesondert zu betrachten sind die Waldgebiete der Region, die als Kohlenstoffspeicher dienen (→ Wald als Kohlenstoffsénke, S. 35).

ENERGIEERZEUGUNG

Die Energieerzeugung in Südtirol ist durch einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien gekennzeichnet.

WIE DIE EMISSIONEN BERECHNET WERDEN

Um Treibhausgasemissionen bewerten und vergleichen zu können, rechnen Wissenschaftler die Emissionsmengen in „Tonnen CO₂-Äquivalent“ um. Dieses „Treibhauspotential“ beschreibt das Vermögen des einzelnen Gases, den Treibhauseffekt zu verursachen.

1t Kohlendioxid = 1t CO₂-Äquivalent

1t Methan = 24t CO₂-Äquivalent

1t Distickstoffoxid (Lachgas) = 310t CO₂-Äquivalent

Da es unmöglich ist, alle relevanten Emissionen direkt zu messen, verwendet man aggregierte Aktivitätsdaten und multipliziert sie mit spezifischen Emissionsfaktoren: So wird zum Beispiel die Menge des in Heizkesseln verbrauchten Heizöls mit der Menge CO₂ multipliziert, die pro ver-

brauchtem Liter ausgestoßen wird. Um die Aktivitätsdaten zu erfassen, gibt es mehrere Methoden; international durchgesetzt hat sich jene des IPCC, die wir auch in diesem Bericht verwenden. Sie folgt dem Territorialprinzip: Quantifiziert werden alle Emissionen, die in einem bestimmten geographischem Gebiet entstehen. Damit erhält man eine umfassende globale Bilanz; nicht zugeordnet wird dabei allerdings die Verantwortung für die sogenannten „grauen Emissionen“, die mit dem Konsum von eingeführten Produkten zusammenhängen. Verbucht man auch die grauen Emissionen, kommen nach Berechnungen der KlimaHaus-Agentur auf jeden Einwohner Südtirols jährlich fast 7,5 Tonnen CO₂-Äquivalent.



INDIKATOR: TREIBHAUSGAS-AUSSTOSS PRO KOPF IN SÜDTIROL UND IN ITALIEN IM JAHR 2013, AUFGESCHLÜSSELT NACH SEKTOREN (IN TONNEN CO₂-ÄQUIVALENT)

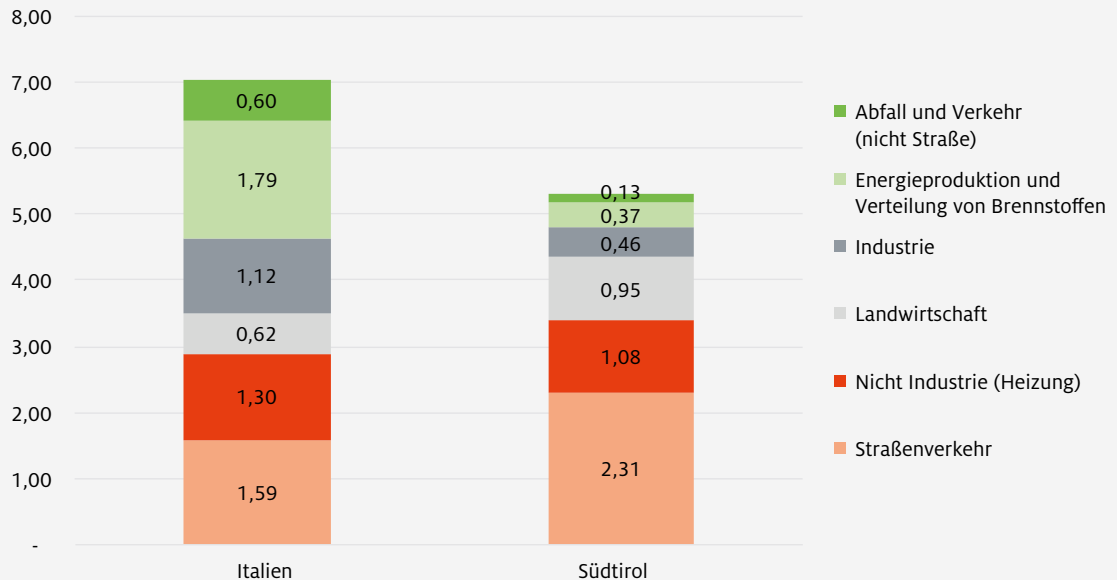
 Tonnen CO₂-Äquivalent /pro-Kopf in Südtirol und in Italien nach Sektoren in 2013


Abb. 12: t Tonnen CO₂-Äquivalent /pro-Kopf in Südtirol und in Italien nach Sektoren in 2013. (Daten: ISPRA, Amt für Luft und Lärm, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

Bei der Produktion von Wärmeenergie ist die Nutzung von Biomasse weit verbreitet: Im Jahr 2015 wurden 77 Fernwärmanlagen mit Biomasse betrieben (1). Dazu kommt das Holz, das die Haushalte zum Heizen verwenden. Wie wir aus den Energieverbrauchsdaten der Landesagentur für Umwelt berechnet haben, wurden im Jahr 2013 rund 38% des Bedarfs an Wärmeenergie durch Biomasse abgedeckt. Das ist von Bedeutung, da die Nutzung von Biomasse – abgesehen von den bei Produktion und Transport entstehenden Emissionen – als CO₂-neutral angesehen werden kann: Ausgestoßen wird jenes CO₂, das von den Bäumen beim Wachsen aufgenommen wurde.

Die bei weitem wichtigste erneuerbare Energiequelle ist allerdings Wasserkraft. Zwischen 2011 und 2014 wurden durchschnittlich 6,5TWh (Terawattstunden) Elektroenergie aus Wasserkraft erzeugt – das ist mehr als doppelt so viel Energie, wie im gleichen Zeitraum durchschnittlich verbraucht wurde (2,3). Dazu kommen die Photovoltaikanlagen (ca. 250GWh, Gigawattstunden) und

die Stromerzeugung aus Biomasse (etwas mehr als 100GWh). Trotz ihres hohen Anteils können erneuerbare Energien aber nicht das ganze Jahr hindurch den gesamten lokalen Bedarf abdecken: Teilweise muss elektrische Energie über das nationale Stromnetz importiert werden. Diese wird weitgehend aus fossilen Brennstoffen, vor allem Methan, erzeugt, jedoch sind die Mengen so klein und die damit verbundenen Emissionen so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Wir haben abgeschätzt, dass dieser Anteil im Jahr 2013 ca. 7kt betrug, das bedeutet nur etwas mehr als 0,2% der Gesamtemissionen.

Ein Teil der oben berücksichtigten Wärmeenergie trägt in Heizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung zur Erzeugung elektrischer Energie bei, aber auch diese Emissionen sind sehr gering und wurden daher nicht separat ausgewiesen. Dass in Südtirol pro Kopf 1,4 Tonnen CO₂-Äquivalent weniger ausgestoßen werden als im italienischen Durchschnitt, lässt sich dadurch erklären, dass hier die Stromerzeugung so gut wie keine Emissionen verursacht.



Das Heizen von Gebäuden verursacht viele Emissionen. Im Rahmen des Projekts Sinfonia werden in Bozen mehrere Wohngebäude energetisch saniert – so wie diese Kondominien am Köstenweg.

INDUSTRIE

Die für Südtirol ermittelten Pro-Kopf-Emissionen der Industrie sind nicht einmal halb so hoch wie die nationalen Werte – 0,46 gegenüber 1,12 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr – denn es gibt hier deutlich weniger Industrien, die für ihre Fertigungsprozesse fossile Brennstoffe verwenden. Damit ist aber noch nicht der Einfluss von Industrien bewertet, die Elektroenergie verwenden, deren CO₂-Emissionen also in Südtirol aufgrund der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien vernachlässigbar sind. Deshalb haben wir den Stromverbrauch des Industriesektors ebenfalls analysiert; das Ergebnis: Auch diese Art von Industrien sind in Südtirol seltener.

VERKEHR

Für 99% der Emissionen des Verkehrssektors ist der Straßenverkehr verantwortlich.

Die Daten für diesen Bericht wurden mithilfe einer speziellen Software der Umweltagentur gewonnen, die aus Informationen zu Straßennetz, Straßengefälle und Fahrzeugbestand die Emissionen verschiedener Schadstoffe berechnet.

Insgesamt werden die Verkehrsemissionen in Südtirol auf 1191kt CO₂-Äquivalent geschätzt; den größten Teil davon verursachen Privatautos (ca. 690kt), es folgen der Schwerlastverkehr (306kt) und der leichte Güterverkehr (168kt). Die restlichen Emissionen stammen von Motorrädern. Der Pro-Kopf-Wert ist deutlich höher als im nationalen Durchschnitt: 2,31 gegenüber 1,59 CO₂-Äquivalent. Dies ist auf den starken Güter- und Autoverkehr auf der Brennerautobahn zurückzuführen. Der Autobahnverkehr verursacht in Südtirol 33% der Verkehrsemissionen und 14% der Gesamtemissionen.

GEBÄUDE

60% der Gebäude in Südtirol sind über 50 Jahre alt, und die jährliche Sanierungsrate ist mit einem Wert von 1,2% gering (4). Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch zur Wärmeerzeugung und also auch der damit verbundene Emissionsausstoß hoch ist.

Um zu beziffern, welche Emissionen das Heizen von Gebäuden verursacht, haben wir aus Tabelle 1 folgende Werte addiert: die Emissionen des nicht-industriellen Sektors, die Emissionen der Kategorie „Energieerzeugung und -umwandlung“ (die in Südtirol praktisch nur die Fernwärme umfasst), und jene Verluste in den Gasverteilernetzen, die nicht dem industriellen Sektor zuzuschlagen sind. Die Summe ergab ca. 730kt CO₂-Äquivalent, das heißt ca. 27% der gesamten Treibhausgasemissionen. Ausgedrückt in CO₂-Äquivalent pro Kopf sind



Der Verkehr ist in Südtirol die größte Emissionsquelle.

dies rund 1,43 Tonnen – der Wert ist damit höher als der italienische Durchschnitt von 1,30 Tonnen, der jedoch nicht die Emissionen aus Fernwärme und Gasnetzverlusten enthält.

Diese Werte zu vergleichen ist allerdings problematisch, denn die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen haben großen Einfluss auf die Emissionen, ebenso Parameter wie die Zusammensetzung des Gebäudebestandes (etwa der Anteil an Gebäuden, die für Verwaltung, Handel und Tourismus genutzt werden), die unterschiedlichen Bauweisen, die Nutzung erneuerbarer Energien usw.

All diese Aspekte haben wir im Rahmen des Projekts „Regional Energy Modelling“ (RegEnMod, s. Box in Kap 5) im Detail überprüft. Anhand der vorläufigen Ergebnisse können wir den Heizungsverbrauch der Wohngebäude abschätzen: ca. 2,7TWh/Jahr, mit einem Durchschnitt von 150kWh/m²/Jahr pro Haushalt. In CO₂-Äquivalente umgewandelt entspricht dies ca. 13% der Gesamtemissionen.

TOURISMUS

Für die Emissionen des Tourismussektors gibt es nicht eine einzige Kennzahl. Der CO₂-Ausstoß des durchschnittlichen Touristen verteilt sich auf verschiedene Sektoren, etwa den **Verkehr** oder den **Energieverbrauch der Beherbergungsbetriebe**; ein Teil hängt auch mit den **Urlaubsaktivitäten**

zusammen, beispielsweise mit dem Betrieb von Schneekanonen, Skiliften oder anderen Sportinfrastrukturen. Spezifisch für Südtirol gibt es dazu noch keine Forschungsarbeiten. Wir haben einige Daten abgeschätzt.

Was den Verkehr betrifft, so ist bekannt, welcher Anteil der Touristen während des Urlaubs das Auto nutzt, für durchschnittlich welche Strecken und mit wie vielen Passagieren. Auf dieser Grundlage ergibt unsere Schätzung einen Emissionswert von ca. 30kt CO₂-Äquivalent, was heißt, dass Touristen fast 3% der gesamten Verkehrsemissionen verursachen.

Für die Beherbergungsbetriebe sind keine spezifischen Daten verfügbar, aber wir haben abgeschätzt, dass ihr Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen in Südtirol fast 5% beträgt – nicht verwunderlich angesichts der etwa 23 Millionen Übernachtungen im Jahr 2013, die faktisch einen Bevölkerungsanstieg von 12% bedeuten. Zum Energieverbrauch des Skitourismus liegen konkrete Daten vor. Im Jahr 2012 (vergleichbar mit unserem Referenzjahr 2013) haben die Betreiber der Skigebiete ca. 120GWh Strom für Lifte und Schneekanonen verbraucht (5). Dies entspricht 4% des Gesamtverbrauchs an elektrischer Energie im selben Jahr in Südtirol, trägt aber wegen des hohen Anteils erneuerbarer Energie wie erwähnt nur unwesentlich zu den Gesamtemissionen bei.



.....
 Die Landwirtschaft trägt vor allem mit Methan- und Lachgas-Emissionen aus der Tierhaltung zum Klimawandel bei.

LANDWIRTSCHAFT

Der Treibhausgas-Ausstoß der Landwirtschaft liegt in Südtirol mit ca. 0,95t CO₂-Äquivalent pro Kopf deutlich über dem nationalen Durchschnitt von 0,62t. Dies spiegelt die Bedeutung des Sektors wider: **17,88% aller Emissionen in Südtirol entfallen auf die Landwirtschaft.**

Etwa 7% dieser landwirtschaftlichen Emissionen stammen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe für Maschinen und Fahrzeuge. Die restlichen 93% sind Methan und Distickstoffoxid aus den Zuchtbetrieben. Damit ist die Landwirtschaft für 67% der Methan- und für 75% der Distickstoffoxid-Emissionen in der Provinz Bozen verantwortlich. Nicht berücksichtigt ist in dieser Aufschlüsselung, dass sich die Emissionen der Landwirtschaft über verschiedene Sektoren verteilen und wie beim Tourismus z. T. zu Sektoren wie Wärmeenergie und Verkehr gezählt werden.

Es liegen jedoch mehrere Studien vor, die den spezifischen Energieverbrauch einiger landwirtschaftlicher Produktionsbereiche berechnen und dabei auch jene Emissionen berücksichtigen, die bei Lagerung, Verarbeitung und Transport entstehen. Die Produktion von Äpfeln im Jahr 2014 (vergleichbar mit unserem Bezugsjahr 2013) hat

demnach Emissionen von ca. 0,040kg CO₂ pro kg Apfel erzeugt, also 44kt insgesamt (6): Dies entspricht etwa 1,6% der Gesamtemissionen.

Zum Weinbau gibt es mehrere in anderen Regionen durchgeführte Studien, die man auf die Produktionswerte in Südtirol übertragen kann und die zu Emissionswerten zwischen 0,2% und 2,6% der Gesamtemissionen kommen (7-10).

Auf die Milchproduktion in Südtirol haben wir die Daten einer Studie der Universität München (11) übertragen, bei der, anders als in diesem Bericht, sowohl die bereits in anderen Sektoren verbuchten Emissionen berücksichtigt wurden (Heizung der Gebäude, Transport etc.) wie auch alle außerhalb der Provinz erzeugten Emissionen, eingeschlossen jener, die bei Futterproduktion und Transport entstehen. Das Ergebnis ist erstaunlich: Bei der Produktion von 388kt Milch in Südtirol entstehen Emissionen von 540kt CO₂-Äquivalent, das heißt 1,4kg CO₂-Äquivalent pro Liter Milch. Damit wäre allein dieser Bereich für mehr Emissionen verantwortlich, als wir sie jetzt dem gesamten Agrarsektor zuschreiben.

Diese Beispiele zeigen, wie unterschiedlich die Ergebnisse je nach Berechnungsansatz ausfallen – und wie sich damit auch der Blickwinkel ändert.

DER WALD ALS KOHLENSTOFFSENKE

STEFANO MINERBI, CHRISTIAN HOFFMANN

In der politischen Diskussion zum Klimaschutz infolge des Pariser Abkommens von 2015 spielen der Wald und seine nachhaltige Bewirtschaftung eine wichtige Rolle (→ Pariser Abkommen, S. 18). Vor allem um das 1,5°C bzw. 2,0°C Ziel einzuhalten, setzen die Mitgliedsstaaten auf das Potenzial jener terrestrischen Ökosysteme, die als Kohlenstoffsенке funktionieren.

In Südtirol liefert dazu seit 1998 die CO₂-Langzeit-Messstation „Ritten-Grünwald“ (1730m) Daten, die auch in das weltweite Messstationen-Netzwerk FLUXNET einfließen. Der Altholzbestand rund um die Messstation speicherte in den letzten 15 Jahren netto zwischen 3 und 4,22 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar und Jahr (tC ha⁻¹y⁻¹). Dieser Wert übertrifft den europäischen Durchschnitt von 0,9tC ha⁻¹y⁻¹ bei weitem (15). Es handelt sich hier allerdings um eine Punktmessung, die nicht auf die gesamten 336.689ha Wald in Südtirol übertragbar ist. Da die Waldfläche im Almenbereich zunimmt und Südtirols Wälder, vor allem wegen ihrer Steilheit, extensiv bewirtschaftet werden (nur 36 – 46% des Zuwachses von durchschnittlich 5,5 Festmetern je Hektar werden genutzt), steigt der Kohlenstoffvorrat in Südtirols Wäldern stetig an (16). Für 2012 haben die Nationale Forstinventur (MIPAAF/

CRA-ISAFA) und die Inventur zur forstlichen Kohlenstoffsенке [INFC] gemeinsam mit der Südtiroler Forstverwaltung nachgewiesen, dass in Südtirols Wäldern ca. 82tC ha⁻¹ oberirdisch gespeichert sind (16) und durchschnittlich mit 1,15tC ha⁻¹ y⁻¹ zur Netto-Kohlenstoffbindung beitragen (17). Dies entspricht umgerechnet in Kohlendioxid einer Speicherkapazität von 3 Tonnen CO₂ pro Einwohner Südtirols. Viel bedeutender ist allerdings die Speicherung von Kohlenstoff im Boden. Bis zu 70% des gesamten Kohlenstoffs, der im Ökosystem Wald gespeichert ist, befindet sich im Waldboden (18). Während die Bestandsbiomasse regelmäßigen Schwankungen unterliegt, bleiben die im Waldboden gebundenen Kohlenstoffvorräte über Jahrzehnte konstant. Der Schutz des Waldbodens und seine nachhaltige Bewirtschaftung sind damit von fundamentaler Bedeutung.



1. Cescatti, A., Montagnani, L., Rodeghiero, M., Bascietto, M., Bertagnoli, A., Kerschbaumer, G., Minach, L., Minerbi, S. (2002): Carbon fluxes and pools in a sub-alpine Norway spruce forest. Workshop: Quantifying terrestrial carbon sinks: science, technology and policy - Wengen-2002.
2. Autonome Provinz Bozen (2012 & 2015): Agrar- und Forstbericht.
3. Ministro delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (2009): Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC) - Caratteri quantitativi.
4. Autonome Provinz Bozen, unveröffentlichte Daten.

Literatur

1. <http://ambiente.provincia.bz.it> (Letzter Zugang: Mai 2016)
2. Autonome Provinz Bozen, Landesinstitut für Statistik - ASTAT (2016): Statistisches Jahrbuch für Südtirol 2016. <http://astat.provinz.bz.it/de/statistisches-jahrbuch.asp>
3. <https://www.terna.it/it-it/sistemaelettrico/statisticheeprevisioi/dati-statistici.aspx> (Letzter Zugang: Juni 2017)
4. Autonome Provinz Bozen, Landesinstitut für Statistik - ASTAT (2012): Südtiroler Energiebilanz 2009. http://astat.provinz.bz.it/de/aktuelles-publikationen-info.asp?news_action=300&news_image_id=899217
5. Autonome Provinz Bozen, Landesinstitut für Statistik ASTAT (2014): Seilbahnen in Südtirol 2013. Autonome Provinz Bozen – Südtirol: Bozen, http://astat.provincia.bz.it/it/news-pubblicazioni.asp?news_action=4&news_article_id=474496 (Letzter Zugang: Mai 2017)
6. Zanotelli, D., Mazzetto, F., Unterholzner, S.F., Tagliavini, M. (2014): Der CO₂-Fußabdruck des Apfels aus Trentino-Südtirol. Obst/Weinbau 07/08 2014: S. 217-221, <https://www.sciencesouthtyrol.net/blob/86427,,UNIBZ,70,-1.pdf>
7. Artisan Wines (2011): Nachhaltigkeitsbericht 2010/2011.
8. LWG Bayern/Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2017): Der CO₂-Fußabdruck der Fränkischen Weinwirtschaft. <http://www.lwg.bayern.de/weinbau/087354/index.php?layer=print&#tab-19>, (Letzter Zugang: Januar 2018)
9. Wetterstein, S., Stucki, M., Meier, M., Schumacher, P., Buchli, J. (2016): Ökobilanz von Schweizer Wein aus ÖLN- und biologischer Produktion. Wädenswil, https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/externe-studien-berichte/oekobilanz_von_schweizerweinausoen-undbiologischerproduktion.pdf.download.pdf/oekobilanz_von_schweizerweinausoen-undbiologischerproduktion.pdf
10. Benedetton, G. (2013): The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle. In: Assessment Wine Economics and Policy, 2(1), S. 33–41. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212977413000227#>
11. Zehetmeier, M., Heißenhuber, A. (2012): Zweinutzungsrasse im Vergleich zu Spezialrasen Klimarelevante Emission bei der Produktion von Milch und Rindfleisch, FLECKVIEHWELT (3).



Auswirkungen auf die Natur

GEORG NIEDRIST

MARC ZEBISCH

GIACOMO BERTOLDI

NIKOLAUS OBOJES

JULIA SEEBER

STEFAN SCHNEIDERBAUER

ROMY SCHLÖGEL

CHRISTIAN KOFLER

LUKAS EGARTER VIGL

ULRIKE TAPPEINER

3

Schnee und Gletscher

MARC ZEBISCH



AUSGANGSLAGE

Schnee

Schnee ist für Südtirol von außergewöhnlicher Bedeutung. Auch in Zeiten von technischem Schnee ist er eine wesentliche Grundlage für den Wintersport. Noch viel wichtiger ist seine

Funktion als natürlicher Wasserspeicher, der Winterniederschläge speichert und diese mit der Schneeschmelze zu Beginn der Vegetationsperiode wieder freisetzt. Vor allem für die Landwirtschaft ist diese Funktion von enormer Bedeutung. Die Wassermenge, die in der Schneedecke in einem durchschnittlichen Januar gespeichert ist, übertrifft das gesamte Stauvolumen der größeren Südtiroler Stauseen ungefähr um das Dreifache (Berechnungen von Roberto Dinale, Hydrographisches Amt). Schneemenge und Dauer der Schneebedeckung hängen in Südtirol stark von der Höhenlage ab. Während in den Tallagen (Bozen, Meran) oft nur an wenigen Tagen im Jahr Schnee liegt, beträgt die durchschnittliche Schneebedeckungsdauer zwischen 1000 und 2000m zwischen 50 und 160 Tagen. Oberhalb von 3000m sind vor allem nordexponierte Flächen oft ganzjährig schneebedeckt. Insbesondere Neuschnee wirft aufgrund seines äußerst hohen Reflexionsvermögens (Albedo) etwa 85% der einfallenden Sonnenstrahlung zurück – dieser Strahlungsanteil kann folglich nicht zur Erwärmung beitragen.

INDIKATOR: SCHNEEBEDECKUNG IN SÜDTIROL UND DEN ALPEN IN DEN MONATEN DEZEMBER UND JANUAR

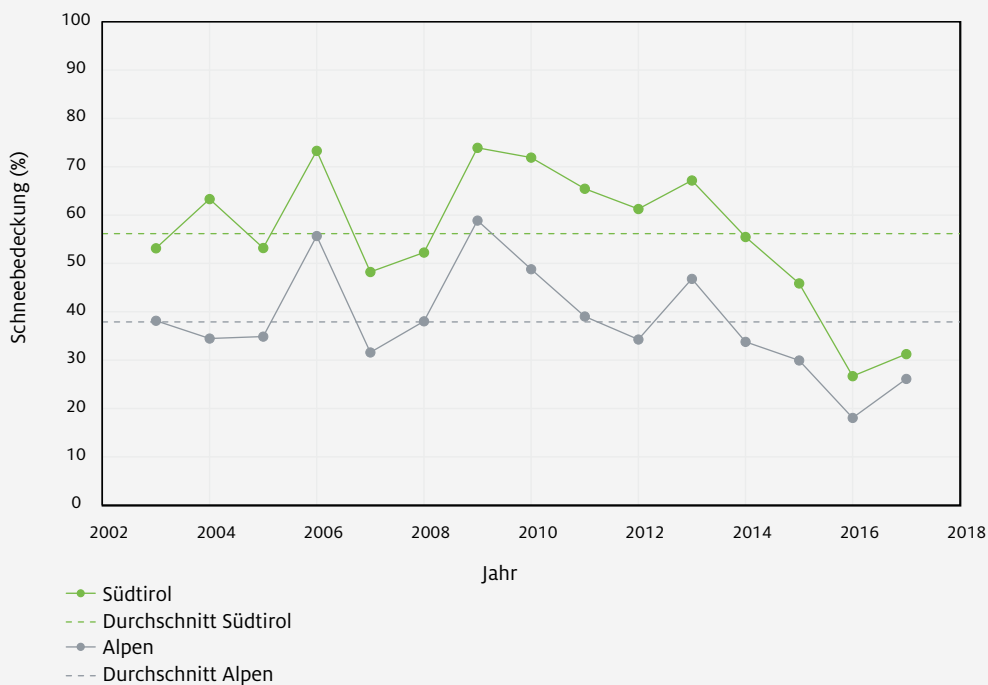


Abb. 13: Anteil der Schneebedeckung in Südtirol (grüne Linie) und den Alpen (graue Linie) in den Monaten Dezember und Januar. Die Jahre 2014-2017 zeigten eine zum Teil stark unterdurchschnittliche Schneebedeckung. Auswertung Eurac Research aus Satellitendaten. (Daten: ESA. Darstellung: Eurac Research)

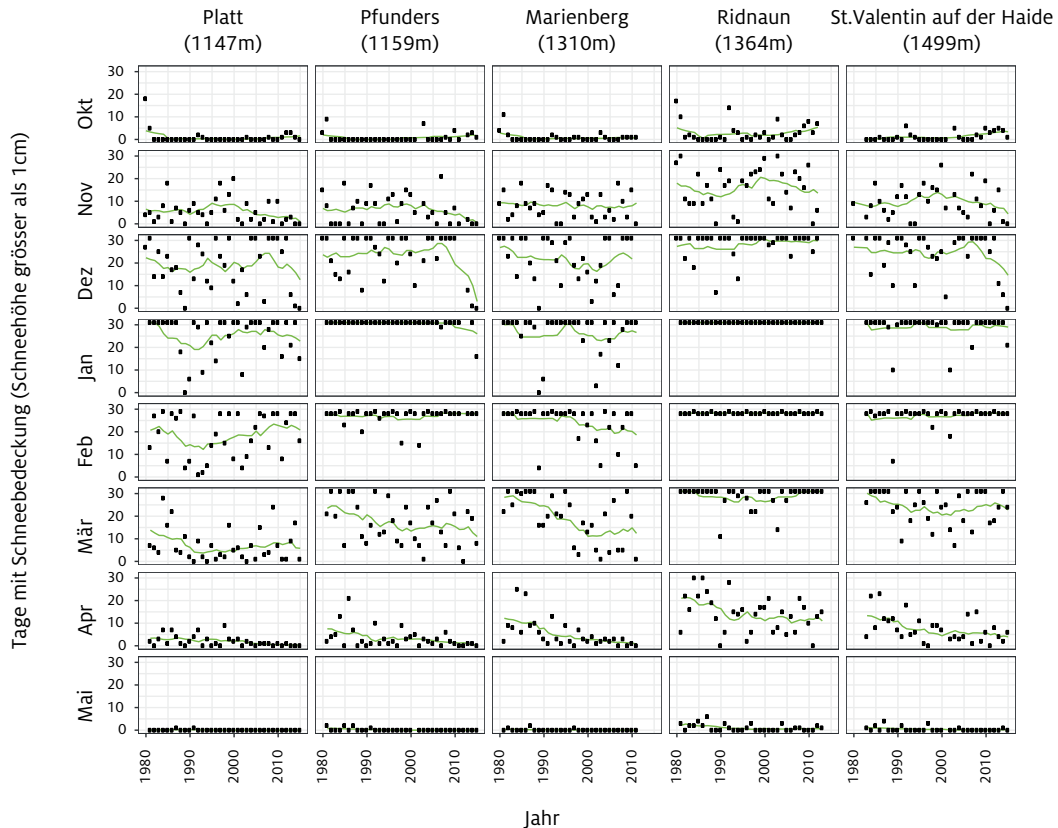


Abb. 14: Anzahl der Tage mit Schneebedeckung an ausgesuchten Referenzstationen. Vor allem im November, März und April ist eine Abnahme der Schneebedeckung festzustellen. Die Punkte stellen die einzelnen Jahre dar, die grüne Linie ist ein gleitendes Mittel über 10 Jahre. (Daten: WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

Gletscher

Gletscher bedecken in Südtirol ca. 90km² Fläche (1). Dies entspricht 24% der Gesamtfläche der Gletscher Italiens von 369,90km² (2), ist aber wenig im Vergleich zur Vergletscherung nördlich des Alpenhauptkammes (z. B. Gletscherfläche Nordtirol: 300 km²). Die meisten (86%) der Südtiroler Gletscher sind eher klein (unter 1km² Fläche) und isoliert. Zu den größeren Gletschern zählen der Übeltalferner in den Stubai Alpen (ca. 7km²), die Gletscher in der Ortler Cevedale-Gruppe (Madatschferner, Niederer Ortlerferner, Suldenferner, Zufallferner, Laaser Ferner) sowie die Gletscher der Ötztaler Alpen (Langtaufenerferner, Matscherferner, Gepatscherferner). Gletscher stellen lokal, vor allem in den trockenen Regionen des Vinschgaus, einen wichtigen Wasserspeicher dar. Außerdem gibt es in Südtirol zwei

Gletscherskigebiete (Schnalstal und Stilsfer Joch). Ausgewählte Gletscher Südtirols werden regelmäßig durch das Hydrographische Amt vermessen und die Ergebnisse im „Glacierreport“ dargelegt (3). Die Auswirkungen auf den Permafrost und der Zusammenhang mit Naturgefahren werden in Kapitel 3 behandelt (→ Permafrost, S. 63).

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Schnee

Schneefall, Schneehöhe und Schneebedeckung variieren in Südtirol stark von Jahr zu Jahr. Dennoch sind bereits Trends zu erkennen. An mehreren Referenzstationen des Landes auf mittleren Höhen ist im Frühjahr (März, April) und seit 10-15 Jahren auch im Spätherbst und frühen Winter (November, Dezember) ein Rückgang der Tage

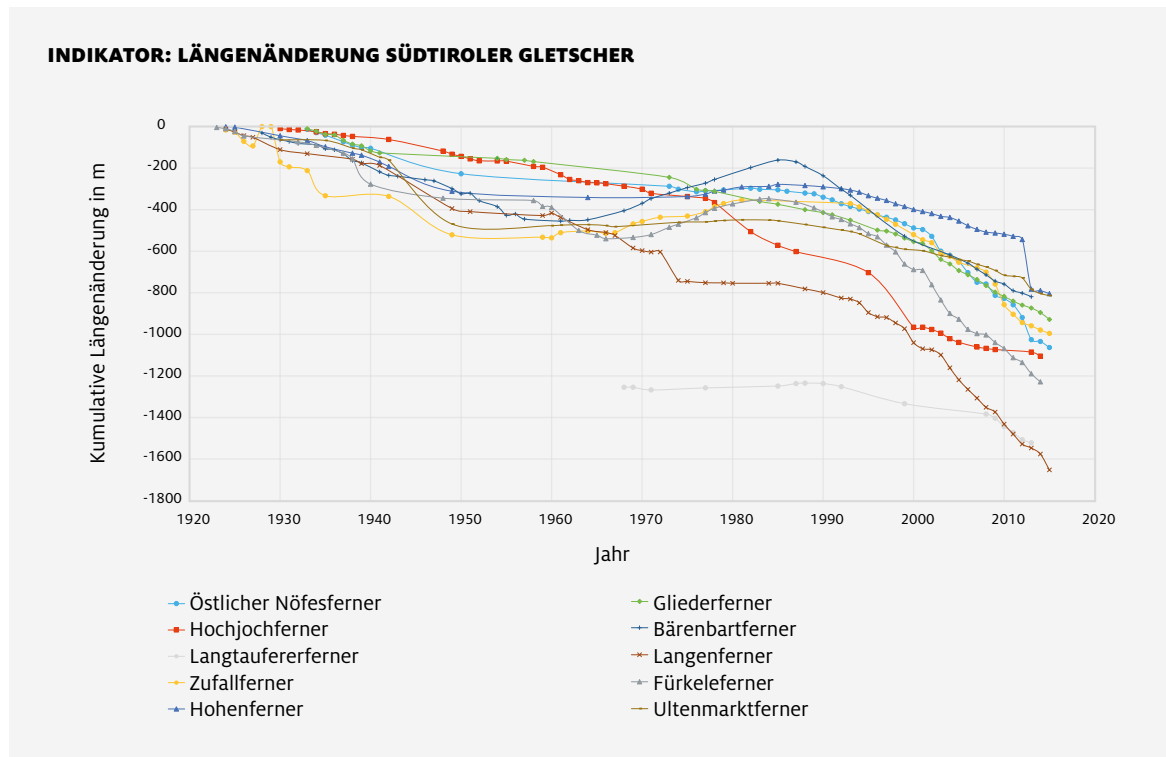
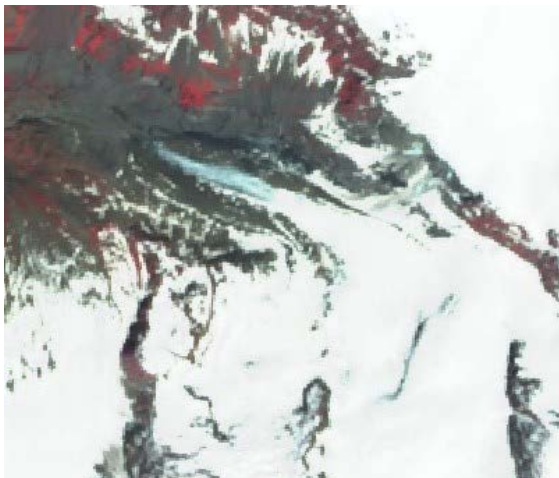


Abb. 15: Kumulative Längenänderung Südtiroler Gletscher (1). (Daten: Hydrographisches Amt der Autonomen Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

28/06/2016



26/06/2017

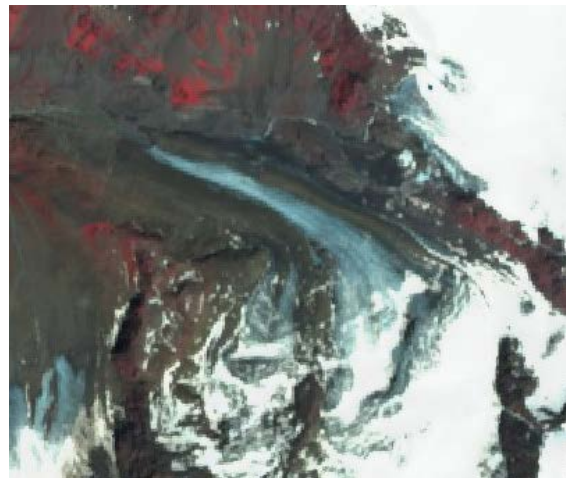


Abb. 16: Der Langtaufferferner im Juni 2016 (links) und im Juni 2017 (rechts) im Satellitenbild. Auf Grund der geringen Schneefälle im Winter 2016/17 und der hohen Frühjahrstemperaturen ist der Gletscher im Juni 2017 schon nahezu vollständig aper. Der Gletscher ist damit ungeschützt, erwärmt sich stärker und schmilzt in der Folge noch schneller ab. (Daten: ESA – Sentinel 2)

mit Schneebedeckung festzustellen (→ Abb. 14). Aus Satellitendaten lässt sich diese Entwicklung flächendeckend belegen. Die Daten der letzten 15 Jahre zeigen einen abnehmenden Trend. Vor allem die Winter 2014-2017 zeigten eine stark unterdurchschnittliche Schneebedeckung im Dezember und Januar (→ Abb. 13).

Gletscher

Südtirols Gletscher schrumpfen. Aufgrund ihrer geringen Größe sind sie besonders anfällig gegenüber Eisschwund durch die Klimaerwärmung. **Zwischen 1983 und 1997 verringerte sich die Gletscherfläche in Südtirol als Folge der Erwärmung bereits um 19,7%, in den Jahren 1997 bis 2006 um weitere 11,9% (1).** Dabei zogen sich die Gletscher um mehrere hundert Meter bis zu mehreren Kilometern (Langtaufenerferner) zurück (→ Abb. 15). Ein weiterer Indikator für den Gletscherrückgang ist die sogenannte Massenbilanz. Diese gibt

die Menge an Schnee und Eis an, gemessen in der Wassermenge in mm, um die ein Gletscher in einem Jahr wächst oder schrumpft. Alle vom Hydrographischen Amt der Autonomen Provinz Bozen in Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck und dem Comitato Glaciologico Italiano untersuchten Gletscher (Weißbrunnferner, Langenferner, Übeltalferner, Hangender Ferner, Westlicher Rieserferner) zeigen seit Jahren eine massive Abnahme von Schnee und Eismassen (3). Ausnahmen sind die Jahre 2000/01 sowie 2012/13 und 2013/14, in denen ein leichter Massenzuwachs verzeichnet wurde, vor allem 2013/14 aufgrund der außergewöhnlich hohen Niederschlagsmenge trotz überdurchschnittlicher Temperaturen. Ein weiterer Effekt, der zum Abschmelzen der Gletscher beiträgt, ist die zurückgehende Schneebedeckung im Sommer. Wegen seiner hohen Rückstrahlung schützt Schnee die Gletscher im Sommer vor Schmelze, während sich ein schnee-

INTERVIEW MIT ROBERTO DINALE, DEM STELLVERTRETENDEN AMTSDIREKTOR DES HYDROGRAPHISCHEN AMTES DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN

Die Gletscher ziehen sich zurück – bedeutet dies für Südtirol ein Problem?

Ja; für die Wasserwirtschaft im gesamten Gebiet spielen die Gletscher im Wasserkreislauf keine wesentliche Rolle. Es gibt allerdings kleinere Ausnahmen, vor allem in den Seitentälern des Vinschgau, die zu den Ötztaler Alpen gehören. Dort gibt es eine große Tradition der Wassernutzung aus den Gletscherregionen, und dort machen laut unseren Berechnungen die Gletscher in den heißen Sommermonaten 20-30% der Abflüsse aus. Lokal gesehen also bringt der Gletscherschwund Probleme mit sich.

Bedeutet weniger Schnee im Winter automatisch weniger Wasser im Sommer?

Das ist eine Tatsache. Es wird immer wieder Ausreißer mit schneereichen Wintern geben. Aber tendenziell sind die Schneerücklagen nach dem Winter karger als früher; die Periode, die durch die Schneereserven Wasser garantiert, wird immer kürzer. Das hat auch Konsequenzen für die Grundwasserspeicher, die durch die Schneeschmelze gespeist werden. Deshalb sind wir heute mehr als früher vom Wasser in flüssiger Form abhängig, sprich vom Regen.

Glauben Sie, dass die Trockenheit für Südtirol im Jahr 2050 ein Problem darstellen wird?

Ich bin zuversichtlich, dass die Fachleute die Politik überzeugen werden, dass wir wirklich handeln müssen und dass wir es dadurch schaffen, trockenere Phasen – die zweifelsohne auf uns zukommen werden – gut zu überbrücken. Die Wasserwirtschaft muss in jedem Fall noch besser koordiniert werden: zum einen zwischen allen Ländern und Provinzen des Einzugsgebiets der Etsch, also von Südtirol an der Quelle bis zur Provinz Rovigo in ihrem Unterlauf an der Adria; zum anderen sollte in Zukunft eine integrierte Wasserwirtschaft angestrebt werden – die großen Wasserspeicher sollten nicht nur die Energiewirtschaft bedienen, sondern bei Bedarf auch die Landwirtschaft versorgen. Gleichzeitig müssen die Rohrleitungen und die landwirtschaftliche Bewässerungspraxis weiter optimiert werden, um Verluste einzuschränken und das Wasser effizient zu nutzen. Hier muss jeder Einzelne seinen Beitrag leisten.



freier („aperer“) Gletscher aufgrund der dunkleren Farbe (ca. achtmal geringere Rückstrahlung) starker erwärmt, was zu Massenverlusten durch Eisschmelze führt (→ Abb. 16).

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Schnee

Als direkte Auswirkung steigender Temperaturen werden die Niederschläge im Winter verstärkt als Regen und weniger als Schnee fallen. Zudem setzen die Schneefälle im Winter später ein, die Schneeschmelze beginnt früher, sodass die Schneebedeckungsdauer weiter zurückgehen wird. **Bis zum Ende des Jahrhunderts wird von einem Anstieg der Schneegrenze um ca. 700m ausgegangen.** Auf einer Meereshöhe von 1500m käme das einem Rückgang der Schneemenge um 80-90% gleich (4).

Gletscher

Südtirols Gletscher werden weiter schmelzen, viele von ihnen zur Gänze verschwinden. In einer Untersuchung für das Hydrographische Amt berechnete Ben Marzeion (5) den möglichen Gletscherrückgang aufgrund des Klimawandels. Das Ergebnis: Bis ca. 2050 werden die Gletscher sich auf Höhen über 3000m zurückgezogen haben. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts würden demnach die Gletscher je nach Klimaszenario auf knapp ein Viertel der Fläche und des Volumens des Jahres 2000 schrumpfen oder bereits vor Ende des 21. Jahrhunderts komplett geschmolzen sein (5).

Literatur

1. ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), Abteilung Brand- und Zivilschutz - Autonome Provinz Bozen, Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) (Hrsg.) (2015): Das Klima von Tirol – Südtirol – Belluno. <http://www.alpenklima.eu>
2. Smiraglia, C. und Diolaiuti, G. (2015): Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani - The New Italian Glacier Inventory, Ev-K2-CNR, Bergamo. <http://users.unimi.it/glaciol/>
3. Hydrographisches Amt Bozen (2016): Glacierreport. <http://www.provinz.bz.it/wetter/glacierreport.asp>
4. Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J., Magnusson, J., Marty, C., Moran-Tejeda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., and Vincent, C. (2017): The European mountain cryosphere: A review of past, current and future issues. The Cryosphere Discussions, <https://www.the-cryosphere-discuss.net/tc-2016-290/tc-2016-290.pdf>
5. Marzeion, B. (2015): Vergletscherungsprojektionen für Südtirol - Bericht an das Hydrographische Amt der Autonomen Provinz Bozen – Südtirol

Wasser

GIACOMO BERTOLDI



AUSGANGSLAGE

Das Einzugsgebiet der Etsch, des zweitlängsten italienischen Flusses, liegt zu einem großen Teil in Südtirol, die Provinz hütet also eine Wasserressource, die nicht nur für sie selbst, sondern auch für die flussabwärts gelegenen Regionen von entscheidender Bedeutung ist.

Wie Daten des Hydrographischen Amtes der

Autonomen Provinz Bozen zeigen, stammen 43% des in die Etsch mündenden Wassers (Zuflüsse) aus der Schnee- und Eisschmelze. Bei der Ahr, mit einem Einzugsgebiet in großer Höhenlage, sind es sogar 56% (→ Abb. 17) (1). Der Beitrag der Gletscher ist insgesamt gering (2% pro Jahr für die Etsch), kann aber im Sommer in den höher gelegenen Einzugsgebieten große Bedeutung erlangen. Die maximalen Abflüsse treten im Juni auf (siehe die monatlichen Wasserbilanzen in Abb. 17). Auch im Herbst sind große Abflussmengen möglich, die Variabilität zwischen zwei aufeinanderfolgenden Jahren ist hier jedoch höher.

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Der Klimawandel beeinflusst bereits heute, wie sich die Abflüsse über das Jahr verteilen, und zeigt sich in extremen Naturereignissen, verursacht etwa durch starke Niederschläge oder Hitzewellen.

Abflüsse

Der Alpenhauptkamm stellt eine wichtige Klimascheide dar. Im Norden haben die Abflüsse im

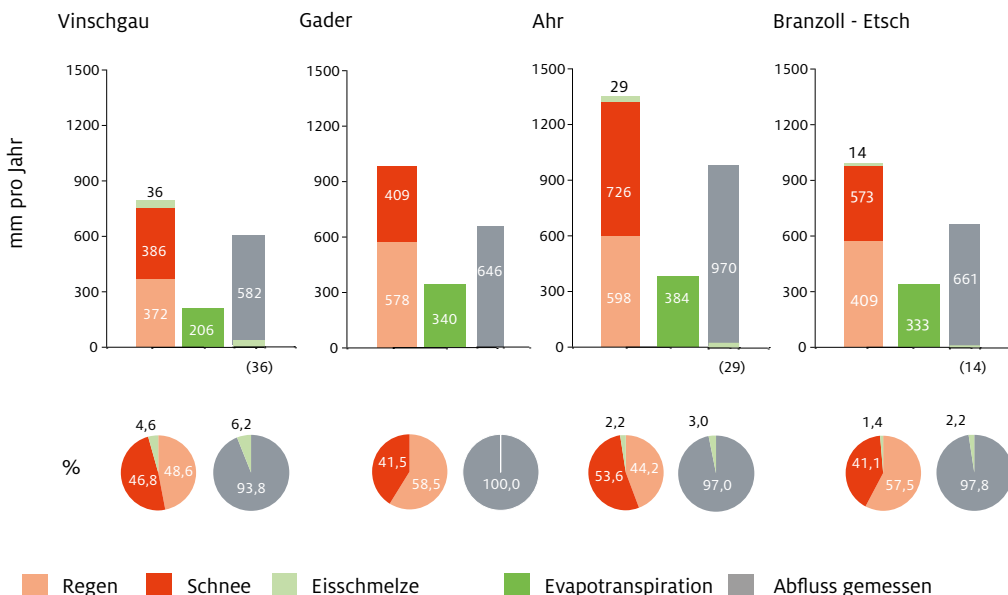


Abb. 17: Wasserbilanz der Etsch und einiger Nebenflüsse für die Jahre 1990 – 2010. Die Bilanz ist in Millimeter pro Jahr und als Prozentwert angegeben. Hervorgehoben sind die Zuflüsse durch Regen und durch die Schnee- und Gletscherschmelze, Verluste durch Evapotranspiration sowie die Abflüsse. (Daten: Hydrographisches Amt der Autonomen Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

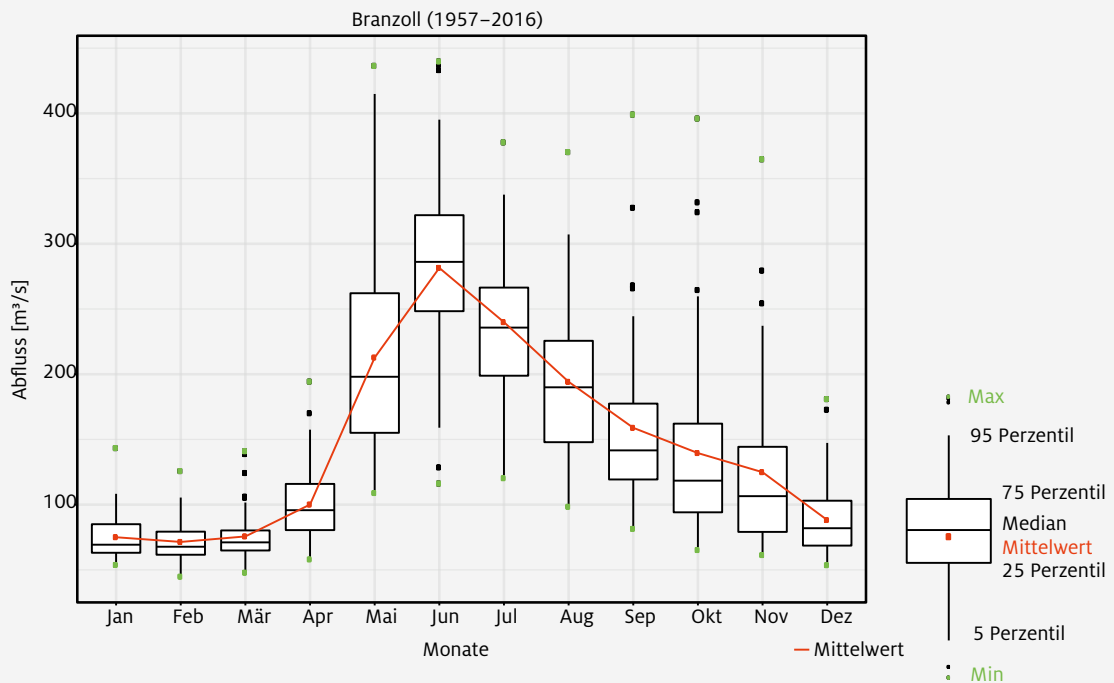
INDIKATOR: MITTLERE MONATLICHE ABFLÜSSE DER ETSCH, GEMESSEN IN BRANZOLL

Abb. 18: Mittlere monatliche Abflüsse der Etsch, gemessen in Branzoll (rote Linie, Zeitraum 1957–2016). (Daten: Hydrographisches Amt der Autonomen Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

Winterhalbjahr zugenommen, da es wegen der höheren Temperaturen mehr regnet und weniger und nur noch in höheren Lagen schneit. Im Süden sind als Folge steigender Temperaturen, geringerer Regenfälle und höherer Verluste durch Evapotranspiration die sommerlichen Abflüsse zurückgegangen (2). Diesen allgemeinen Trend bestätigen auch die Beobachtungen in Südtirol, wenngleich mit Unterschieden je nach Einzugsgebiet. Die höher gelegenen Einzugsgebiete, mit starkem nivo-glazialen Beitrag (Schnee- und Gletscherschmelzwasser), zeigen sowohl im Sommer als auch im Winter einen zunehmenden Trend beim Abfluss, da immer öfter Regen die Schneefälle ersetzt. Einige Einzugsgebiete registrieren besonders hohe Abflüsse im Sommer, etwa das des Suldenbachs oder des Saldurbachs: Dies ist auf die Gletscherschmelze zurückzuführen, die Abflüsse sind also „nicht erneuerbar“ (3). Während sommerlicher Hitzewellen, wie zum Beispiel Anfang

August 2017, führt der Eisack Hochwasser aus der Gletscherschmelze (→ Foto S. 47). Wie eine Studie von Eurac Research und der Universität Bozen im Matscher Tal bestätigte, gefährdet der Klimawandel die regulierende Funktion der Gletscher, die gerade dann Wasser liefern, wenn es im Tal besonders dringend benötigt wird (4).

Die größeren bzw. tiefer gelegenen Einzugsgebiete zeigen dagegen vor allem im Sommer einen abnehmenden Trend bei den Abflüssen. Nehmen wir den Abfluss der Etsch in Branzoll (→ Abb. 18) als Indikator, so sehen wir bei den jährlichen Mittelwerten insgesamt keine signifikanten Veränderungen. Im Herbst und Winter jedoch hat der Abfluss von 1957 bis heute um 21% zugenommen; im Sommer hat er sich im gleichen Zeitraum um 20% verringert. Weiter zur Flussmündung hin verstärkt sich der negative Trend noch: Schon in Trient ist der Abfluss auf das ganze Jahr bezogen rückläufig, in der Polesine an der Messstation Boa-

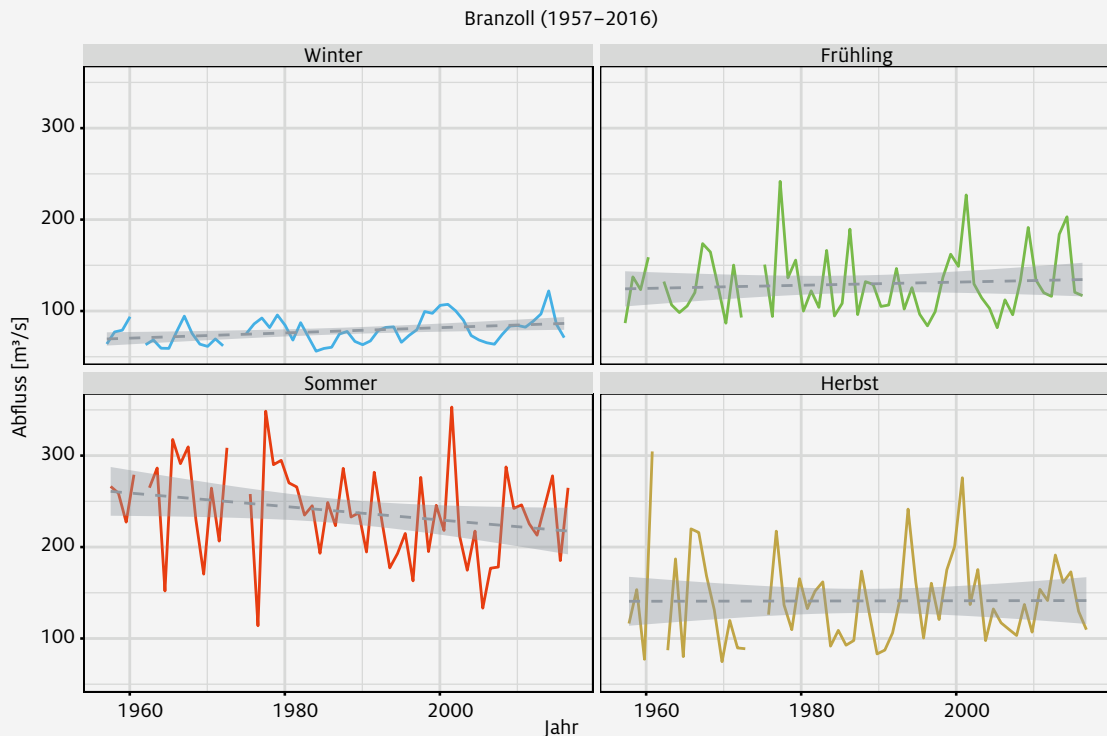
INDIKATOR: JAHRESZEITLICHE TRENDS BEI DEN MITTLEREN MONATLICHEN ABFLÜSSEN DER ETSCH IN BRANZOLL


Abb. 19: Jahreszeitliche Trends bei den mittleren monatlichen Abflüssen der Etsch in Branzoll (Jahre 1957–2016). (Daten: Hydrographisches Amt der Autonomen Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

ra Pisani hat er in 100 Jahren um fast 30% abgenommen, wie die Autorità di bacino feststellte (5). Diese vom Klimawandel verursachte Entwicklung geht zudem flussabwärts Hand in Hand mit immer massiveren Wasserentnahmen für unterschiedliche Zwecke, vor allem für die Landwirtschaft. Mit dem Abflussregime ändert sich auch der Gerölltransport. Die Zuflüsse aus der Gletscherschmelze führen immer mehr moränische Sedimente mit, die zuvor von Eis bedeckt waren. Zu diesem Thema wird in Südtirol im Rahmen internationaler Projekte wie der Studie SEDALP geforscht (6).

Hochwasser

Nach den für Südtirol verfügbaren Daten treten extreme Hochwasser heute nicht häufiger auf als in der Vergangenheit. Dies auch deshalb, weil extreme Hochwasser mit Wiederkehrzeiten von mehr als 100 Jahren – also Ereignisse, die die

Wissenschaftler im Mittel höchstens alle 100 Jahre erwarten – per Definition selten sind, es also schwierig ist, einen zeitlichen Trend festzustellen. Die Presse berichtet jedoch zunehmend über plötzlich eintretendes Hochwasser an Nebenflüssen. Zum Beispiel gab es 2012 in Pfatsch und 2017 in Prags nach intensiven und örtlich begrenzten Niederschlägen Überschwemmungen mit schweren Schäden an Infrastrukturen und leider auch Verletzten (→ Verkehrsinfrastrukturen, S. 96).

Wasserknappheit

Die anhaltende Hitze im Sommer 2003 führte die Anfälligkeit der Alpen klar vor Augen: Bedeutende Gletschermassen gingen verloren, der schmelzende Permafrostboden verursachte Massenbewegungen (→ Naturgefahren, S. 84), die Landwirtschaft erlitt trotz viel intensiverer Bewässerung erhebliche Verluste, die Grundwasserspiegel sanken ab. Auch im trockenen Frühling 2017, der auf einen

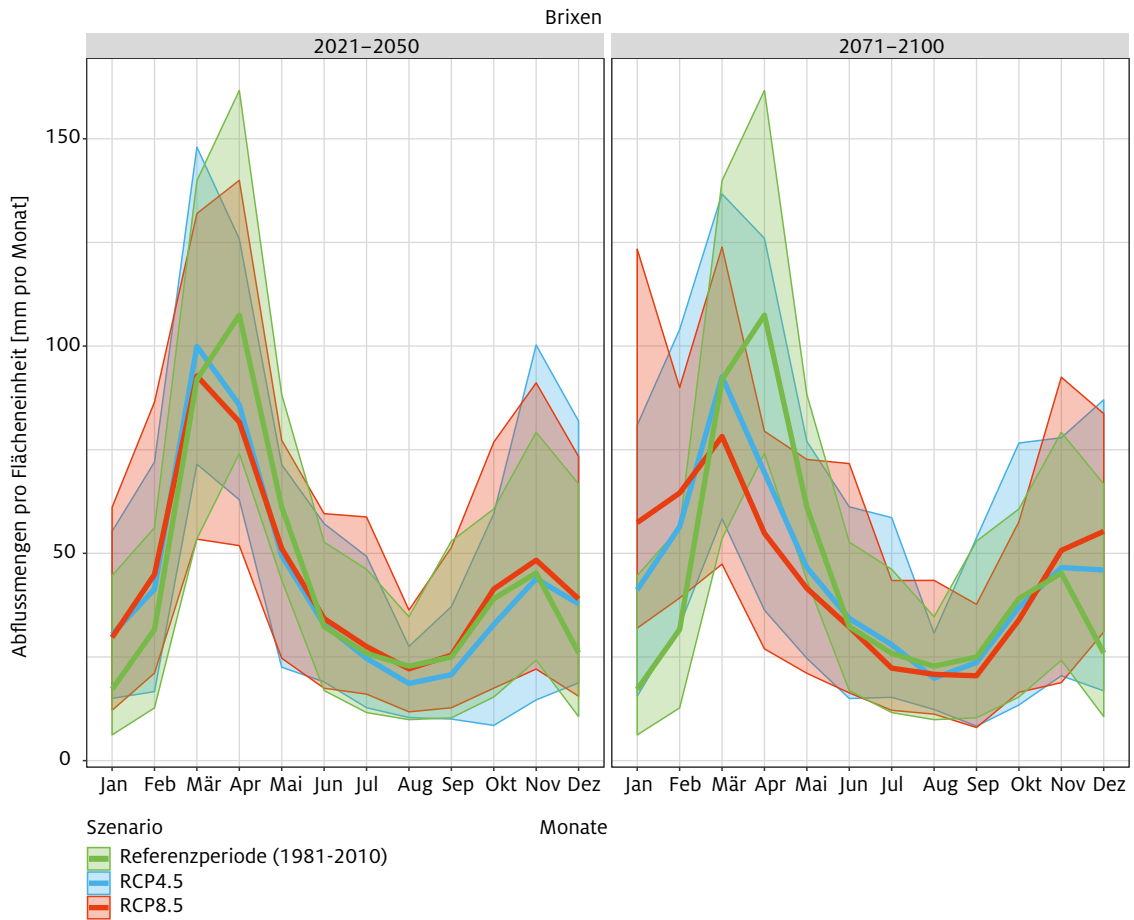


Abb. 20: Abflussmengen pro Flächeneinheit für den Bereich Brixen, ausgedrückt in Millimetern pro Monat. Die Grafik zeigt, welche Wassermengen die Flüsse und Bäche Südtirols in Zukunft durchschnittlich speisen werden, wobei verschiedene Szenarien berücksichtigt sind. Die rote Linie zeigt die historische Entwicklung der Abflüsse. Die grüne Linie zeigt die Schätzungen für das Klimaszenario RCP4.5, das von einer Eindämmung der Emissionen ausgeht. Die blaue Linie zeigt das Szenario RCP8.5 (business-as-usual). Der Höchstwert aufgrund der Schneeschmelze im Frühjahr wird zunehmend früher erwartet und niedriger ausfallen, während der Wassereintrag im Winter zunimmt, vor allem gegen Ende des Jahrhunderts.

schneearmen Winter folgte, traten kritische Situationen auf. Von zukünftiger Trockenheit gefährdet sind in Südtirol aufgrund geringerer Niederschläge vor allem der Vinschgau und Teile des mittleren Eisacktals, während Ortschaften am Ritten, Tschögl und Regglberg wegen der grundsätzlich geringen Wasserreserven im Einzugsgebiet anfällig sind.

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Aufgrund der steigenden Temperaturen – mit direkten Auswirkungen auf die Schneeschmelze – ist vorhersehbar, dass sich die jahreszeitlichen

Verteilungen der Abflüsse weiter ändern werden. Weniger sicher sind die Szenarien im Hinblick auf die Niederschläge (→ Klimawandel, S. 23). Jede Veränderung in der Intensität oder Verteilung der Regenfälle wird jedoch erhebliche Folgen für die Wasserreserven haben (7).

Abflüsse

Die Abflüsse der großen Flüsse werden im Winter zunehmen und sich im Sommer weiter verringern. Der Höhepunkt der Schneeschmelze wird sich zeitlich nach vorne verschieben. Entsprechende Studien zu den Zuflüssen der Etsch (8) zeigen moderate Veränderungen für den Zeitraum



.....
 [i] August 2017: Der Eisack führt viel milchig-trübes Wasser aus der Gletscherschmelze.

2020-2050, jedoch sehr deutliche Auswirkungen für 2050-2070, vor allem beim Klimaszenario RCP8.5, das von einer drastischen Reduzierung der Schneemengen in den Alpen ausgeht. Nach unseren Berechnungen könnte die Schneeschmelze in Südtirol ihren Höhepunkt einen Monat früher erreichen (→ Abb. 19).

Während offensichtlich ist, dass die jahreszeitlichen Verteilungen der Abflüsse sich weiter verändern werden, bestätigen nicht alle Prognosen eine Verringerung der jährlichen Abflüsse. In einigen Modellen kompensieren zunehmende Jahresniederschläge teilweise die erhöhte Evapotranspiration in Folge steigender Temperaturen. Dies gilt

insbesondere für hoch gelegene Einzugsgebiete. Eine Studie zu einigen in der Ortler-Gruppe entspringenden Flüssen zeigt für den Zeitraum 2040-2070 eine Zunahme der mittleren Abflüsse um 5-14%, mit einer Zunahme von 30-81% im Winter und einer Abnahme von 11-21% im Sommer (9). Eine Studie der Universität Innsbruck ergab, dass die schmelzenden Gletscher in Südtirol ihren größten Beitrag zu den sommerlichen Abflüssen bereits zwischen 2000 und 2010 leisteten, mit einem Maximum im Jahr 2003 (10). Gegen Ende des Jahrhunderts werden die Abflussanteile aus der Gletscherschmelze auch in den höher gelegenen Einzugsgebieten nur mehr sehr gering sein.

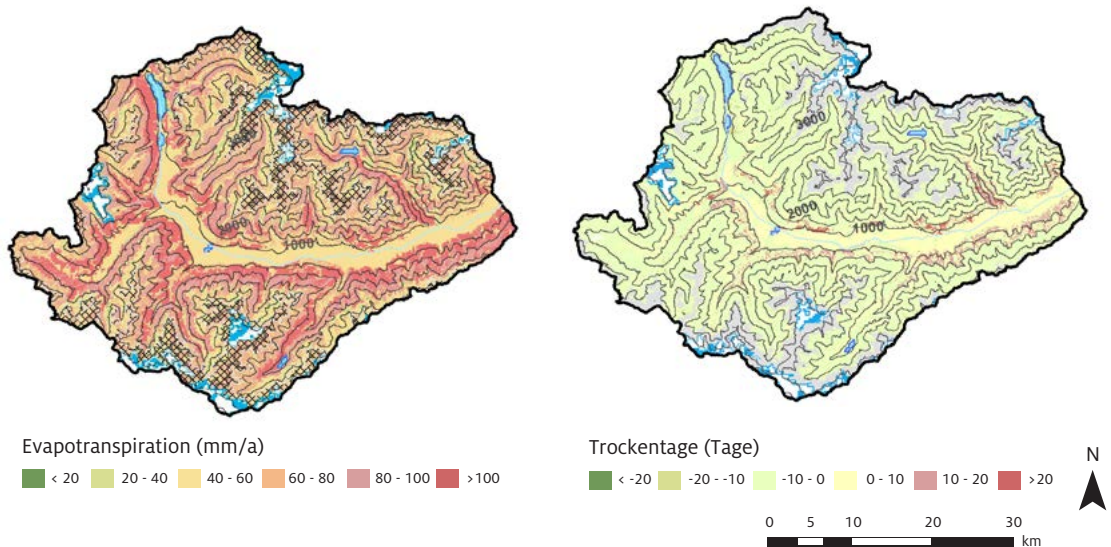


Abb. 21: Die Karten zeigen den Anstieg der Evapotranspiration (links) und der Trockentage (rechts), der im Vinschgau für den Zeitraum 2080-2100 gegenüber dem Zeitraum 1990-2010 erwartet wird. Die Karten wurden mit Hilfe des hydrologischen Modells GEOtop erstellt. Als Trockentage wurden Tage definiert, an denen der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens so gering ist, dass die Entwicklung der Vegetation beeinträchtigt wird. <http://webgis.eurac.edu/hydroalp>

Hochwasser

Trotz der allgemeinen Tendenz zu immer trockeneren Sommern werden in den Alpen Hochwasser in Zukunft wahrscheinlich häufiger werden. Das liegt daran, dass Regenfälle auch in höher gelegenen Gebieten zunehmen werden, wo es bisher fast nur schneite (11) (→ Klimawandel, S. 23). Auch kann es aufgrund Hitzewellen im Spätherbst in Gebieten wieder regnen, in denen schon Schnee gefallen ist. Dies führt zu stärkeren Abflüssen und Hochwasser. Hochwasser nach Regenfällen ist besonders gefährlich, wenn in höheren Lagen Permafrostboden abschmilzt, denn durch locker gewordene Sedimente kann es zu Murgängen kommen (→ Naturgefahren, S. 58). Einige Ereignisse dieser Art traten in den vergangenen Jahren in den Dolomiten auf, zum Beispiel 2016 am Monte Antelao in der Nähe von Cortina d'Ampezzo und 2017 in Prags.

Wasserknappheit

Klimaprojektionen für den Alpenraum zeigen im Allgemeinen ein erhöhtes Trockenheitsrisiko, insbesondere an den Südhängen. Die Unsicherheit diesbezüglich ist aber beträchtlich. In dem

Projekt HydroAlp haben wir die Wasserbilanz des Vinschgaus im Detail untersucht (→ Abb. 20). Die Ergebnisse zeigen, dass die kürzere Schneebedeckung des Bodens die Evapotranspiration um bis zu 25% erhöht. Dadurch nehmen die Abflüsse ab, die Grundwasservorkommen werden in geringerem Maß nachgefüllt. Parallel dazu erhöht sich der Wasserbedarf für Bewässerung. Szenarien, die einen Rückgang der Sommerniederschläge vorhersagen, zeigen eine signifikante Reduktion der Bodenfeuchte während der Vegetationsperiode. An nach Südosten ausgerichteten Hängen unter 1500m wird die Landwirtschaft, die bereits jetzt stark auf Bewässerung angewiesen ist, unter mehr Trockentagen zu leiden haben.

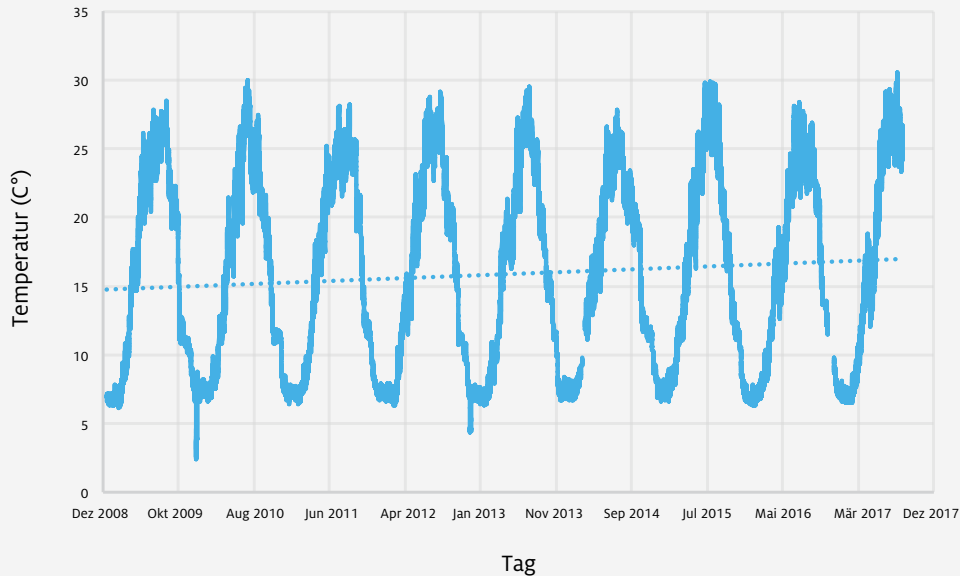
INDIKATOR: Wassertemperatur kalterer See

Abb. 22: Wassertemperatur im Kalterer See von 2009 bis heute. Die höchste Temperatur des vergangenen Jahrzehnts wurde am 5. August 2017 gemessen: 30,5 C. Es folgen der 16. Juli 2010 (30°C) und der 23. Juli 2015 (29,9°C). Die Temperaturen sind in den vergangenen 10 Jahren um etwa 2° C gestiegen. (Daten: Biologisches Labor der Autonomen Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

Literatur

1. Dinale, R.: Acqua e ghiacciai in Alto Adige Passato, presente e futuro / Wasser und Gletscher in Südtirol: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Corso formazione per docenti, Bolzano/Bozen, 16.11.2016.
2. Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J., Magnusson, J., Marty, C., Moran-Tejeda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzagio, S., and Vincent, C. (2017): The European mountain cryosphere: A review of past, current and future issues. *The Cryosphere Discussions*, <https://www.the-cryosphere-discuss.net/tc-2016-290/tc-2016-290.pdf>.
3. Penna, D., Engel, M., Mao, L., Agnese, A. D., Bertoldi, G., & Comiti, F. (2014): Tracer-based analysis of spatial and temporal variations of water sources in a glacierized catchment. *Hydrol. Earth Sci.*, 18, S. 5271–5288, <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/5271/2014/hess-18-5271-2014.pdf>
4. Engel, M., Penna, D., Bertoldi, G., Dell'Agnese, A., Soulsby, C., and Comiti, F. (2016): Identifying runoff contributions during melt induced runoff events in a glacierized Alpine catchment. *Hydrological Processes*, 30, S. 343–364. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.10577/full>
5. Mallucci, S., Majone, B., Bellin, A. (2017): Driver detection of water availability changes in a large Alpine river basin. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-5551, EGU General Assembly 2017. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-5551.pdf>
6. <http://www.sedalp.eu> (Letzter Zugang: Februar 2018)
7. Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005): Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438 (7066), S. 303–9. <https://doi.org/10.1038/nature04141>
8. Chiogna, G., Majone, B., Cano Paoli, K., Diamantini, E., Stella, E., Mallucci, S., Lencioni, V., Zandonai, F., Bellin, A. (2015): A review of hydrological and chemical stressors in the Adige catchment and its ecological status. *Science of The Total Environment*, 540, S. 429–443, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715303430#>
9. Majone, B., Villa, F., Deidda, R., & Bellin, A. (2016): Impact of climate change and water use policies on hydropower potential in the south-eastern Alpine region. *Science of the Total Environment*, 543, S. 965–980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.009>
10. Marzeion, B. et al. (2015): Scenari di deglaciazione in Alto Adige. Ufficio Idrografico Bolzano, Report Tecnico.
11. Allamano, P., Claps, P., & Laio, F. (2009): Global warming increases flood risk in mountainous areas. *Geophysical Research Letters*, 36(24), <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GL041395/full>

Flora und Fauna

NIKOLAUS OBOJES, GEORG NIEDRIST



AUSGANGSLAGE

Durch die großen Höhenunterschiede und das günstige Klima findet sich in Südtirol eine sehr vielfältige Flora mit submediterranen bis hochalpinen Elementen. Von den fast 2300 in Südtirol vorkommenden Gefäßpflanzen sind ungefähr ein Viertel als gefährdet eingestuft. Die größte Artenvielfalt, aber auch der größte Anteil an gefährdeten Arten, findet sich in den unteren Höhenstufen; oberhalb der Waldgrenze ist der Anteil gefährdeter Arten geringer, vor allem aufgrund der geringeren menschlichen Nutzung. Besonders gefährdet sind

Arten der Feuchtlebensräume und solche, die auf traditionelle, extensive menschliche Nutzungsformen wie Trocken- und Magerrasen oder Ruderalfluren angewiesen sind, etwa die Segetalarten (Ackerbeikräuter) (1).

Von den fast 7400 in Südtirol beobachteten Tierarten sind 40% als gefährdet eingestuft. Wie bei den Pflanzen sind besonders Arten in der kollinen und montanen Stufe (500-1500m) bedroht (80% der gefährdeten Tierarten leben hier). Ursachen sind hauptsächlich Biotopzerstörung (50% der gefährdeten Arten) und -einengung (30%), intensive Landwirtschaft (40%), Wasserverschmutzung oder -ableitung und wasserbauliche Maßnahmen (20%); Klima und Krankheiten werden als fünft-wichtigste Ursache genannt (2). Beim jagdbaren Wild sind die Bestände von Reh, Rothirsch und Gämse konstant bis leicht ansteigend, auch einige Steinbock-Populationen sind wieder etabliert; Niederwild wie Rebhuhn oder Fasan dagegen geht stark zurück, wobei die Ursachen vor allem im Lebensraumverlust und der Intensivierung der Landwirtschaft liegen (3).

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Bei steigenden Temperaturen ist zu erwarten, dass sowohl Pflanzen- als auch Tierarten ihren Lebens-

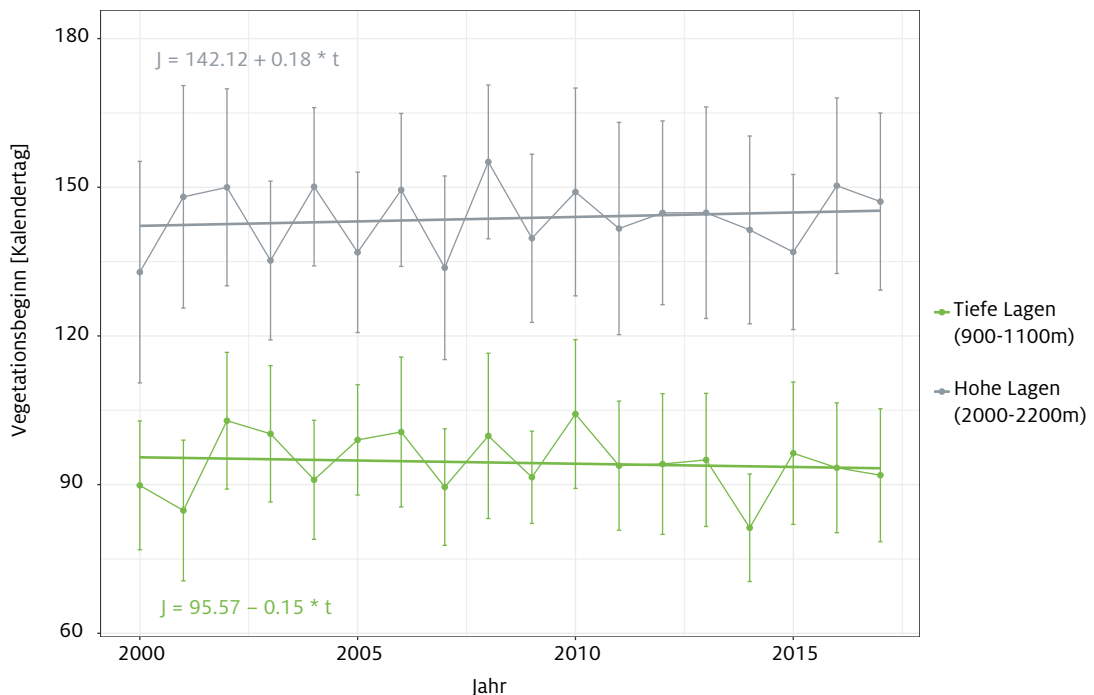


Abb. 23: Vegetationsbeginn von Wirtschaftsgrünland in Tallagen (900-1100m, grün) und Berglagen (2000-2200m, grau). (Daten: MODIS-Satellitendaten. 250m Auflösung)

Die Artenvielfalt in Südtirol wird aktuell vor allem durch den Landnutzungswandel (Intensivierung, Auflassung) bedroht, weniger durch den Klimawandel.



raum in größere Meereshöhe ausdehnen. Für die Flora der alpinen Zone wurde das in Südtirol in den vergangenen 20 Jahren sowohl in den Dolomiten als auch in der Texelgruppe im Rahmen des weltweiten Projekts GLORIA nachgewiesen. Damit **nimmt die Biodiversität in der alpinen Zone derzeit zu**, da neue Arten aus tieferen Lagen hinzukommen, während gleichzeitig die meisten bisherigen Arten aufgrund längerer Lebensdauer oder vegetativer Vermehrung (z. B. durch Ausläufer) ihren Standort trotz erschwelter Bedingungen noch behaupten können (4). Es ist ein verfrühter Pollenflug festzustellen, wobei dieses Phänomen vor allem bei Frühblüher zu erkennen ist (→ Abb. 24). Europaweit lässt sich anhand Satellitendaten eine Verfrühung der Pflan-

zenentwicklung nachweisen (5). Sowohl von den Daten zum Pollenflug als auch von den Satellitendaten steht aber für Südtirol noch keine ausreichend lange Reihe zur Verfügung, um diese Trends signifikant zu bestätigen. (→ Abb. 23). **Langjährige Feldbeobachtungen im Obst- und Weinbau und in der Forstwirtschaft zeigen die Veränderung der jahreszeitlichen Entwicklungsphasen aber deutlich** (→ Landwirtschaft, S. 74 und → Forstwirtschaft, S. 78). Auch für die Fauna wurden in Südtirol schon ähnliche Veränderungen festgestellt. Wiederholte Untersuchungen der Zikadenfauna an zwei Standorten in 550 und 1770m Höhe zeigten, dass die Arten und Individuen am höheren Standort durch die Einwanderung wärmeliebender Arten zunehmen, während sie sich am tieferen Standort wegen

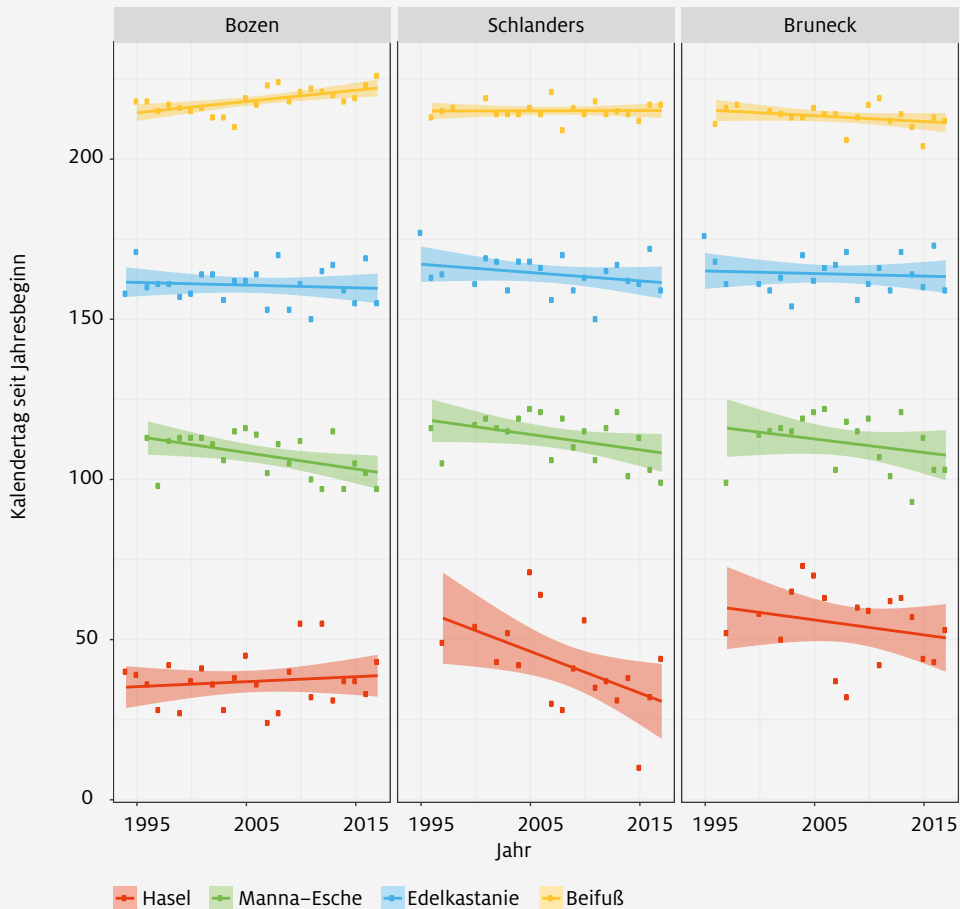
INDIKATOR: START DER POLLENSAISON


Abb. 24: Start der Pollensaison an drei Standorten in Südtirol von 1994-2017. (Daten: Landesumweltagentur, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

zunehmender Trockenheit und damit verbundener Futterpflanzenknappheit reduzierten (6). Bei Vögeln wurde ebenfalls festgestellt, dass Arten in höhere Regionen vordringen – zum Beispiel Amsel und Gartenrotschwanz bis über die Waldgrenze – und südliche Arten sich Richtung Norden ausbreiten; auch wurde beobachtet, dass Zugvögel ihre Routen ändern oder, wie der Graureiher, in Südtirol überwintern (7). Ebenfalls eine Rolle spielt der Klimawandel bei der Etablierung und Ausbreitung invasiver Neophy-

ten, also gebietsfremder Pflanzen, die die einheimische Flora verdrängen, wie Riesen-Bärenklau, Staudenknöterich, Drüsen-Springkraut, Kanadische Goldrute, Robinie, Götterbaum oder Beifuß-Traubenkraut. Da wärmere Temperaturen auch Wachstum und Ausbreitung von vielen Erregern bzw. Überträgern fördern, beeinflussen sie die Verbreitung von Pflanzen- und Forstschädlingen wie Kirschessigfliege und Esskastanien-Gallwespe oder von Krankheiten wie dem Eschentriebsterben, das in Südtirol seit 2011 beobachtet wird. Der



Der Klimawandel begünstigt die Ausbreitung gebietsfremder Pflanzen (drüsiges Springkraut, oben) und Tiere (Kastaniengallwespe, unten)

Hauptgrund für das Auftreten exotischer Arten ist aber im globalen Warenverkehr zu suchen, der eine Ausbreitung weit über die natürlichen Mechanismen und Vorkommen hinaus ermöglicht.

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Höhere Temperaturen und damit längere Wachstumsperioden und gebietsweise weniger harte und seltenere Winterfröste werden zur Folge haben, dass **zunehmend wärmeliebende Arten einwandern**, sich etablieren und ausbreiten. Weitere Arealverschiebungen in größere Meereshöhe sind sowohl in der Pflanzen- als auch in der Tierwelt zu erwarten. Ist kein Ausweichen nach oben mehr möglich, bietet das vielfältige Relief der alpinen Zone den kälteangepassten Arten zwar kleinräumige Nischen, um die Erwärmung zu überdauern; trotzdem könnten die Fragmentierung von Populationen und der erhöhte Konkurrenzdruck aber zum Aussterben von Arten führen. In den Tallagen wird voraussichtlich Trockenstress eine zunehmende Rolle spielen – bei Pflanzen kann dies zu einer höheren Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern und Schadinsekten führen, Pflanzenfresser werden unter abnehmender Futterqualität leiden. Auch in Fließgewässern wird es zu einer Verschiebung von Habitaten flussaufwärts kommen: Zu erwarten ist, dass spezifisch kälteangepasste Arten zurückgehen und sich, vor allem in flachen stehenden Gewässern, vermehrt toxinbildende Blaualgen ausbreiten (→ Gesundheit, S. 102).

Die Verlängerung der Vegetationsperiode, auf den ersten Blick für viele Pflanzenarten von Vorteil, kann zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Spätfrösten führen; außerdem erhalten Schadinsekten wie der Borkenkäfer dadurch eventuell die Möglichkeit, in einer Vegetationsperiode zusätzliche Generationen auszubilden. Die Verschiebung von Wachstums- und Aktivitätsphasen kann auch zu Synchronisationsstörungen zwischen Wirtspflanzen und Insekten führen wie das beim Grauen Lärchenwickler schon beobachtet wurde: Hier sind der Schlüpfzeitpunkt der Lärchenwicklerraupe und der Nadelaustrieb der Lärche bei höheren Temperaturen nicht mehr optimal aufeinander abgestimmt (8). Auch Brutparasiten wie der Kuckuck werden es schwieriger haben, geeignete Nistplätze zu finden, wenn ihre Wirtsvögel ihre Brut in Zukunft früher beginnen.

Im Allgemeinen werden anpassungsfähige und anspruchslose Generalisten und wärmeliebenden Arten und Gruppen wie die Reptilien zu den Gewinnern des Klimawandels gehören; speziell angepasste Arten wie Endemiten und Gruppen

mit hohen Lebensraumansprüchen und geringer Mobilität wie Amphibien werden dagegen zu den Verlierern zählen. Allerdings hatte in stark anthropogen geprägten Regionen wie Südtirol die menschliche Nutzung bisher einen weitaus größeren Einfluss auf Flora und Fauna als der Klimawandel, und kurz- und mittelfristig wird dies auch so bleiben. Für Arten, die wegen menschlicher Einflüsse durch Habitatsverlust gefährdet sind, bedeutet der Klimawandel aber möglicherweise eine weitere Bedrohung. Eine besondere Bedrohung stellt er außerdem für hochalpine Regionen dar, die bisher noch am wenigsten vom Menschen beeinflusst wurden.

Literatur

1. Wilhalm, T. und Hilpold, A. (2006): Rote Liste der gefährdeten Gefäßpflanzen Südtirols. Gredleriana, 6, pp 115–198, https://www.zobodat.at/stable/pdf/Gredleriana_006_0115-0198.pdf
2. Gepp, J. (1994): Rote Liste gefährdeter Tierarten Südtirols. Bozen, <http://www.provinz.bz.it/natur-raum/themen/rote-liste-gefaehrde-tiere.asp>
3. <http://www.provinz.bz.it/forst/wild-jagd/jagd-suedtirol.asp> (Ultimo accesso: febbraio 2018)
4. Mallaun, M., Unterluggauer, P. und Erschbamer, B. (2013): Gipfflora im Wandel - Das Projekt GLORIA in Südtirol. http://naturparks.provinz.bz.it/downloads/Broschuere_Unter_der_Lupe.pdf
5. Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, I., Jatczak, K., Mage, F., Mestre, A., Nordli, O., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remisová, V., Scheffinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A. J. H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S. und Züst, A. (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12(10), pp 1969-1976, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x/full>
6. Carl, M. (2008): Biomonitoring der Zikadenfauna (Auchenorrhyncha) in alpinen Wald-Ökosystemen Südtirols auf den Dauerbeobachtungsflächen IT01 Ritten und IT02 Montiggel im Jahre 2006. *forest observer*, 4, pp 249 – 292, <http://www.dr-carl-institut.de/2008carlforestobserver4.pdf>
7. Unterholzner, L. (2016): Klimawandel – Gewinner und Verlierer. AVK-Nachrichten, 67, 34–35, http://www.vogelschutz-suedtirol.it/fileadmin/user_upload/pdf/avk-nr67-2016.pdf
8. Johnson, D. M., Büntgen, U., Frank, D. C., Kausrud, K., Haynes, K. J., Liebholt, A. M., Esper, J. and Stenseth, N. C. (2010): Climatic warming disrupts recurrent Alpine insect outbreaks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(47), <http://www.pnas.org/content/107/47/20576.full>

Boden

JULIA SEEBER



AUSGANGSLAGE

Der Boden unter unseren Füßen ist die Schnittstelle zwischen Lithospäre – den Gesteinen der Erde –, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre; er ist ein äußerst komplexes Gebilde aus vielen interagierenden Kompartimenten (mineralische und organische Bestandteile, Wurzeln, Mikroorganismen, Bodentiere). Die Entstehung und Entwicklung eines Bodens erstreckt sich über einen sehr langen Zeitraum; je nach Höhenlage und klimatischen Gegebenheiten kann es mehrere hundert Jahre dauern, bis ein Zentimeter neuer Boden entstanden ist.

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Durch seine Beschaffenheit ist der Boden ein Puffer gegen viele Umwelteinflüsse und reagiert nur langsam auf Änderungen. Selbst ein extrem heißes, trockenes Jahr wie es in Südtirol z. B. 2003 war, hat auf die Beschaffenheit eines natürlichen, nicht intensiv bewirtschafteten Bodens keine unmittelbare Auswirkung. Die Bodentiere reagieren auf solche heißen Sommer, indem sie sich vorübergehend in tiefere Schichten zurückziehen. Sensitiver als die Bodentiere reagiert der Bodenwassergehalt. Unsere Untersuchungen seit 2009 im Matschertal zeigen z. B., dass im Frühling und Sommer keine signifikanten Veränderungen feststellbar sind; der Bodenwassergehalt im Herbst dagegen ist in den letzten drei Jahren geringer geworden. Für längerfristige Aussagen muss die Messreihe allerdings noch über mehrere Jahre fortgeführt werden (→ Abb. 24).

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Auf Grund der langsamen Entstehung des Bodens, der im Alpenland Südtirol kleinräumigen Verteilung – meist in Hanglagen – und der vielen



 Roter Waldregenwurm: einer der Bewohner von Südtirols Boden

Interaktionen, kann man keine allgemein gültigen Aussagen über die Auswirkung des Klimawandels auf das Bodensystem und seine Lebewelt treffen.

Auswirkungen auf den Boden und die Bodenentwicklung

Generell **werden Prozesse wie Verwitterung und Mineralisierung, bisher durch Kälte gehemmt, zunehmen** (1) und dadurch die Bodenentwicklung beschleunigen. Der Humuskörper wird sich temperatur- und feuchteabhängig verändern, an feuchten Standorten wird die organische Substanz schneller zersetzt werden, an trockenen Standorten langsamer. Eine sehr wichtige Rolle wird außerdem den abschmelzenden Permafrostböden und Gletschergebieten zukommen (→ Schnee und Gletscher, S. 41 und → Permafrost, S. 63). Wo die Bodenbildung nämlich bisher durch die permanente Eisschicht verhindert wurde, kann sie durch die Klimaerwärmung initiiert werden.

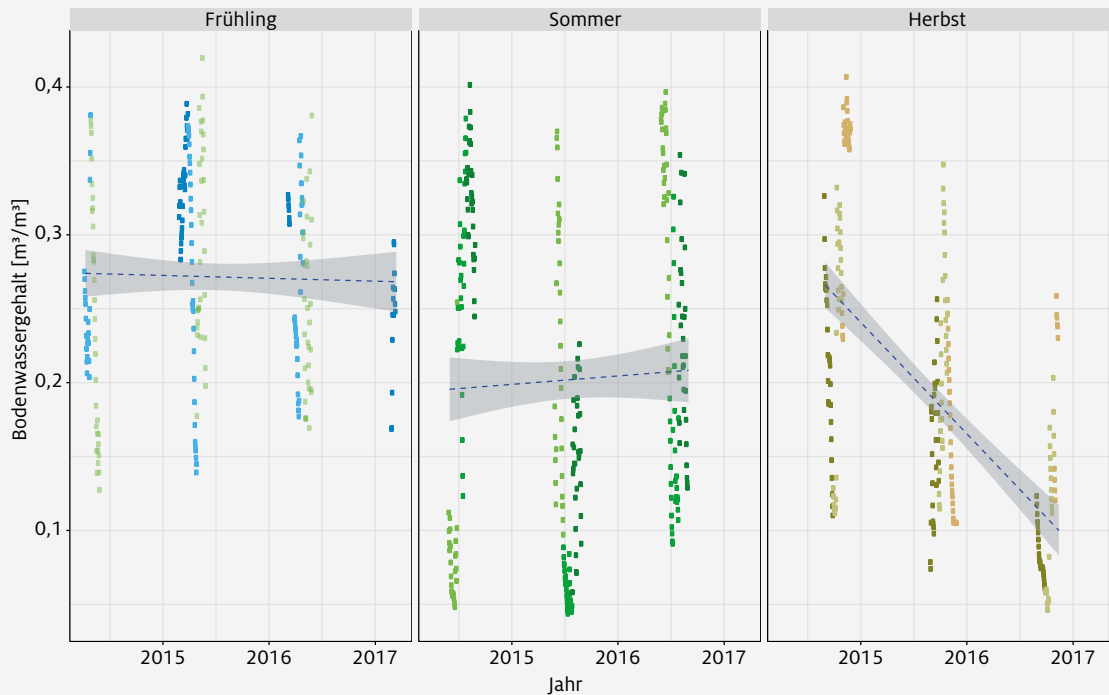
INDIKATOR: BODENWASSERGEHALT AM VINSCHGAUER SONNENBERG, EINGANG DES MATSCHERTALES


Abb. 25: Während im Frühjahr und im Sommer keine Veränderungen feststellbar sind, ist der Bodenwassergehalt im Herbst in den letzten drei Jahren geringer geworden. Für längerfristige Aussagen muss die Messreihe allerdings noch über mehrere Jahre fortgeführt werden. (Daten und Darstellung: Eurac Research)

Auswirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt

Die Beschleunigung von Bodenprozessen, die bisher durch niedrige Temperaturen gehemmt wurden, und das Auftauen von Permafrostböden werden global weitreichende Auswirkungen auf den Kohlenstoff- und den Stickstoffkreislauf haben (2-4). Ein Großteil (> 75%, das entspricht 775 Gt) des weltweiten Kohlenstoffvorrats ist in Form von Wurzeln und organischer Substanz im Boden gespeichert. Der Boden agiert als Kohlenstoffspeicher (Senke; → Wald als Kohlenstoffspeicher, S. 35): Er nimmt CO₂ aus der Atmosphäre auf und speichert es, zum Teil langfristig, in schwer zersetzbarem Humusmaterial. Durch die Erwärmung des Bodens kann diese Senkenwirkung destabilisiert werden: Mikroben werden aktiver und breiten sich aus, sie verwandeln mehr – frische und alte – organische Substanz in CO₂, das aus dem Boden ausgeatmet wird. Diesem Vorgang wirkt jedoch entgegen, dass auch Pflanzen photosynthetisch aktiver werden und somit mehr CO₂ binden und in den Boden einbringen. Die Wissenschaft ist sich

deshalb uneins, ob unsere Böden auch in Zukunft als Kohlenstoffspeicher fungieren werden oder ob sie im Gegensatz zu Kohlenstoffquellen werden – zu viele, teils noch unerforschte Faktoren spielen hier eine Rolle. Einer dieser Faktoren ist die Verfügbarkeit von Wasser: Vor allem kohlenstoffreiche Torfmoorböden werden durch die Erwärmung und die darauffolgende Austrocknung zu Kohlenstoffquellen. Da Südtirol aber im Gegensatz zu Nordeuropa über keine großflächigen Torfmoore verfügt, ist dieser Aspekt hier vernachlässigbar. Auch das Auftauen von Permafrostböden, die große Kohlenstoffspeicher darstellen, spielt für die Kohlenstoffbilanz in Südtirol keine Rolle, da sie hier nur ca. 5% der Fläche einnehmen. Hingegen ist 45 % der Gesamtfläche Südtirols bewaldet (5), und Wälder werden, solange sie gesund sind, auch in naher Zukunft als Langzeit-Kohlenstoffspeicher funktionieren.

Die global postulierte Zunahme von Methangas im Boden wird in Südtirol, im Gegensatz zu Gebieten in nördlichen Breiten, nicht eintreten, da sich

Methan nur unter anaeroben Bedingungen vor allem in auftauenden Permafrostböden bildet (→ Permafrost, S. 63).

Indirekte Auswirkungen auf die Bodenlebewesen

Höhere Temperaturen, weniger Niederschlag und ein erhöhter CO₂-Gehalt werden zu einer Verschiebung in den Pflanzengemeinschaften führen (→ Flora und Fauna, S. 51). Für die Bodenbewohner, vor allem für die Zersetzerorganismen, bedeutet dies eine höhere Wurzeldichte, mehr holzige Biomasse und dadurch eine Veränderung, meist Verschlechterung, im Nahrungsangebot (6). Insgesamt werden die Abbauraten sich erhöhen, wodurch sich der organische Substanzgehalt verringert, vor allem in höheren Lagen. Diese Effekte werden zum Teil durch die Zunahme an holziger und damit schwerer abbaubarer Pflanzenbiomasse ausgeglichen.

Direkte Auswirkungen auf die Bodenlebewesen

Auch für die Bodenlebewesen ist es nicht möglich, einen generellen Trend zu beschreiben (7). Einen sowohl indirekten (über die Pflanzengesellschaft), wie auch direkten Effekt auf die Bodenlebewelt hat die Verlängerung der Vegetationsperiode, die in Südtirol zu größeren Individuendichten der Bodenorganismen führen könnte. Weniger Frosttage bewirken, dass viele Bodentiere den Winter leichter überleben, somit sind die Individuenzahlen im Frühjahr zu Beginn der Vegetationsperiode bereits höher. Dies hat aber auch den negativen Effekt, dass Schädlinge, die im Boden überwintern, nicht reduziert werden und somit schneller eine größere Population aufbauen können. Andererseits gefriert der Boden, weil kürzer mit Schnee bedeckt, leichter – dies hebt ersteren Effekt wieder auf. Die Lebenszyklen der an die kurze Vegetationszeit angepassten alpinen Arten werden sich verkürzen und ihnen die Ausbreitung in höhere Regionen erleichtern. Generell wird der Trend weg von Spezialisten hin zu weit verbreiteten Generalisten gehen (8). (→ Flora und Fauna, S. 53) Bezüglich der Mikrobengesellschaft im Boden könnte es durch Erwärmung und weniger Niederschlag zu einer Verschiebung von einer Bakterien-dominierten hin zu einer Pilz-dominierten Gesellschaft kommen, was pilzfressende Bodenorganismen begünstigt. Allerdings haben nicht alle Bodentierarten effektive Strategien, um sich auf den Klimawandel einzustellen. Vor allem **Tiere auf und knapp unter der Bodenoberfläche sind durch die Erwärmung und eventuelle Trockenperioden stark betroffen**. Bodenwasser-abhängige Tiere wie Enchyträen ziehen sich dadurch in tiefere Bodenschichten zurück, andere, wie zum Beispiel Regenwürmer, weichen in höhere Lagen aus. Tie-

re, die bereits in den höchsten Lagen leben, haben allerdings keine Ausweichmöglichkeit – diese Arten sind oft die ersten, die dem Klimawandel zum Opfer fallen.

Über die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf Südtirols Bodenlebewelt ist bisher nur wenig bekannt. Eine Studie, die wir entlang eines Höhengradienten im Matschertal durchführten, zeigt einen klaren Anstieg der Biodiversität bis 2000m, danach eine starke Abnahme bis 2500m. Eine Wiederholung der Studie in zehn Jahren wird mehr Aufschluss darüber geben, wie sich erhöhte Temperaturen auf den Bodenkörper und die darin befindlichen Organismen auswirken.

Literatur

- Geitner, C. (2007): Böden in den Alpen – Ausgewählte Aspekte zur Vielfalt und Bedeutung einer wenig beachteten Ressource. In: Borsdorf, A. und G. Grabherr (Hrsg.) (2007): Internationale Gebirgsforschung, IGF-Forschungsberichte, 1, S. 56 – 67, http://www.mountainresearch.at/images/Publikationen/band_1/igf_geitner_56-67.pdf
- Trumbore S. E. und Czimczik C. I. (2008): An Uncertain Future for Soil Carbon. *Science* 321, 1455-1456.
- Reichstein, M., Bahn, M., Ciais P., Frank, D., Mahecha, M. D., Seneyratne, S. I., Zscheischler, J., Beer, C., Buchmann, N., Frank, D. C., Papale, D., Rammig, A., Smith, P., Thonicke, K., Van der Velde, M., Vicca, S., Walz, A. und Wattenbach, M. (2017): Climate extremes and the carbon cycle. *Nature*, 500, S. 287-295, <https://www.nature.com/articles/nature12350>
- Classen, A. T., Sundqvist, M. K., Henning, J. A., Newman, G. S., Moore, J. A. M., Cregger, M. A., Moorhead, L. C. and Patterson, C. M. (2015): Direct and indirect effects of climate change on soil microbial and soil microbial-plant interactions: What lies ahead? *Ecosphere*, 6(8), S. 1-21, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/ES15-00217.1/epdf>
- <http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/wald-holz-almen/wald-in-suedtirol/suedtirols-wald-flaechen.asp> (Letzter Zugang: Februar 2018)
- Seeber, J., Langel, R., Meyer, E., Traugott, M. (2009): Dwarf shrub litter as a food source for macro-decomposers in alpine pastureland. *Applied Soil Ecology*, 41(2), S. 178-184, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139308001698#>
- Blankinship, J. C., Niklaus P. A., Hungate B. A. (2011): A meta-analysis of responses of soil biota to global change. *Oecologia*, 165(3), S. 553–565, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-011-1909-0>
- Clavel, J., Julliard, R., Devictor, V. (2011): Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(4), S. 222-228, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/080216/epdf>

Naturgefahren

STEFAN SCHNEIDERBAUER, ROMY

SCHLÖGEL, CHRISTIAN KOFLER

MIT UNTERSTÜTZUNG VON **VOLKMAR MAIR**



AUSGANGSLAGE

Naturgefahren sind seit jeher Bestandteil des Lebens in den Alpen. Ereignisse wie der gewaltige Bergsturz am Piz Cengalo in der Schweiz im August 2017 oder das verheerende Hochwasser in vielen Teilen Südtirols und des Trentino im Jahr 1966 führen immer wieder eindrücklich vor Augen, welch zerstörerische Kraft den Naturgewalten innewohnt. Dementsprechend hat der Umgang mit diesen Gefahren eine lange Tradition in den alpenländischen Gesellschaften. Die Bevölkerung Südtirols ist einer Vielzahl unterschiedlicher Naturgefahren ausgesetzt, wobei Massenbewegungen und Wassergefahren wie Muren, Hangrutschungen oder Überflutungen die größte Bedeutung zukommt. Die meisten dieser Gefahren hängen eng mit Wetter oder Klima zusammen, folglich kann der Klimawandel Intensität und Häufigkeit solcher Ereignisse beeinflussen. Neben den klimatischen Bedingungen oder extremen Wetterereignissen spielen jedoch noch viele andere Faktoren eine Rolle, etwa die Vegetationsbedeckung, die pedologischen und geologischen Randbedingungen oder der Grad der Bodenversiegelung.

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Schon heute führen die steigenden Temperaturen dazu, dass Gletscher schmelzen (→ Schnee und Gletscher, S. 41) und sich Permafrostgebiete, also Regionen mit dauerhaft gefrorenem Boden, in größere Höhenlagen verschieben. Dieser Wandel der vergletscherten und periglazialen Gebiete über 2000m Höhe hat zwei besonders relevante Folgen: Zum einen geben Schmelzprozesse Sedimente frei, was zu verstärkter Murenaktivität führen kann (1-3). Der erhöhte Sedimenttransport in alpinen Flüssen ist auch deshalb problematisch, weil er die Verlandung von Stauseen beschleunigt.

Zudem werden Berghänge instabil, wenn ehemals kontinuierlich gefrorener Boden auftaut – Sturzprozesse und Rutschungen nehmen dadurch zu (4-5). Im Sommer 2016 brachen zum Beispiel 500 Kubikmeter Fels von der Kleinen Gaisl in den Sextner Dolomiten – einer der massivsten Bergstürze, die in Südtirol bislang beobachtet wurden. Dass Niederschläge auch in hohen Lagen zunehmend als Regen und nicht mehr als Schnee fallen, verstärkt diese Entwicklung, denn es erhöht die Bodenfeuchte und begünstigt die Zufuhr von Wärmeenergie in den Boden (6-8).

Beim Steinschlag auf die Staatsstraße von Schluderns nach Taufers im Münstertal im Januar 2014 spielten so verursachte Hanginstabilitäten mit großer Wahrscheinlichkeit eine entscheidende Rolle. Als Folge dieses Steinschlags musste der Straßenverlauf verlegt werden, die Ortschaft Taufers war für mehrere Tage von Südtirol abgeschnitten und der Verkehr musste weiträumig über den Reschenpass und das Engadin umgeleitet werden. Ein weiteres Beispiel ist die Hangmure „Crèp de Sela“, die im August 2016 in der Gemeinde Corvara abging. Als Auslöser werden hier die hohen Niederschläge im Frühling und Sommer 2016 angesehen sowie das Abschmelzen von Permafrost (9). Derart aufsehenerregende Ereignisse sind jedoch selten; oft finden solche Geschehnisse weitab von besiedelten Gebieten statt und haben ein eher geringes Schadenspotenzial, häufig werden sie auch nicht wahrgenommen oder dokumentiert (→ Interview Volkmar Mair, S. 64).

Eine weitere Gefahr schmelzender Gletscher sind Schmelzwasserseen, die sich hinter natürlichen Dämmen bilden und bei plötzlicher Entleerung zu verheerenden Flutereignissen führen können. Dieses als GLOF (*glacier lake outburst flood*) bekannte Phänomen spielt in Südtirol aufgrund der relativ kleinen Ausmaße der Gletscher bisher noch keine übergeordnete Rolle, könnte aber im Zuge des Gletscherrückgangs an Bedeutung gewinnen (→ Gletschersee-Ausbrüche, S. 59).

Trotz der anerkannten Zusammenhänge zwischen Klima und Naturgefahren sind bisher keine statistisch belegbaren Trends zu erkennen, die darauf hinweisen, dass Gefahrenprozesse durch den Klimawandel häufiger werden oder größere Ausmaße annehmen. Vergleicht man zum Beispiel das jahreszeitliche Auftreten von Gefahrenprozessen (Murgang, Hangrutschung, Steinschlag und Überflutung) mit der Anzahl von Tagen, an denen der gemessene Niederschlag 30 mm oder mehr betrug, so ist weder für die niederschlagsreichen Tage noch für die Gefahrenprozesse ein Trend hin zu einer Zunahme festzustellen (→ Abb. 26). Dies liegt auch daran, dass man in Südtirol erst vor ca. 20 Jahren damit begann, Gefahrenereignisse

systematisch und standardisiert zu dokumentieren. Zwar ist die Datenlage damit im Vergleich zu anderen Alpenregionen ausgezeichnet, für statistisch signifikante Aussagen reicht diese Zeitreihe jedoch nicht aus. Auch ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Gefahrenprozessen und Klima lässt sich anhand dieser Daten nicht herstellen. Was man jedoch ablesen kann, ist ein saisonaler Verlauf: Steinschlagereignisse treten relativ gleichmäßig über die Jahreszeiten verteilt auf, Murgänge und Hangrutschungen hingegen unter-

liegen einer jahreszeitlichen Dynamik mit mehr Ereignissen im Sommer und Frühherbst, ausgelöst durch die hohen Niederschläge und Temperaturen in diesen Jahreszeiten.

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Trotz mangelnder statistischer Evidenz besteht unter Wissenschaftlern aufgrund des theoretischen Prozessverständnisses zunehmend

GLETSCHERSEE-AUSBRÜCHE VOM 01. UND 4. AUGUST 2017 AM FANATJOCH IM PFOSSENTAL

Am 1. und 4. August 2017 kam es im Pfossental in der Texelgruppe zu zwei Murgangsereignissen, die vermutlich durch den Ausbruch eines Gletschersees am Fanatjoch ausgelöst wurden. Aufgrund von Schmelzprozessen am

Schalfferner-Gletscher hatte sich am Grat des Fanatjochs ein See gebildet (Foto), der durch Überlaufen wahrscheinlich die Muren auslöste. Die Ereignisse sorgten für eine Eintiefung des Bachbetts im Oberlauf, sowie eine beträchtliche Ablagerung von Murgangsmaterial im Unterlauf. Zudem wurde eine Fußgängerbrücke mitgerissen.



INDIKATOR: JAHRESZEITLICHER VERLAUF AUSGEWÄHLTER GEFAHRENPROZESSE IM VERGLEICH MIT DEM KLIMA-PARAMETER „ANZAHL DER TAGE MIT MEHR ALS 30 MM NIEDERSCHLAG“

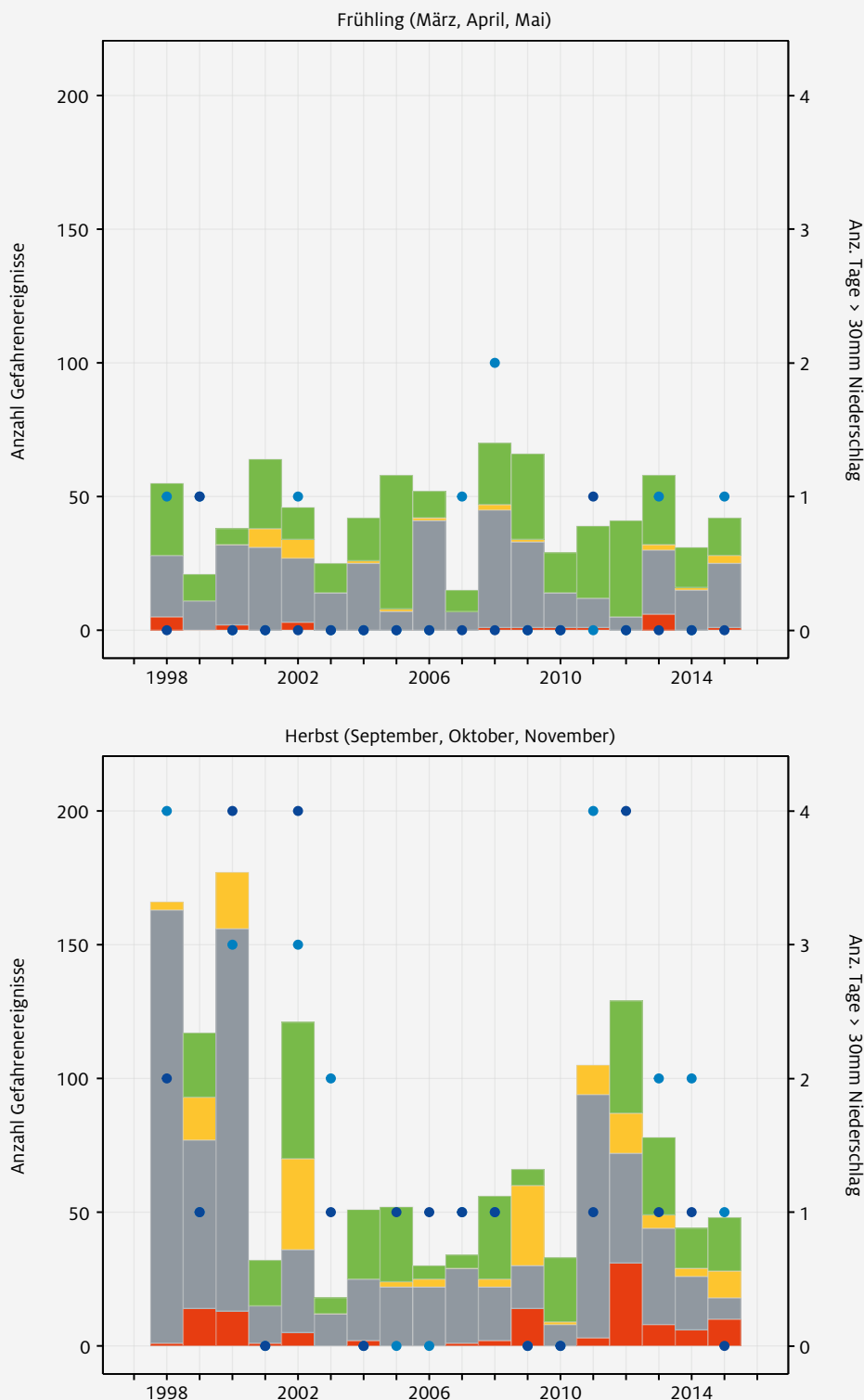
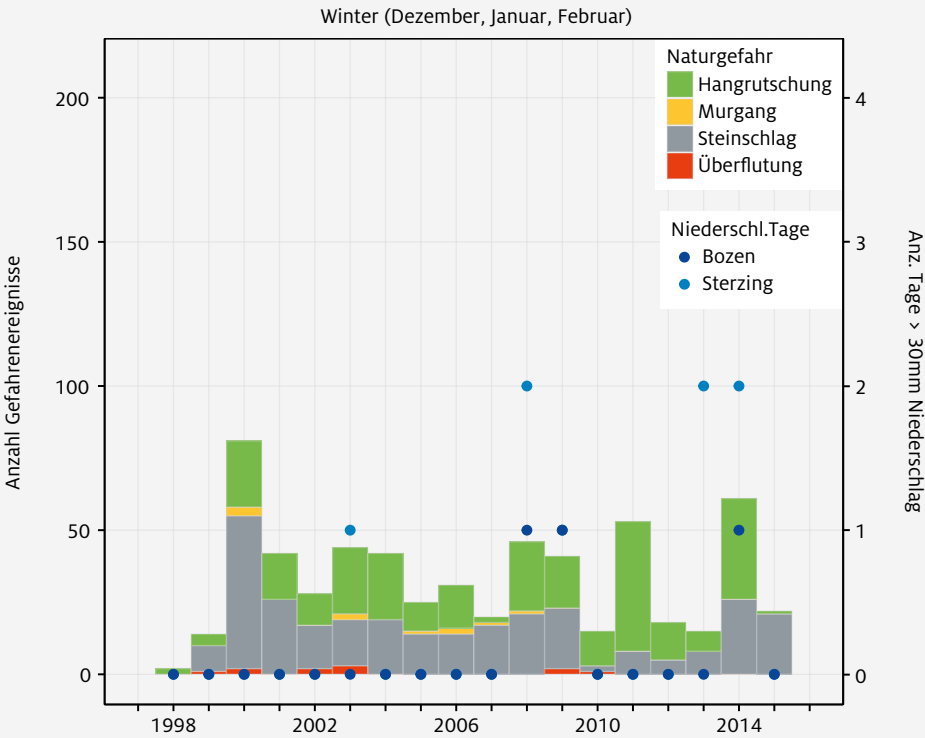
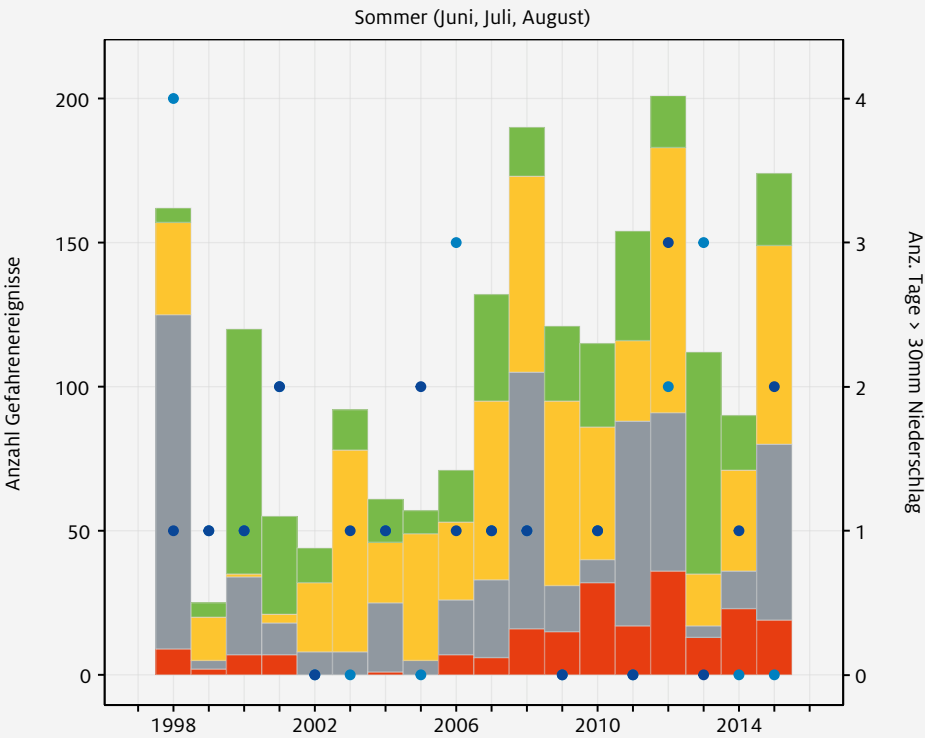


Abb. 26: Jahreszeitlicher Verlauf ausgewählter Gefahrenprozesse in Südtirol im Vergleich mit dem Klimaparameter „Anzahl der Tage mit mehr als 30 mm Niederschlag“ für die Stationen Bozen und Sterzing. Die Naturgefahren in der Abbildung wurden den Datenbanken IFFI (gravitative Massenbewegungen) und ED30 (Wassergefahren) entnommen (Daten: Hydrographisches Amt, Amt für Geologie und Baustoffkunde, Amt für Bevölkerungsschutz, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)



Einigkeit darüber, dass sich der Klimawandel in Zukunft verstärkt auf die Gefährdung durch Naturereignisse auswirken wird (6-10). Unterschiedliche Gefahrentypen müssen dabei differenziert betrachtet werden. Massenbewegungen und Wassergefahren treten meist als Folge von Wetterextremen auf. Klimamodelle können solche extremen Ereignisse jedoch kaum vorhersagen. Zudem ist noch sehr ungewiss, inwieweit der Klimawandel das Auftreten von Naturgefahren in niedrigen Gebirgsregionen beeinflusst. Nur durch kontinuierliches Messen und Dokumentieren von Gefahrenereignissen und Wettergeschehen werden wir künftig in der Lage sein, den Einfluss des Klimawandels auf Naturgefahren zu verstehen und eindeutig nachzuweisen.

In Bezug auf die Lawinentätigkeit kann aber aufgrund abnehmender Schneefallmengen in tiefen und mittleren Lagen mit einem Rückgang gerechnet werden. In höheren Lagen ist temperaturbedingt eine Verschiebung von Staub- zu Nasslawinen zu erwarten (1).

Waldbrände, zurzeit in Südtirol selten und von begrenzter Ausdehnung, können mit zunehmenden Trockenperioden sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten künftig zu einer größeren Gefahr werden.

Doch wie groß das Risiko von Schäden durch Naturgefahren in Südtirol ist, wird zumindest in den

nächsten Jahren weniger von den Naturgefahren selbst abhängen, als von der Siedlungsentwicklung in gefährdeten Gebieten (→ Siedlungen, S. 87).

ANPASSUNGSMASSNAHMEN

- ❑ **Gefahrenprävention schon bei der Raumplanung.** Der Gefahrenzonenplan berücksichtigt bisher nicht die Auswirkungen des Klimawandels – dies ist zu überdenken, soll der Plan ein wirkungsvolles Instrument werden, um die Prävention schon in die Raumplanung einfließen zu lassen. (→ Siedlungen, S. 87).
- ❑ **Bestmöglicher Schutz des Dauersiedlungsraums durch Kooperation aller beteiligten Behörden.** Wegen des zu erwartenden Permafrost- und Gletscherrückgangs wird es in Zukunft schwieriger sein, auch hochalpine Gebiete zu schützen; eine Konzentration auf den Dauersiedlungsraum ist deshalb sinnvoll.
- ❑ **Aufwertung von Risikokommunikation und Risikogovernance.** Beidem kommt zentrale Bedeutung zu, da die Bürger sich darauf einstellen müssen, dass ein Restrisiko in Bezug auf Naturgefahren unvermeidbar ist. Wie Risiken kommuniziert und gemanagt werden, beeinflusst auch die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Behörden und mit der Bevölkerung.



Januar 2014: Ein Steinschlag und Rutschung blockieren die Staatsstraße von Schluderns nach Taufers im Münstertal.

PERMAFROST

Als Permafrostgebiete werden Regionen bezeichnet, deren Boden- oder Felsmaterial während mindestens zwei aufeinanderfolgenden Jahren eine Temperatur von 0°C oder weniger aufweist. Aufgrund der steigenden Temperaturen wandert die Permafrostgrenze in den Alpen in höhere Lagen. Dies kann sich auf Sturzprozesse, Blockgletscher und den Sedimenttransport in angrenzende Regionen auswirken, ebenso auf die Wasserqualität und den Wasserhaushalt. Südtirol verfügt über ein gut ausgebautes Netzwerk zur Beobachtung von Permafrost, mit Stationen im Schnalstal, Suldental, Ultental, in Rein in Taufers, Prags und am Grödnertal. Parameter, die Aufschluss über die Entwicklung von Permafrost geben, sind z. B. die bodennahe Temperatur,

die Temperatur unter der Schneedecke oder die Temperatur von steilen Felswänden. Um noch weitere Einblicke in die Dynamik von Permafrost zu bekommen, wären außerdem mehr Tiefenmessungen der Temperatur nötig.

In Südtirol wurde und wird bereits intensiv zu dem Thema geforscht: Im Rahmen der Interreg-Projekte PermaNET und PERMAQUA wurde unter Beteiligung des Amtes für Geologie und Baustoffprüfung die Verbreitung von Permafrost kartiert sowie der Einfluss auf hydrogeologische Gefahren und den Wasserhaushalt untersucht (→ Abb. 27). Im Projekt „Alpsmotion“, geleitet von Eurac Research, werden Methoden weiterentwickelt, um periglaziale Zonen und insbesondere Blockgletscher mit Hilfe von Drohnen und Satelliten zu beobachten.

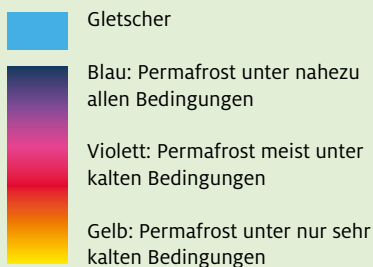
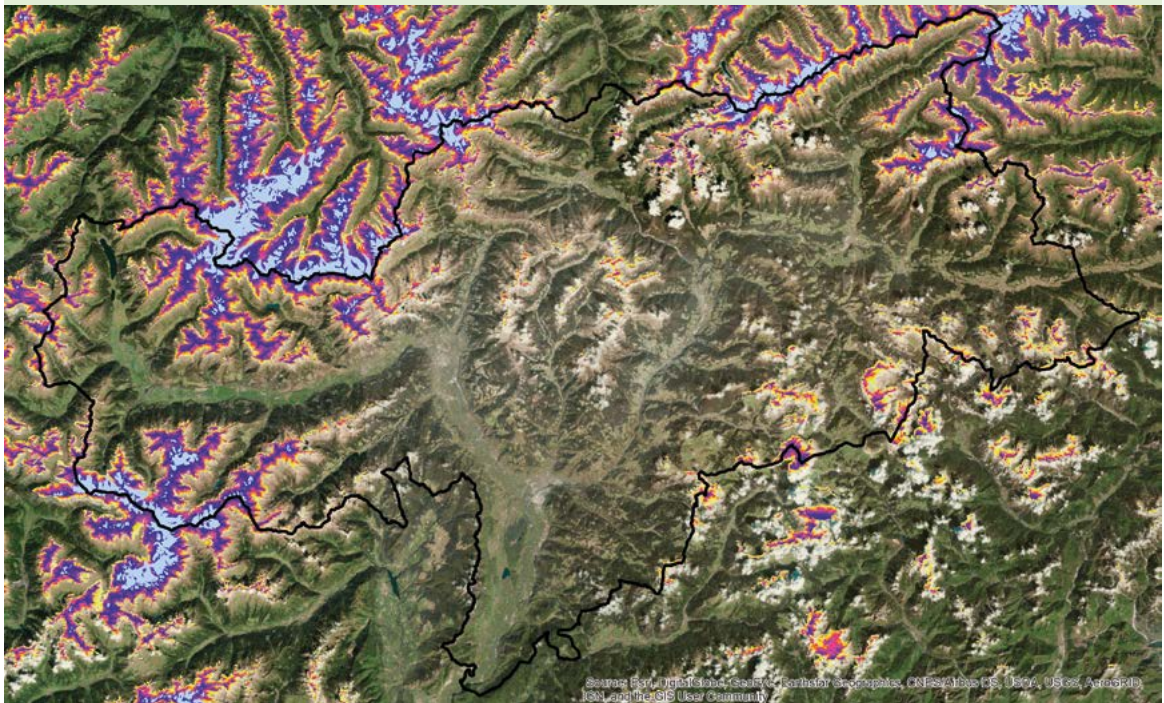


Abb. 27: Modellerte Verteilung von Permafrost in Südtirol (Quelle: Universität Zürich, PermaNET-Projekt)

DREI FRAGEN AN VOLKMAR MAIR, DIREKTOR DES AMTES FÜR GEOLOGIE UND BAUSTOFFPRÜFUNG DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN

Gibt es Ihrer Meinung nach einen Zusammen- hang zwischen dem Klimawandel und dem Auftreten von Naturgefahrenereignissen in Südtirol?

Es ist schwierig, einen direkten Zusammenhang zwischen sich verändernden klimatischen Parametern oder Wetterverhältnissen und Naturgefahrenprozessen herzustellen. Diese Prozesse werden von vielen unterschiedlichen Faktoren beeinflusst und hängen nur zum Teil vom Klima und Wetter ab. Im Allgemeinen gilt, dass vor allem extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge verschiedene Naturgefahren auslösen können. Eine Zunahme dieser Ereignisse durch den Klimawandel könnte dann auch entsprechende Auswirkungen haben. In den letzten Jahren haben wir beobachtet, dass vor allem die Kombination von hohen Temperaturen und hohem Niederschlag gefährliche Ereignisse auslöst, insbesondere in höheren Lagen.

Ist dieses Phänomen bereits mit Zahlen be- legbar?

Die Ereignisdatenbanken der Landesverwaltung sind sehr wichtig, um Veränderungen der Naturgefahren in Südtirol zu erkennen und besser zu verstehen. Allerdings werden diese Datenbanken erst seit 20 Jahren systematisch standardisiert und gepflegt. Dieser Zeitraum ist zu kurz, um statistisch signifikante Aussagen machen zu können. Wir haben aber in den letzten Jahren festgestellt, dass zumindest im Hochgebirge Ereignisse wie Sturzprozesse zunehmen. Wir werden daher daran arbeiten,

in Zukunft auch Geschehnisse weitab von bewohntem Gebiet verstärkt zu erfassen, z. B. mit der Hilfe von Bergführern, wie es in der Schweiz schon seit Jahren erfolgreich praktiziert wird.

Was würden Sie empfehlen in Hinsicht auf Naturgefahrenrisiken und die Anpassung an den Klimawandel?

Südtirol hat mit dem Gefahrenzonenplan ein exzellentes Werkzeug, um Naturgefahren einzuschätzen und die Grundlage für zukünftige Raumplanung zu schaffen. Ein wichtiger Punkt für zukünftige Maßnahmen ist sicherlich die Priorisierung der Gebiete und Werte, die es zu schützen gilt. Dazu zählen unter anderem auch primäre Versorgungslinien und Verkehrswege. Es ist jedoch unrealistisch, alle gefährdeten Gebiete zu beobachten, oder in abgelegenen Hochgebirgsregionen, die nur einige wenige Wander- oder Kletterrouten aufweisen, einen generellen Schutz vor Steinschlag zu gewährleisten.

Zuletzt wäre es mir wichtig, den Klimawandel nicht nur als negatives Phänomen wahrzunehmen, sondern auch als Chance, um positive Veränderungen einzuführen oder voranzubringen.



Literatur

1. APCC (Austrian Panel on Climate Change) (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Wien, Österreich: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2014, <http://hw.oeaw.ac.at/7699-2>
2. Knight, J., Keiler, M., Harrison, S. (2012): Impacts of recent and future climate change on natural hazards in the European Alps. In: Climate forcing of geological hazards. Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Blackwell, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118482698.ch10/pdf>
3. Stoffel, M., Tiranti, D., Huggel, C. (2014): Climate change impacts on mass movements — Case studies from the European Alps. *Science of The Total Environment*, 493, S. 1255–1266, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971400285X#>
4. Crozier, M. J. (2010): Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, 124(3–4), S. 260–267, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X10001881#>
5. Gariano, S. L. und Guzzetti, F. (2016): Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, S. 227–252, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825216302458#>
6. Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J. und Stoffel, M. (2014): 21st century climate change in the European Alps—A review. *Science of The Total Environment*, 493, S. 1138–1151, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713008188#>
7. Gruber, S., Hoelzle, M., Haeberli, W. (2004): Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters*, 31(13), <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004GL020051/full>
8. Huggel, C., Clague, J. J., Korup, O. (2012): Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains? *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(1), S. 77–91, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.2223/epdf>
9. Pollinger, R., Mair, V., Profanter, P. (2016): Report Naturgefahren 2016 - Abschlussbericht der Ereignisdokumentation. Bozen/Bolzano: Autonome Provinz Bozen - Südtirol, http://www.provincia.bz.it/sicurezza-protezione-civile/bacini-montani/downloads/Report_Naturgefahren_2016.pdf
10. Stoffel, M. und Huggel, C. (2012): Effects of climate change on mass movements in mountain environments. *Progress in Physical Geography*, 36(3), S. 421–439, <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0309133312441010>

Ökosystemleistungen

LUKAS EGARTER VIGL, ULRIKE TAPPEINER



Die Menschen pflegen zur Natur oft eine sehr einseitige Beziehung: Ohne zu zögern, nehmen sie sich, was sie brauchen. Die Ökosysteme haben dabei ihre Leistungen nie in Rechnung gestellt, obwohl sie zum Beispiel bei der Klimaregulierung eine Schlüsselrolle spielen, die Auswirkungen des Klimawandels mildern und uns bei der Anpassung helfen. Ein Großteil der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen wird derzeit von Ökosystemen absorbiert (→ Wald als Kohlenstoffsенke, S. 35). Seit Jahrhunderten beeinflussen Veränderungen in Gesellschaft und Natur sich gegenseitig. Um den Wandel zu verstehen und umsichtig darauf zu reagieren, kann man in **sozio-ökologischen Systemen** denken. Dieser Ansatz sieht das System Gesellschaft (die Nachfrage) und das System Umwelt (das Angebot) im Zusammenhang; um die Wechselwirkungen zwischen beiden zu bewerten, analysieren Wissenschaftler die Ökosystemleistungen: die materiellen und immateriellen Güter, durch die die Natur uns ein besseres Leben ermöglicht.

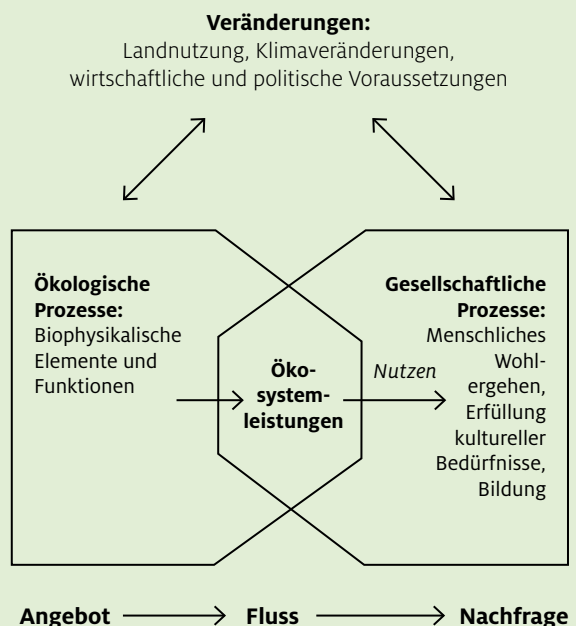
Im Jahr 2005 teilten die Experten der Vereinten Nationen im Rahmen des Projekts „Millennium Ecosystem Assessment“ die Ökosystemleistungen in vier Kategorien ein:

- Bereitstellende Dienstleistungen wie Nahrung, Wasser, Rohstoffe im Allgemeinen;
- Regulierende Dienstleistungen wie die Bindung von Kohlendioxid, Schutz vor Naturgefahren, Bestäubung;
- Kulturelle Dienstleistungen, etwa die Schönheit einer Landschaft, die man genießen kann, oder die Möglichkeit, sich in der Natur zu entspannen und zu erholen;
- Unterstützende Dienstleistungen, die die Basis für alle anderen Dienstleistungen darstellen, etwa die Bodenbildung, der Nährstoffkreislauf und die Erhaltung der genetischen Vielfalt.

Im Jahr 2010 verpflichteten sich die Mitgliedsstaaten im Rahmen der *EU-Biodiversitätsstrategie bis 2020* (Aktion 5), den Zustand der Ökosysteme und der entsprechenden Ökosystemleistungen zu beschreiben und zu bewerten. Als Grundlage dient die durch die Europäische Umweltagentur entwickelte Klassifikation „Common International Classification of Ecosystem Services“ (CICES).

In diesem Bericht gehen wir näher auf einige Ökosystemleistungen ein, die wir als wichtig erachten, um die Auswirkungen des Klimawandels in Südtirol zu bewerten und Anpassungsstrategien zu entwickeln: Wasser (→ S. 68), landwirtschaftliche Produktion (→ S. 73), Biomasse (→ S. 78), Dienstleistungen im Tourismus- und Freizeitbereich (→ S. 90) und Schutz vor Naturgefahren (→ S. 58).

Für eine umfassende, detaillierte Bewertung müssen wir die endgültigen Ergebnisse (Ende 2018) des von Eurac Research koordinierten europäischen Projekts AlpES abwarten (www.alpeswebgis.edu): In dieser Studie beschreiben und beobachten wir gemeinsam mit unseren Partnern die Ökosystemleistungen in den Alpen; für neun Pilotgebiete, darunter Südtirol, bewerten wir acht Dienstleistungen genauer. Dabei geht es darum, auf übermäßige Ausbeutung natürlicher Ressourcen, aber auch auf nicht ausgeschöpfte Potenziale aufmerksam zu machen, und so ein hilfreiches Werkzeug für die nachhaltige Bewirtschaftung des Alpenraums bereit zu stellen. Die Ergebnisse werden in einem interaktiven Web-GIS dargestellt und einem breiten Publikum zugänglich gemacht.





Auswirkungen auf die Gesellschaft

**STEFAN SCHNEIDERBAUER
GIACOMO BERTOLDI
THOMAS STREIFENEDER
GEORG NIEDRIST
CHRISTIAN HOFFMANN
NIKOLAUS OBOJES
HELENA GÖTSCH
STEFANO MINERBI
GÜNTHER UNTERTHINER
PETER LANER
KATHRIN RENNER
MARIACHIARA ALBERTON
ISIDORO DE BORTOLI
ANNA SCUTTARI
FEDERICO CAVALLARO**

4

Wasser- management

GIACOMO BERTOLDI



AUSGANGSLAGE

Gesetzliche Grundlage für das Wassermanagement in Südtirol ist auf Provinzebene der „Gesamtplan für die Nutzung der öffentlichen Gewässer“ (1), dem der hydrogeologische Risikoplan und der Gewässerschutzplan (2) untergeordnet sind. Diese Pläne legen auch Handlungsgrundsätze für Notfallsituationen fest.

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Die sich abzeichnenden Klimafolgen, wie z. B. die Verschiebung der Abflüsse (→ Wasser, S. 43), überlagern sich mit wirtschaftlichen und sozialen Veränderungen.

- Die immer intensivere Landwirtschaft auch in höheren Lagen benötigt mehr Bewässerung.
- Die Skigebiete verbrauchen immer mehr Wasser für die Produktion von Kunstschnee.
- Die Liberalisierung des Energiemarktes hat dazu geführt, dass das Management der Wasserkraftwerke zunehmend von der Marktdynamik bestimmt wird (kurzfristige Strategie) und weniger von der Klimadynamik.
- Während in den 1950er Jahren große Wasserkraftanlagen gebaut wurden, fördert die Energiepolitik zu Beginn des 21. Jahrhunderts die Errichtung vieler kleiner Wasserkraftwerke.

Die wachsenden Nutzungsansprüche führten teilweise bereits zu Reibungen, obwohl Südtirol im Vergleich zu anderen Gebieten nicht besonders unter Wasserknappheit leidet.

Wie Ernesto Scarperi, Direktor des Amtes für Gewässerschutz, in einem persönlichen Gespräch unterstrich, traten die kritischsten Situationen in den letzten Jahren bei Trockenperioden im Frühjahr auf. In den Jahren 2016 und 2017 etwa begann die Vegetationsperiode nach niederschlagsarmen Wintern verfrüht, es war daher schon im April Bewässerung nötig, als die Flüsse und Bäche noch wenig Wasser führten. Darüber hinaus werden im April große Mengen Wasser für die Frostschutzsysteme gebraucht. Die Landwirte drängten daher darauf, mehr Wasser als die zugewiesenen Mengen zu erhalten, und in einigen Fällen handelten sie schließlich auf eigene Initiative. Im April 2017 waren einige Gewässer wie der Schlanderserbach

DIE PLÄNE DER PROVINZ IN 7 PUNKTEN

1. Eine Gesamtvision jedes Einzugsgebiets, wobei gilt, dass Nutzer in höher gelegenen Regionen jenen im Tal gegenüber verantwortlich sind;
2. Frühwarnsysteme der Agentur für Bevölkerungsschutz im Falle extremer Naturereignisse;
3. Ausrufung des Wassernotstands in kritischen Situationen. Dieser fordert nach Artikel 12 des Landesgesetzes Nr. 7 vom 30.9.2005 die Koordinierung zwischen der Landesagentur für Umwelt, den Ämtern für Gewässernutzung, Landwirtschaft, Jagd und Fischerei sowie Gewässerschutz, und einem Vertreter der betroffenen Gemeinden.
4. Enge Zusammenarbeit mit allen an der Verwaltung der Etsch beteiligten Institutionen außerhalb der Provinz, z. B. mit der Autorità di bacino (für das Einzugsgebiet verantwortliche Behörde) und der ständigen Beobachtungsstelle für die Wasserressourcen in den Ostalpen;

5. Festgesetzte Prioritäten beim Management von Stauseen mit Mischnutzung: Im Falle von Trockenheit geht Trinkwasser vor Bewässerung, Bewässerung vor Wasserkraft; bei Hochwasser hat der Zivilschutz Priorität;
6. Ein Förderprogramm zur effizienten Wassernutzung (bereits aktiv);
7. Eine auf 2 Liter pro Sekunde pro km² festgelegte Mindestrestwassermenge in Fließgewässern, um die ökologischen Funktionen aufrecht zu erhalten.



Diese Prinzipien beschreiben zugleich mögliche Anpassungsmaßnahmen an kritische Situationen in Folge der klimatischen Veränderungen. Der Aspekt Klimawandel fehlt aber in der aktuellen Gesetzgebung fast völlig.

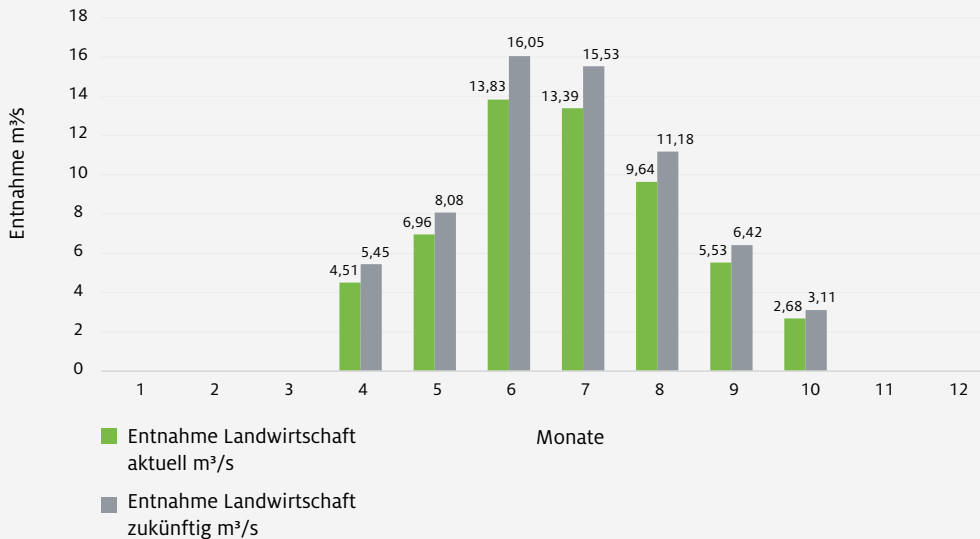
INDIKATOR: AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE WASSERENTNAHME DER LANDWIRTSCHAFT (ETSCH, PEGEL BRANZOLL)


Abb. 28: Monatliche Wasserentnahmen für die Landwirtschaft in der Provinz Bozen, bezogen auf das Einzugsgebiet der Etsch. Angegeben werden die aktuellen Wasserentnahmen sowie die von der Provinzverwaltung für die nächsten 30 Jahre vorhergesehenen. (Daten: Gesamtplan für die Nutzung der öffentlichen Gewässer der Autonomen Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

im Vinschgau oder der Schalderer Bach im Eisacktal bei Frostnotstand nahezu ausgetrocknet. Generell haben die Anträge auf Bewässerung in den letzten Jahren zugenommen. **Aufgrund der Marktnachfrage und des günstigeren Klimas haben die Obstbauern ihre Kulturen auf neue, höher gelegene Flächen ausgedehnt und diese neuen Anbaugelände brauchen Bewässerung.** Da in den Bergtälern aber auch Frostrisiko besteht, werden gleichzeitig größere Wassermengen für Frostschutzsysteme benötigt. Darüber hinaus sind Intensivkulturen durch flache Wurzeln gekennzeichnet und deshalb im Vergleich zum traditionellen Anbau anfälliger für Trockenheit. Was die künstliche Beschneidung betrifft, so führten Wasserentnahmen bei winterlichem Niedrigwasser manchmal zu Konflikten; heute ist dieses Problem an den meisten Orten gelöst, da man auf Staubecken zurückgreift. Das System der Wasserkraftwerke sollte sich im Allgemeinen gut auf Notfallsituationen einstellen können, da es schon jetzt in der Lage ist, schnell

auf Marktanforderungen zu reagieren. Ein Beispiel dafür war der April 2017, als an einem Wochenende große Wassermengen aus den Staubecken abgelassen wurden, um sie der Etsch zuzuführen. Dadurch wurde die Trinkwasserversorgung in 24 Gemeinden der Provinz Rovigo garantiert und das Eindringen von Salzwasser im Gebiet der Polesine aufgehalten. Maßnahmen dieser Art sind jedoch mit hohen Kosten verbunden und können daher nur im Notfall ergriffen werden. Ebenfalls in einer Notfallsituation wurde am 2. August 2017 durch ein Dekret des Landeshauptmanns in der ganzen Provinz verboten, während des Tages mit Oberkronenbewässerung zu beregnen, um so die Verluste durch Evapotranspiration zu begrenzen.

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

In Zukunft wird das Wassermanagement immer schwierigere Verhandlungen verlangen, denn zum

WASSERKRAFT

INTERVIEW MIT MAURIZIO RIGHETTI, PROFESSOR FÜR WASSERBAU AN DER FREIEN UNIVERSITÄT BOZEN.

In Zusammenarbeit mit lokalen Betreibern führt die Universität Bozen Studien durch, unter anderem im Projekt Optimum, um die Funktion der Wasserkraftanlagen in Südtirol zu optimieren.

Werden die Auswirkungen des Klimawandels von den Betreibern der Wasserkraftwerke bereits wahrgenommen?

Seit den 1990er Jahren erscheinen Fachartikel zu diesem Thema. Einige Probleme sind bereits deutlich sichtbar und auch den Betreibern der Wasserkraftwerke bewusst. Auf der einen Seite führt der Temperaturanstieg zu einem allmählichen Schmelzen der Gletscher, wobei sehr feine Sedimente freigesetzt und flussabwärts getragen werden: Dadurch versanden die Stauseen nach und nach, was die Produktionskapazität der Anlagen reduziert; der sehr feine Sand im Wasser erhöht darüber hinaus den Abrieb an den Turbinen. Auf der anderen Seite verteilen sich die Niederschläge anders über das Jahr, was den Wettbewerb zwischen den Nutzern der Wasserressourcen verschärfen könnte. Die Stauseen haben hier auch eine oft übersehene positive Wirkung, da sie es erlauben, Wasserressourcen zu speichern und im Lauf des Jahres je nach Bedarf freizugeben.

Was wird getan, um der wachsenden Konfliktgefahr zu begegnen?

Da es bereits koordinierende Stellen gibt und die Stauseen ja seit jeher eine positive Pufferfunktion bei außerordentlichen Wetterereignissen ausüben, ist es meiner Meinung nach am wichtigsten, die Vorbereitung auf Krisensituationen zu verbessern. Indem wir die Widerstandsfähigkeit unserer Region und ihrer Wasserinfrastruktur verbessern, können wir dazu beitragen, die negativen Auswirkungen des Klimawandels abzumildern. Dazu gehört auch, die Veränderungen genau zu beobachten und Zukunftsszenarien zu entwerfen – nur so kann man die Bewirtschaftung der Wasservorräte mittel- und langfristig planen. Ich halte es für wichtig, das Vorgehen frühzeitig zu planen, wie es beispielsweise in Südtirol geschieht, und nicht im Notfall mit teuren Maßnahmen einzugreifen, die sich oft als nicht besonders wirkungsvoll erweisen. Wenn wir heute lernen, mit Naturkatastrophen klug und vorausschauend umzugehen, werden wir in Zukunft gegenüber

den Auswirkungen des Klimawandels allgemein widerstandsfähiger sein.

Welche Anpassungsmöglichkeiten sehen Sie aus technischer Sicht?

Die Wasserkraft ist eine fundamentale Ressource und viel beständiger als andere erneuerbare Energien. In Südtirol haben wir große Wasserkraftwerke geerbt, die wir mit Sorgfalt und Respekt für die Umwelt bewahren sollten. Im Übrigen könnte die Zukunft den Pumpspeicherkraftwerken gehören. In Portugal zum Beispiel gibt es ein Kraftwerk, bei dem das Wasser unter Ausnutzung von Windenergie in das höher gelegene Staubecken zurückgepumpt wird. Das bringt viele Vorteile. Der wichtigste ist, dass diese Kraftwerke nicht mehr Wasser verwenden, als anfangs im Volumen des Staubeckens enthalten ist. Vorstellbar ist auch, bestehende Anlagen in dieser Weise umzuwandeln, statt neue Becken zu bauen.

Was halten Sie von Mini-Wasserkraftwerken?

Ganz allgemein glaube ich nicht, dass die in den letzten Jahrzehnten errichteten Mini- und Mikro-Wasserkraftwerke strategischen Wert haben. Es handelt sich um kleine Anlagen, die alle zusammengenommen sehr viel weniger Energie produzieren als einige wenige große Kraftwerke. Kombiniert mit anderen erneuerbaren Energiequellen können sie auf lokaler Ebene aber eine effiziente Lösung zur dezentralen Energieerzeugung darstellen.

*Pumpspeicherkraftwerke. Die Anlage besteht aus zwei miteinander verbundenen Staubecken auf verschiedenen Höhen. Das Wasser, mit dem in den Turbinen elektrische Energie erzeugt wurde, wird in Zeiten geringerer Nachfrage in das höher gelegene Becken zurückgepumpt und der Zyklus beginnt erneut. In Südtirol gibt es so eine Anlage im Ultental, zwischen dem Arzkarsee und dem Weißbrunnsee. Solche Kraftwerke sind nur dann nachhaltig, wenn sie zum Rückpumpen des Wassers erneuerbare Energien nutzen. Oft wird aber Strom eingesetzt, der mit fossilen Brennstoffen oder durch Kernkraft erzeugt wurde. Laufwasserkraftwerke wie das in Kardaun nutzen hingegen die kinetische Energie des Wassers aus, die durch das natürliche Gefälle noch erhöht ist. Speicherkraftwerke wie jenes in Glurns arbeiten mit Rohrleitungen, die von einem höher gelegenen Staudamm ausgehen.





Beim Wassermanagement lautet das Motto für die Zukunft: Sparen! Tropfenbewässerung ist Oberkronenbewässerung vorzuziehen. Konzessionen sollten auf der Grundlage des tatsächlichen Bedarfs zugeteilt werden.

einen wird weniger Wasser zur Verfügung stehen (→ Wasser, S. 43), zum anderen wird die Nachfrage steigen. Bestehende Konflikte werden sich verschärfen und neue werden wahrscheinlich, vor allem in tieferen Lagen und im Sommer, wenn häufigere Trockenzeiten und längere Vegetationsperioden die Nachfrage nach Bewässerung verstärken.

Die Auswirkungen auf die Abflüsse der Gewässer werden auch im Bereich Wasserkraft immer spürbarer werden. Neuere Studien (3) zum Einzugsgebiet der Etsch legen nahe, dass die stärksten Aus-

wirkungen bei den höher gelegenen Wasserkraftwerken zu erwarten sind. Allerdings könnte die vorhergesehene Zunahme der Winterabflüsse auch positive Auswirkungen auf die Energieerzeugung durch Wasserkraft haben (→ Wasserkraft, S. 70).

BEWIRTSCHAFTUNGS- UND ANPASSUNGSMASSNAHMEN

Das Motto für die Zukunft muss „Einsparung“ lauten: Am besten passt man sich dem Wandel an, indem man weniger verbraucht.

Um Konflikte zu lösen, gilt es zudem, das gesamte System vom Berg bis ins Tal im Blick zu haben, wie Thomas Senoner, Direktor des Amts für Gewässernutzung, in einem Gespräch unterstrich. Es ist wichtig, den Verbrauch auch in jenen Gebieten zu reduzieren (etwa in größeren Höhenlagen), die derzeit nicht vom Wassermangel betroffen sind, um so langfristig genügend Wasserressourcen auch in tiefer gelegenen Gebieten garantieren zu können.

- Der steigende Bewässerungsbedarf kann zum größten Teil durch **effizientere Bewässerungssysteme** kompensiert werden, etwa indem man mehr Tröpfchenbewässerung und genauere Zeitprogrammierungen einsetzt, Wasserverluste in den Anlagen reduziert, oder in den wärmsten Stunden des Tages auf Bewässerung verzichtet, um die Evapotranspiration einzudämmen; auch präzisere landwirtschaftliche Verfahren können einen wichtigen Beitrag leisten, etwa Systeme zur Überwachung der Bodenfeuchte, die es erlauben, nur jene Pflanzen zu bewässern, die tatsächlich Wasser brauchen.
- Derzeit verfügen viele Landwirte über eine eigene „Wasserkonzession“, d. h. eine behördliche

Genehmigung, Wasser für die Bewässerung abzuleiten; um die Ressourcen besser zu nutzen und größere Investitionen in hocheffiziente Bewässerungssysteme zu ermöglichen, sollte die **Organisation in Konsortien** gefördert werden.

- Die veränderten saisonalen Schwankungen könnten es erforderlich machen, derzeit gültige **Kriterien beim Staubeckenmanagement** zu revidieren.
- Zusätzlich zu den **Staubecken** für Kunstschneeanlagen sollten in einigen Fällen auch solche **für Bewässerungszwecke** gebaut werden, damit bei Trockenheit mehr Reserven zur Verfügung stehen. Jedoch muss in diesen Fällen die Lage der Becken gut geplant und die Umweltverträglichkeit geprüft werden.
- Bei künftigen Wasserbauwerken ist es notwendig, **höhere Sicherheitsfaktoren** und **kürzere Wiederkehrzeiten für Extremereignisse vorzusehen**.
- **Bei der Erneuerung von Konzessionen**, vor allem für Wasserkraftwerke, **müssen die Veränderungen durch den Klimawandel und die Gletscherschmelze berücksichtigt werden**, wie dies in einigen stark vom Gletscherzufluss abhängigen Einzugsgebieten schon geschieht (etwa am Zufrittsee im Martelltal).

Literatur

1. Durchführungsbestimmungen zum Gesamtplan für die Nutzung der öffentlichen Gewässer (WNP) der Autonomen Provinz Bozen, verabschiedet mit dem Dekret des Präsidenten der Republik vom 22. Juni 2017.
2. <http://ambiente.provincia.bz.it/acqua/piano-tutela-acque.asp> (Letzter Zugang: Februar 2018)
3. Majone, B., Villa, F., Deidda, R., & Bellin, A. (2016): Impact of climate change and water use policies on hydropower potential in the south-eastern Alpine region, *Science of The Total Environment*, 543, S. 965–980, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971530067X>

Landwirtschaft

GEORG NIEDRIST, THOMAS STREIFENER



AUSGANGSLAGE

Drei Produktionstypen charakterisieren den Südtiroler Landwirtschaftssektor: Grünland- bzw. Milchwirtschaft, Obstbau und Weinbau. Laut Agrarbericht 2016 nehmen Dauerwiesen und Weiden eine Fläche von 212.000ha ein, Obstanbau wird auf 18.500ha betrieben und Weinbau auf 5400ha. Über 70% der landwirtschaftlichen Betriebe werden im Nebenerwerb bewirtschaftet. Die Landwirtschaft beschäftigt 5,5% der Erwerbstätigen und erwirtschaftet 4,8% der Wertschöpfung (1). Beide Werte liegen über dem internationalen Durchschnitt: In der EU macht der Anteil der Landwirtschaft an den Erwerbstätigen 5,1% aus, an der Bruttowertschöpfung weniger als 3% (2). Trotz sehr kleiner

betrieblicher Strukturen steht Südtirols Agrarsektor im internationalen und alpenweiten Vergleich sehr gut da. In Südtirol werden deutlich weniger Betriebe aufgegeben als im restlichen Italien und in den meisten Alpengebieten (10). Dies ist u.a. auf das weit verbreitete Genossenschaftswesen zurückzuführen.

Die inneralpine Lage bedeutet, dass Südtirol von größeren Niederschlagsmengen aus dem Norden und Süden abgeschirmt ist, die Landwirtschaft deshalb vor allem im Süden und Westen des Landes auf zusätzliche Bewässerung angewiesen ist. Der Wasserbedarf der Südtiroler Landwirtschaft beträgt ca. 150 Millionen Kubikmeter im Jahr. Von den derzeit 8000 Beregnungsanlagen werden rund 80% aus Tiefbrunnen gespeist (4); 60% der Anlagen entfallen auf den Obstbau, 10% auf den Weinbau und 30% auf das Grünland (3). Angesichts dieser Bewässerungsinfrastruktur kann von einer gewissen Robustheit gegenüber höheren Verdunstungsraten und längeren Trockenphasen ausgegangen werden.

Unter den Landwirten hat die Sensibilität bzgl. des Klimawandels deutlich zugenommen und es besteht solides Grundwissen über die Folgen von Hitze und Dürre. Auch in der Verwaltung und den landwirtschaftlichen Forschungseinrichtungen fehlt es nicht an Fachwissen, sondern allenfalls an der Umsetzung in die Praxis (→ Maßnahmen, S. 76).

Wärmere Bedingungen ermöglichen den Anbau neuer, wasserintensiver Kulturen, wo bisher nur Grünlandwirtschaft möglich war. Erdbeerfelder im Matschertal



INDIKATOR: BLÜHBEGINN DES APFELBAUMES

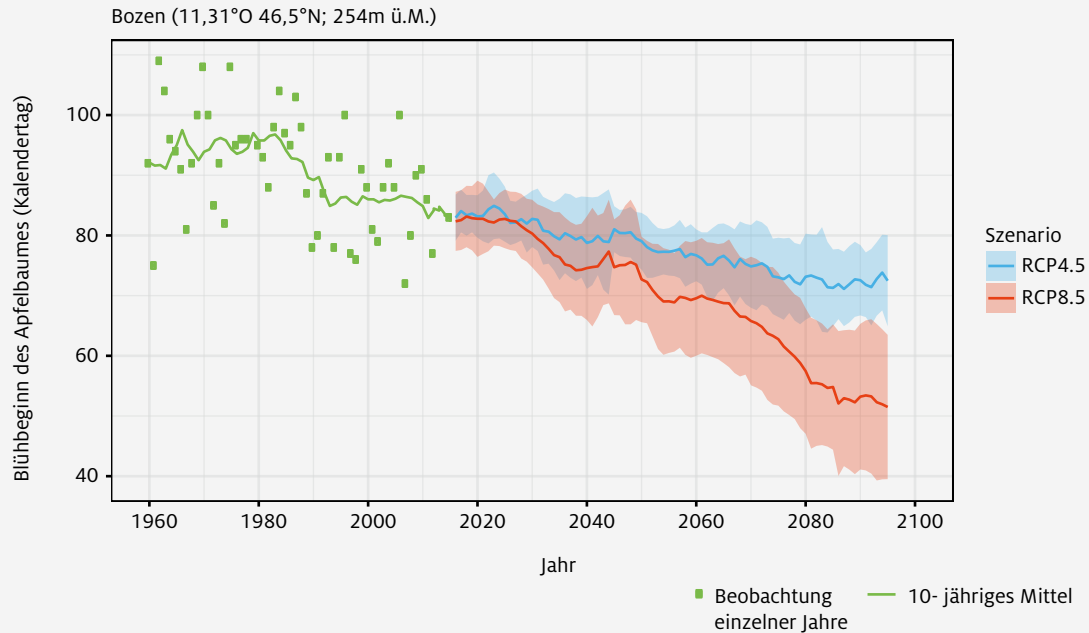


Abb. 29: Errechneter Blühbeginn des Apfelbaums in Bozen seit 1960. Die Berechnung basiert auf Temperatursummen nach Chmielewsky et al. (9). Der errechnete Blühbeginn liegt etwas früher als der tatsächlich beobachtete (5), interannuelle Schwankungen und Trend stimmen aber sehr gut überein. (Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Die direkt für die Landwirtschaft relevanten Klimaindikatoren betreffen die Temperatur, die Anzahl der Sonnenstunden sowie die Niederschläge. Die Durchschnittstemperaturen sind in den letzten vier Jahrzehnten angestiegen, insbesondere im Frühjahr und Sommer (→ Klimawandel, S. 21); **die Apfelblüte hat sich deshalb rund zwei Wochen nach vorne verschoben** (→ Abb. 1) (5). Wichtig in diesem Zusammenhang sind die steigenden Nachttemperaturen. Im Obstbau nimmt dadurch die Fruchtgröße zu, während gleichzeitig Fruchtfestigkeit und Lagerfähigkeit abnehmen. Die Sonnenstunden haben von 1975-2009 um bis zu 20% zugenommen, im Zeitraum 1995-2005 um 25%; dies führt zu Fruchtschäden (Sonnenbrand), die jedoch teilweise durch Hagelnetze abgemildert werden können (5). Sowohl im Obstbau als auch im Weinbau werden immer mehr Flächen durch Hagelnetze geschützt, obwohl die jährlichen Schätzungen des Hagelschutzkonsortiums für den Zeitraum 1981-2017 keine signifikante Zunahme

der vom Hagel betroffenen Fläche erkennen lassen (→ Abb. 30). Es wird aber davon ausgegangen, dass Hagelereignisse mit den steigenden Temperaturen intensiver werden.

Die zunehmend milderen Winter verringern die Mortalität von Schadinsekten (→ Interview Alberta Stenico, S. 102), zudem können durch die höheren Temperaturen im Frühjahr und Sommer zusätzliche Schädlingsgenerationen heranwachsen. Bei genügend Feuchtigkeit verbessern sich auch die Wachstumsbedingungen für Schadpilze wie Alternaria oder Schorf. Grundsätzlich werden die meisten einheimischen Kulturpflanzen durch große Hitze geschwächt und damit anfälliger für Schädlinge.

Auch im Weinbau wirkt sich die Klimaveränderung auf den Vegetationsverlauf, die Traubenqualität und das Auftreten von Schädlingen aus. **Seit den 1990er Jahren ist festzustellen, dass die Reben zwei bis drei Wochen früher blühen** und somit auch die Weinlese entsprechend früher beginnt. 2003 und

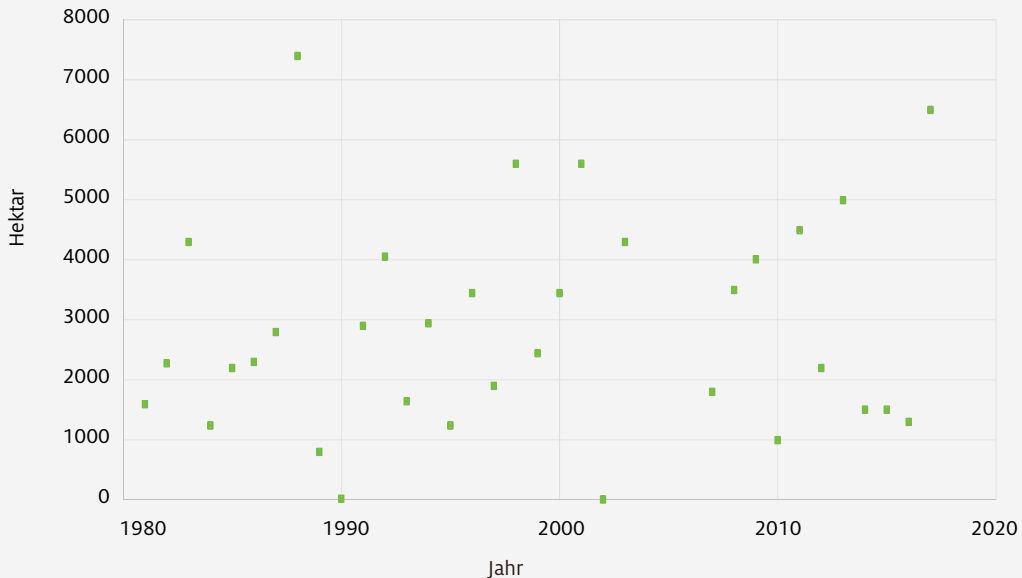
INDIKATOR: VON HAGEL BETROFFENE FLÄCHE IM OBST- UND WEINBAU


Abb. 30: Schätzungen der vom Hagel betroffenen Fläche im Obst- und Weinbau lassen statistisch keine signifikante Zunahme erkennen; die verfügbaren Daten sagen allerdings nichts über die Schwere der Schäden aus. (Daten: Hagelschutzkonsortium Südtirol. Darstellung: Eurac Research)

2011 wurde sogar einen Monat früher geerntet. Die Zuckergradation ist um durchschnittlich 4° angestiegen, gleichzeitig nahm der Säuregehalt um 2-4° ab. Laut Experten der Laimburg sind höhere Temperaturen auch für die Aromabildung problematisch, speziell bei Weißweinsorten in tieferen Lagen, aber auch bei alternativen Kulturen wie Erdbeeren. Im Weinbau nimmt ähnlich wie im Obstbau der Schadendruck durch Kirschessigfliege, Grauschimmel (*Botrytis*), Echten und Falschen Mehltau (*Oidium*, *Peronospora*) tendenziell zu und dehnt sich gleichzeitig zeitlich auf das Frühjahr aus.

Sowohl im Obst- als auch im Weinbau findet bereits eine Verlagerung von Anbaugebieten in höhere Lagen statt. Mittlerweile reicht der gewerbsmäßige Apfelanbau bis ca. 1000m, der Weinbau ist in Gunstlagen bereits auf 1200m angekommen. Diese Entwicklung ist allerdings mit neuen, auch sozialen Herausforderungen verbunden, wie die aktuelle Debatte im Raum Mals zeigt, wo Bürger sich seit Jahren gegen das Vordringen des pestizidintensiven Obstanbaus wehren.

In der Grünlandwirtschaft sind als Folge steigender Temperaturen und längerer Vegetationsperioden in höheren Lagen Vorteile für die Produktion zu beobachten – eine Temperaturzunahme von 3°C kann einen Produktionszuwachs von über 50% bewirken; in tieferen Lagen heben die höhere Verdunstung und die damit einhergehende Trockenheit temperaturbedingte Vorteile größtenteils wieder auf (6).

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Im Obst- und Weinbau wird es in tiefen Lagen (Unterland, Raum zw. Bozen und Meran) aufgrund größerer Hitze zunehmend schwierig, eine hohe Fruchtqualität zu gewährleisten, was die Umstellung auf andere Kulturpflanzen zur Folge haben kann. Steigende Versicherungsprämien werden den Trend zu Hagelschutznetzen im Obst- und zunehmend auch im Weinbau verstärken. Verfrühtes Austreiben macht Kulturen grundsätzlich

anfälliger für Spätfröste; da Kaltlufteinbrüche aber seltener werden, kann man davon ausgehen, dass die Spätfrostgefahr zumindest in Lagen unter 800m nicht zunehmen wird (7). Schätzungen der Frostschäden im Zeitraum zwischen 1950-2017 lassen ebenfalls keinen zeitlichen Trend erkennen (8). Da weniger Wasser zur Verfügung stehen wird und sich die Verdunstung erhöht, bekommt eine angepasste und gezielte Bewässerung immer größere Bedeutung. Das Schadpotential durch Insekten und Pilzkrankheiten wird weiter zunehmen. Aufgrund der wärmeren Bedingungen und des globalen Warenverkehrs ist außerdem mit der Einwanderung von neuen Schadorganismen zu rechnen. In der Grünlandwirtschaft beeinflussen hohe Temperaturen und Trockenperioden sowohl die Futterquantität als auch die Futterqualität.

Dies wird sich vor allem dort bemerkbar machen, wo bislang keine Bewässerung notwendig war (Raum Pustertal, generell höhere Lagen).

MASSNAHMEN ZU KLIMASCHUTZ UND -ANPASSUNG

- **Einsparung von Emissionen.** Zum einen durch verstärkte Entwicklung von elektrisch betriebenen Landmaschinen – sie hinkt mit Ausnahme der Hebebühnen jener von Autos noch weit hinterher; zum anderen durch stärkere regionale Vermarktung, womit man gleichzeitig eine höhere lokale Wertschöpfung erreicht.
- **Verlagerung von Anbaugebieten und Umstellung von Kulturen.** Beides ist allerdings mit neuen Herausforderungen verbunden. Die



.....
 📺 Immer mehr Flächen werden durch Hagelnetze geschützt – vor Hagel, aber auch vor Sonnenbrand.

weitergehende Verlagerung des Anbaus von Obst und Wein in höhere Lagen wird wegen der Auswirkungen intensiver Bewirtschaftung nicht konfliktfrei sein. Die Umstellung von Kulturen, etwa von Weiß- auf Rotwein, ist von den klimatischen Voraussetzungen her sinnvoll, muss aber von neuen Ausrichtungen in der Vermarktung begleitet sein.

- **Gezielte Auswahl von Sorten und Saatgutmischungen.** In tiefen bzw. trockenen Lagen werden Hitze- und Trockenheitsresistenz entscheidende Kriterien.
- **Optimierung der Wasserversorgung.** Es wird weniger Wasser zur Verfügung stehen, gleichzeitig ist aufgrund der bisher beobachtbaren Trends bei der Bewirtschaftung (Ausweitung auf neue Flächen, Intensivierung) davon auszugehen, dass der Wasserbedarf weiter zunehmen wird. Um diese Zunahme möglichst gering zu halten, müssen sowohl technologische Aspekte verbessert werden – Wartung des Verteilernetzes, Ausbau der Tropfenbewässerung, bedarfsangepasste, boden- und wurzelnahe Bewässerung, Speicherbecken – als auch Fragen der Organisation, wie die Aufgabe der turnusmäßigen zu Gunsten einer mehr bedarfsorientierten und flexibleren Bewässerung.
- Parallel bedarf es einer **besseren Kenntnis der Bodeneigenschaften** von landwirtschaftlich genutzten Flächen (Wasserhaltefähigkeit, Humusgehalt).
- **Forschung.** Es braucht weitere Anstrengungen, um die Biologie von Nutzpflanzen und Schadinsekten bei veränderten Klimabedingungen besser zu verstehen.
- **Politische Anreize.** Klimaanpassungs- und -schutzmaßnahmen sollten durch Förderungen attraktiver gemacht werden; z. B. eine stärkere Unterstützung von Tropfbewässerung.
- **Breite Bewusstseinsbildung.** In der Landwirtschaft sollte verstärkt ein Bewusstsein für Klimaschutzmaßnahmen gefördert werden, die die Treibhausgasemission reduzieren oder bestenfalls ganz eindämmen.

Literatur

1. Autonome Provinz Bozen – Südtirol (2017): Agrar- und Forstbericht 2016. <http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/agrar-forstbericht.asp>
2. EU (2013): How many people work in agriculture in the European Union? An answer based on Eurostat data sources. Agricultural Economics Briefs, 8, https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/rural-area-economics/briefs/pdf/08_en.pdf
3. Thalheimer, M. (2017): Wasserhaushalt und Bewässerung in Südtirol. Vortrag Expertenforum Berglandwirtschaft 2017 – Beregnung im Grünland, Fachschule Salern, News Laimburg 22.02.2017, http://www.laimburg.it/de/news.asp?aktuelles_action=4&aktuelles_article_id=576521&news_action=4&news_article_id=579915
4. Autonome Provinz Bozen – Südtirol (2017): Wassernutzungsplan. <http://umwelt.provinz.bz.it/wasser/wassernutzungsplan.asp>
5. Stainer, R. (2014): Klimawandel: Hype oder Herausforderung für den Obstbau Südtirols. Versuchszentrum Laimburg, Präsentation Interpoma 11/2014, http://www.fierabolzano.it/interpoma/mod_moduli_files/Reinhold%20Stainer.pdf
6. Niedrist, G., Tasser, E., Bertoldi, G., Della Chiesa, S., Obojes, N., Egarter Vigl, L., Tappeiner U. (2016): Down to future: Transplanted mountain meadows react with increasing phytomass or shifting species composition. *Flora*, 224, S. 172-182, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253016301153>
7. Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., Rebetez, M. (2018): Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frost at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agriculture and Forest Meteorology*, 248, S. 60-69, <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:15119>
8. Christanell, B. (2017): Spätfröste erwischen uns kalt. *Obstbau*Weinbau*, 7(8), S. 17-18
9. Chmielewski, F.-M., Müller, A., Küchler, W. (2004): Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. Abschlussbericht, Humboldt-Universität zu Berlin. https://www.agrar.hu-berlin.de/de/institut/departments/dntw/agrarmet/research/fp/abschluss_kliveg.pdf
10. Streifeneder, T. (2016). Die Entwicklung der Landwirtschaft im Alpenraum. In: Memorandum Berglandwirtschaft (Hrsg. Südtiroler Bauernbund), Bozen, S. 10-18.

Forstwirtschaft

**CHRISTIAN HOFFMANN, GEORG NIEDRIST,
NIKOLAUS OBOJES, HELENA GÖTSCH,
STEFANO MINERBI, GÜNTHER UNTERTHINER**



AUSGANGSLAGE

Etwa 45,5% der Landesfläche Südtirols – 336.689ha – sind mit Wald bedeckt. Die Hauptbaumarten Südtirols sind Fichte (61%), Lärche (19%) und Kiefer (10%); Laubbäume machen nur etwa 2% des Baumbestandes aus. Der Waldanteil Südtirols liegt über dem EU-Durchschnitt von 42% (2) und nimmt tendenziell zu, da der Wald aufgegebenen Kulturlandschaftsflächen an der oberen Waldgrenze zurückerobert. Aktuell stehen in Südtirols Wäldern ca. 105,2Mio. Vorratsfestmeter (Vfm) Holz, die 27,6Mio. Tonnen Kohlenstoff (C) speichern (82 Tonnen C pro Hektar) (1). Jeder

Hektar Südtiroler Wald entzieht der Atmosphäre jährlich im Durchschnitt 1,15 Tonnen Kohlenstoff (3) (→ Wald als Kohlenstoffsенke, S. 35). Dreiviertel des Baumeinschlags werden in Südtirol als Nutzholz weiterverarbeitet. In einem Kubikmeter Holz sind 0,9t CO₂ gespeichert; zudem werden mit jedem Kubikmeter Holz, der andere Baumaterialien ersetzt, 1,1t CO₂-Emissionen eingespart. Der Gesundheitszustand der Waldbestände hängt maßgeblich vom Witterungsverlauf ab. Schnee-arme Winter, Spätfröste, zu feuchte Frühjahre, trockene Sommer, Sturm- oder Hagelschäden u.a. zeigen oft über Jahre hinaus Nachwirkungen (4). In der Folge treten vermehrt forstliche Schadinsekten sowie Pilzkrankheiten auf oder es kommt zu auffälligen Nadel oder Blattverfärbungen, wodurch die Photosyntheseleistung der Waldbestände beeinträchtigt wird.

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Auf bestimmten Standorten in spezifischen Höhenlagen gibt es bereits Anzeichen dafür, wie sich steigende Temperaturen und der sich damit verändernde Wasserhaushalt auf das Waldökosystem auswirken. Am augenscheinlichsten ist die Veränderung der jahreszeitlichen Entwicklungsphasen der Bäume. Bei allen Unterschieden je nach Standort und Baumart gehen Experten davon aus, dass **im Alpenraum Nadelbäume heute ein bis drei Wochen früher austreiben als noch vor 60 Jah-**



.....
📷 Aufgrund der
Trockenheit verdorrte
2003 in Neustift ein
Kiefernbestand.

ren (5). Die höheren Temperaturen und längeren Vegetationsperioden tragen auch zur erwähnten Rückeroberung aufgelassener Bergwiesen bei (6). Manche Baumarten leiden besonders unter dem Klimawandel. Fichte, Lärche und Kiefer, auch aus ökonomischen Motiven weit verbreitet, geraten bei Trockenstress infolge erhöhter Temperaturen und längerer Trockenperioden mit intensiveren Niederschlagsereignissen an ihren aktuellen Standorten an ihre ökologischen Verbreitungsgrenzen (7). Die heimischen Laubbaumarten dagegen kommen wesentlich besser mit höheren Temperaturen zurecht. An der unteren kollinen Höhenstufe (400-700m) wird zum Beispiel die Kiefer heute schon von temperaturtoleranteren Arten wie Hopfenbuche, Mannaesche, Trauben- oder Flaumeiche ersetzt (8). Gleichzeitig treten hier immer häufiger invasive Arten wie Robinie und Götterbaum auf, besonders in Auwäldern und im kollinen Bereich (9). Zunehmende Aufmerksamkeit widmet die Forstverwaltung krautigen Invasivpflanzen wie dem Staudenknöterich oder dem Asiatischen Springkraut, die standortstypische Bodenpflanzen verdrängen, den Nährstoffhaushalt im Waldboden beeinflussen und damit die Verjüngung beeinträchtigen (10) (→ Flora und Fauna, S. 50). Andererseits breitet sich die gegenüber Trockenheit und hohen Temperaturen tolerantere Kiefer auf ehemaligen Fichtenwaldstandorten in der oberen kollinen bis submontanen Höhenstufe (700-1200m) aus (8). Weniger sensibel als die Fichte reagiert die Lärche auf Temperatur- und Trockenstress. In tieferen Lagen kommt es zwar zu Wachstumseinschränkung, doch an der oberen Waldgrenze profitiert sie von steigenden Temperaturen und verbreitet sich gemeinsam mit der Grünerle stärker (11 und 12).

Durch Trockenphasen physiologisch geschwächte Bäume sind weniger resistent gegen Schädlinge; Schadinsekten (Borkenkäfer, Kiefernprozessions- oder Schwammspinner, etc.) und Pilze finden günstigere Reproduktions- und Verbreitungsbedingungen vor und befallen bisher nicht betroffene Bestände. Mit den höheren Durchschnittstemperaturen können sich die Schadinsekten in neue Gebiete ausbreiten: Für Südtirol ist beispielsweise nachgewiesen, dass der Kiefernprozessionsspinner in größere Höhenlagen vordringt; im Vinschgau etwa ist er bereits in der Gegend um Kloster Marienberg anzutreffen (→ Abb. 31).

Mit vermehrt auftretenden extremen Sturm- und Niederschlagsereignissen nehmen abiotische Schäden wie Waldbrand (5) oder Windwurf bzw. Schneedruck zu (4), wobei der Schaden jedoch in der Regel auch auf Fehleinschätzungen und Bewirtschaftungsmängel (z. B. überalterte



☞ Durch Trockenheit geschwächte Pflanzen sind weniger resistent gegen Schädlinge. Mit den steigenden Temperaturen breitet sich z. B. der Kiefernprozessionsspinner in höhere Lagen aus.

Bestände) zurückzuführen ist (→ Abb. 32). Die Forstverwaltung versucht den Veränderungen durch standortgerechte Waldbaumaßnahmen zu begegnen, jedoch sind diese Strategien auch mit Begleiterscheinungen verbunden: Bei der Wiederaufforstung am Vinschgauer Sonnenberg durch die trockenresistente Schwarzkiefer ergaben sich Probleme durch mangelhaften Streuabbau und Massenbefall durch den Prozessionsspinner (14).

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Noch binden Südtirols Waldökosysteme mehr Kohlenstoff als sie wieder abgeben (1,15 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar und Jahr) (3). Steigt die durchschnittliche Jahrestemperatur an, wird der Wald größere Höhenlagen erschließen und wegen dieser zusätzlichen Flächen mehr Kohlenstoff in der oberirdischen Biomasse speichern. Demgegenüber erhöht sich aber auch die Atmungsaktivität der im Boden lebenden Mikroorganismen (13). Waldbestände könnten dadurch sogar zu einer Kohlenstoff-Quelle werden. Gleichzeitig wird es mit dem Anstieg der Jahresmitteltemperatur, trockeneren Sommern und niederschlagsreiche-

ren Winterperioden zu einer Verschiebung der Baumartenzusammensetzung über die Höhenstufen kommen (7).

Verbessern sich infolge höherer Durchschnittstemperaturen und damit längerer Vegetationsperioden die Reproduktionsbedingungen und Populationsdynamiken, so müssen wir – wenn die Baumarten sich physiologisch nicht rasch genug anpassen können (7) – in Zukunft vermehrt mit Kalamitäten durch Schadinsekten und Pilze rechnen. Die Entwicklungszeit für Borkenkäfer kann sich in Tieflagen von 80 auf 45–35 Tage reduzieren. Zu zwei Borkenkäfergenerationen pro Vegetationsperiode kann in Zukunft noch eine dritte Generation kommen, auch wird es Borkenkäferkalamitäten über 1.200m geben (19). Aber auch Ausmaß und Frequenz des Tribschwindens in Weißkiefernbeständen (Cenangium, Sphaeropsis) und von Schäden durch den Sechszahnigen Kiefernborkeäfer oder die Nonne (Lymantria monacha) in sekundären Fichtenbeständen sowie durch den Schwammspinner (Lymantria dispar) in Laubholzniederwäldern werden zunehmen (20). Mit zunehmender Häufigkeit von Starkniederschlägen, Sturmereignissen und Spätfrösten haben auch Fehler und Unterlassungen in der Waldbewirtschaftung zunehmend schwerwiegende Folgen – Schäden durch Waldbrand, Windwurf oder Schneedruck werden daher zunehmen (4).

MASSNAHMEN ZU KLIMASCHUTZ UND -ANPASSUNG

- Da der Wald sich selbst nur träge anpassen kann, gilt es, **dem Klimawandel präventiv durch standortangepasste Baumartenzusammensetzungen und Waldbaumaßnahmen zu begegnen**. In Zukunft sollten in den Gebirgsregionen temperaturresilientere Laubbaumarten sowie stabile und ungleichaltrig strukturierte Mischbaumarten gekoppelt mit den heute schon optimal angepassten Klimaxbaumarten das Waldbild prägen; dies hat auch einen positiven Effekt auf die Funktion als Kohlenstoffsene (7).
- **Finanzielle Anreize können Waldbesitzer dazu bewegen**, von den aus wirtschaftlichen Gründen bevorzugten Nadelhölzern **auf stabile Laub- und Laubmischbestände umzusteigen**, die vor Bodenerosion schützen und als Wasserspeicher und -spender dienen. Gleichzeitig sollte Waldbesitzern bewusst gemacht werden, welche wirtschaftlichen Schäden bei zunehmend häufigen Extremereignissen zu erwarten sind, wenn der Wald nicht standortangepasst bewirtschaftet wird – zu beobachten 2003 im Raum Brixen, wo ein Kiefernbestand aufgrund extremer Trockenheit zusammenbrach (5).

- Um das Potenzial von Waldökosystemen als Kohlenstoffsene optimal auszuschöpfen, **sollte auf einen möglichst hohen Anteil an sägefähigem Rundholz hingearbeitet werden**: In hochwertigen Holzprodukten wird Kohlenstoff langfristig gebunden, wenn Holz klimaschädliche Materialien und fossile Energieträger ersetzt, werden CO₂-Emissionen vermieden (→ Emissionen, S. 31). Zugleich erhöht sich damit die Rentabilität der Waldbewirtschaftung.
- Die „Holz-Charta“ (2015) sollte **als Instrument genutzt werden, um die Verwendung von Holz im Möbelbau und mehrgeschossigen Wohnungsbau zu fördern**, ebenso wie die energetische Verwertung von schlechter Industrieware, von Nebenprodukten aus der Holzverarbeitung und von Holzprodukten in Fernheizwerken.
- **Um Umweltveränderungen frühzeitig zu erkennen, soll in Zukunft die Phänologie als Bioindikator genutzt werden**. Hier sind Monitoring-Systeme ein- oder weiterzuführen wie der Forstschutzüberwachungsdienst (u.a. Waldschadensforschung und Monitoring von neuen bzw. invasiven Arten), das Bioindikatoren-Netzwerk auf Dauerbeobachtungsflächen, CO₂- und Klimamessstationen, aber auch Satellitenaufnahmen und lasergestützte Messungen aus der Luft (LiDAR – Light Detecting and Ranging), um territorial und forstlich relevante Parameter zu erfassen.



Abb. 31: Erweitertes Verbreitungsgebiet des Kiefernprozessionsspinners. (Daten: Minerbi, 2017)

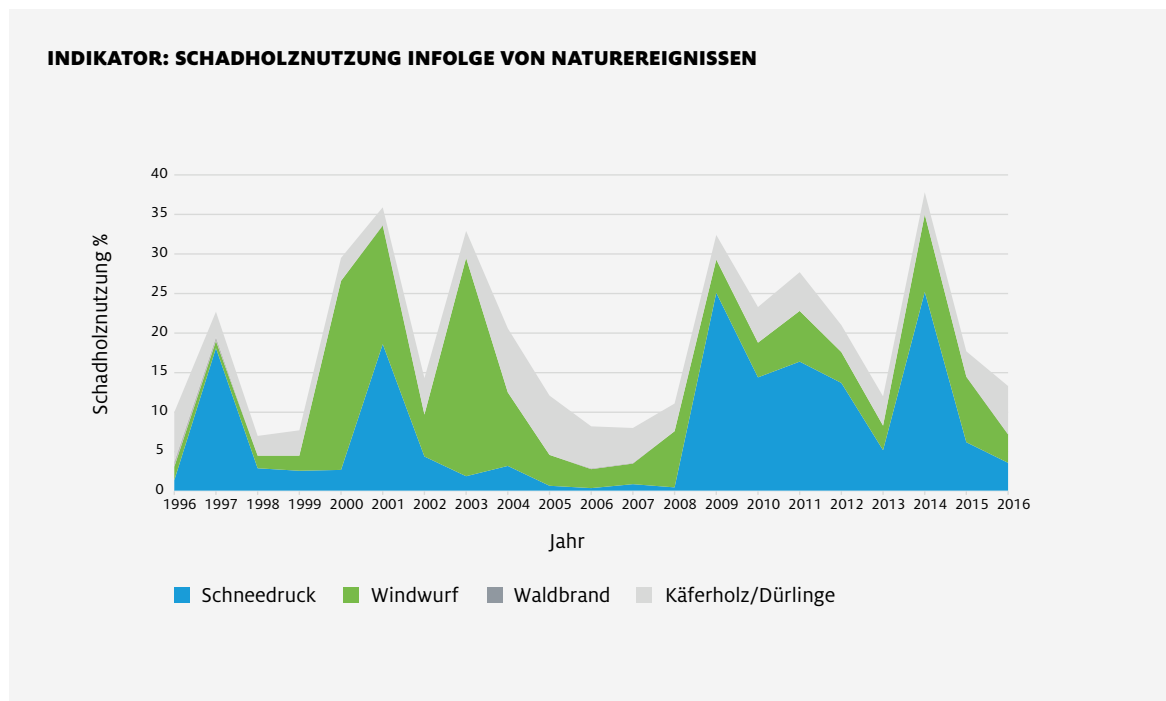


Abb. 32: Anteile der biotischen und abiotischen Schadholznutzungen am insgesamt geschlagenen Holz in Südtirol, 1996 bis 2016. (Daten: Amt für Forstplanung, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

Literatur

1. Autonome Provinz Bozen - Südtirol (2013): Agrar- und Forstbericht 2012. <http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/agrar-forstbericht.asp>
2. Eurostat (2008): Eurostat Pressemitteilung 20. Oktober 2008. http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-08-146_en.pdf
3. Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (2009): Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC) - Caratteri quantitativi.
4. Autonome Provinz Bozen - Südtirol (2014): Abteilung Forstwirtschaft, Jahresbericht 2014. Forstschutz-Überwachungsdiens.
5. Minerbi, S., Cescatti, A., Cherubini, P., Hellrigl, K., Markart, G., Saurer, M., Mutinelli, C. (2006): Scots Pine dieback in the Isarco Valley due to severe drought in the summer of 2003. *forest observer*, 2-3, S. 89-144. Autonome Provinz Bozen – Südtirol Abteilung Forstwirtschaft, http://www.provincia.bz.it/agricoltura-foreste/servizio-forestale-forestali/pubblicazioni.asp?publ_action=4&publ_article_id=93545
6. Wolf, A. (2008): Die Kohlenstoff-Senkenkapazität des Schweizer Waldes. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 159(9), S. 273-280, <http://www.szf-jfs.org/doi/pdf/10.3188/szf.2008.0273?code=swis-site>
7. Walter, A. und Gratzki, A. (2015): Klima-Report Bayern 2015, Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten. Bayrisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, www.klima.bayern.de.
8. Autonome Provinz Bozen - Südtirol (2010): Walddtypisierung Südtirol, Band 1 & 2. Abteilung 32, Forstwirtschaft.
9. Autonome Provinz Bozen - Südtirol (2016): Agrar- und Forstbericht 2015.
10. Streckfuß, M. (2009): Dossier Invasive Arten. www.waldwissen.net.
11. Lévesque, M., Saurer, M., Siegwolf, R., (2013): Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch. *Global Change Biology*, 19(10), S. 3184–99, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23712589>
12. Oberhuber, W., Gruber, A., Kofler, W., Swidrak, I. (2014): Radial stem growth in response to microclimate and soil moisture in a drought-prone mixed coniferous forest at an inner Alpine site. *European Journal of Forest Research*, 133(3), S. 467–479, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-013-0777-z>
13. Karhu, K., Fritze, H., Hämäläinen, K., Vanhala, P., Jungner, H., Oinonen, M., Sonninen, E., Tuomi, M., Spetz, P., Liski, J. (2010): Temperature sensitivity of soil carbon fractions in boreal forest soil, *Ecology*. 91(2), S. 370-376, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/09-0478.1/full>
14. Aimi, A., Zocca, A., Minerbi, S., Hellrigl, K., Gatto, P., Battisti, A., (2006): The outbreak of the pine processionary moth in Venosta/Vinschgau: ecological and economic aspects. *forest observer* 2/3, S. 69–80, https://www.researchgate.net/publication/267830613_The_outbreak_of_the_pine_processionary_moth_in_VenostaVinschgau_ecological_and_economic_aspects
15. Tomiczek, C. und Pfister, A. (2008): Was bedeutet der Klimawandel für die Borkenkäfer? BFW- Praxisinformation 17, 23, https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/insekten/bfw_klimawandel_borkenkaefer/index_DE
16. Autonome Provinz Bozen - Südtirol (2013): Agrar- und Forstbericht 2003.

Siedlungen

**STEFAN SCHNEIDERBAUER, PETER LANER,
KATHRIN RENNER**

MIT UNTERSTÜTZUNG VON **VIRNA BUSSADORI**



AUSGANGSLAGE

In Südtirol beläuft sich der Dauersiedlungsraum, also die potenziell besiedelbare Fläche, auf ca. 40.000 ha. Dies entspricht nur etwas mehr als 5% der gesamten Landesfläche. Alle ausgedehnten Siedlungsbereiche und die größten Verkehrsinfrastrukturen konzentrieren sich in den Talböden der größeren Flüsse, die häufig von steilen Berghängen gesäumt werden – eine räumliche Ausdehnung ist meist nicht möglich. Steigende Bevölkerungszahlen spiegeln sich deshalb hauptsächlich in größeren Einwohnerdichten wider. So leben etwa im Bozner Stadtteil Europa-Neustift mehr als 190 Menschen pro Hektar, was einer Einwohnerdichte von 19.000 Einwohnern pro km² entspricht

(zum Vergleich: Die am dichtesten besiedelte Gemeinde Italiens, Napoli Portici, weist einen Wert von ca. 12.000 Einwohnern pro km² auf, in dicht besiedelten Vierteln großer europäischer Städte leben häufig etwa 15.000 Menschen pro km²). Aufgrund demographischer und gesellschaftlicher Veränderungen nehmen in Südtirol wie fast überall in Europa das Durchschnittsalter der Bevölkerung und die Anzahl der Einpersonenhaushalte zu. Nach Information des Landesinstituts für Statistik der Autonomen Provinz Bozen, ASTAT, ist die Zahl der älteren Menschen in Südtirol von 43.500 im Jahr 1975 auf 100.000 im Jahr 2015 angestiegen, womit sich das Risiko von Todesfällen bei Hitzewellen erheblich erhöht.

Die begrenzten Flächen in den Gunstlagen der Täler sind großem Nutzungsdruck durch Landwirtschaft, Verkehr, Gewerbe oder Wohnbebauung ausgesetzt, was zu einem hohen Grad der Bodenversiegelung führt. Bodenversiegelung bedeutet, dass der Boden luft- und wasserdicht abgedeckt wird, wodurch Regenwasser nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen versickern kann und sich der Gasaustausch des Bodens mit der Atmosphäre verringert. Dies hat unmittelbare Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und das Lokalklima. **Übermäßige Bodenversiegelung ist somit ein entscheidender Faktor für das Entstehen von Hitzeinseln in Siedlungsgebieten und erhöht bei starken Niederschlägen das Risiko von Überflutungen.** Wie Siedlungen gestaltet werden, hat also großen Einfluss auf das urbane Mikroklima.



.....
 Sommer 2017: Der Toblacher See tritt über die Ufer.

Siedlungen spielen eine wichtige Rolle im Klimaschutz. Das Heizen und Kühlen von Gebäuden verbraucht viel Energie und setzt Treibhausgase frei. Die Einsparung von Energie, etwa indem man den Energiebedarf von Gebäuden reduziert, wird in Kapitel 2 thematisiert. Besondere Bedeutung für den Energieverbrauch hat auch das Verkehrssystem im Siedlungsbereich.

Dieses Kapitel beschäftigt sich jedoch mit den möglichen *Auswirkungen* des Klimawandels auf Siedlungen in Südtirol.

AUSWIRKUNGEN HEUTE

In Südtirols bebauten Gebieten ist wie in allen Städten ein stärkerer Anstieg der Temperaturen festzustellen als in angrenzenden Regionen (1). Dabei beeinträchtigen besonders die höheren nächtlichen Temperaturen (→ Klimawandel. S. 25, Anstieg Tropennächte) das menschliche Wohlbefinden. Für Hitze und Überflutungen in Siedlungen ist aber vor allem auch die übermäßige Bodenversiegelung verantwortlich, die die Folgen klimatischer Veränderungen noch verstärkt (2).


Durch die steigenden Temperaturen haben sich Fauna und Flora in den größeren Städten des Landes bereits verändert, z. B. durch die Einwanderung neuer Arten. Seit 2013/2014 ist die Tigermücke in Südtirol heimisch, mit wachsender Population (→ Interview mit Alberta Stenico, S. 102). Die Ausbreitung der Tigermücke im Alpen-

raum hängt nicht ausschließlich, aber unter anderem mit dem Klimawandel zusammen (3). Wegen der Mücken werden Parks im Sommer weniger genutzt, ihre Funktion als Erholungsfläche ist eingeschränkt.

Eng mit Temperatur und vor allem Starkregenereignissen verknüpft sind Muren, Rutschungen, Felsstürze und Überflutungen (sowohl kleinräumige, durch Regenfälle ausgelöst, wie großräumigere, vom Fluss verursachte) – sämtlich Ereignisse mit großem Schadenspotenzial für Anwohner, Gebäude, Infrastruktur oder Versorgungslinien (→ Naturgefahren, S. 58 und → Verkehrsinfrastrukturen, S. 96). In den letzten Jahren gab es in Südtirol sehr lokale, intensive Regenereignisse, für die die bestehende Kanalinfrastruktur nicht angelegt ist, sodass es zu Überflutungen von Straßen, unteren Gebäudeteilen und Kellern kam. Die Starkregenereignisse in Bozen in der Nacht vom 13. auf den 14. Juli 2017, als in kürzester Zeit über 50 Liter Regen auf 1m² fielen, führten z. B. zu einer Vielzahl von Überschwemmungen und Muren. Dabei wurden zahlreiche Garagen überschwemmt und die darin geparkten Fahrzeuge beschädigt, einzelne Wohngebiete in Bozen waren vom Verkehrsnetz abgeschnitten; die Kohlerer Seilbahn musste ihren Betrieb zeitweise einstellen. Um diese Ereignisse genauer zu erfassen, wurde in der Datenbank der Landesverwaltung im Jahr 2010 die Ereignisklasse „urbane Flut“ eingeführt.

In höhergelegenen Gebieten sind Ortschaften oder Einzelgebäude außerdem von Lawinen bedroht.



.....
 In der Nacht vom 13. auf den 14. Juli 2017 wurden in Bozen wegen intensiver Regenfälle viele Garagen und Keller überschwemmt.

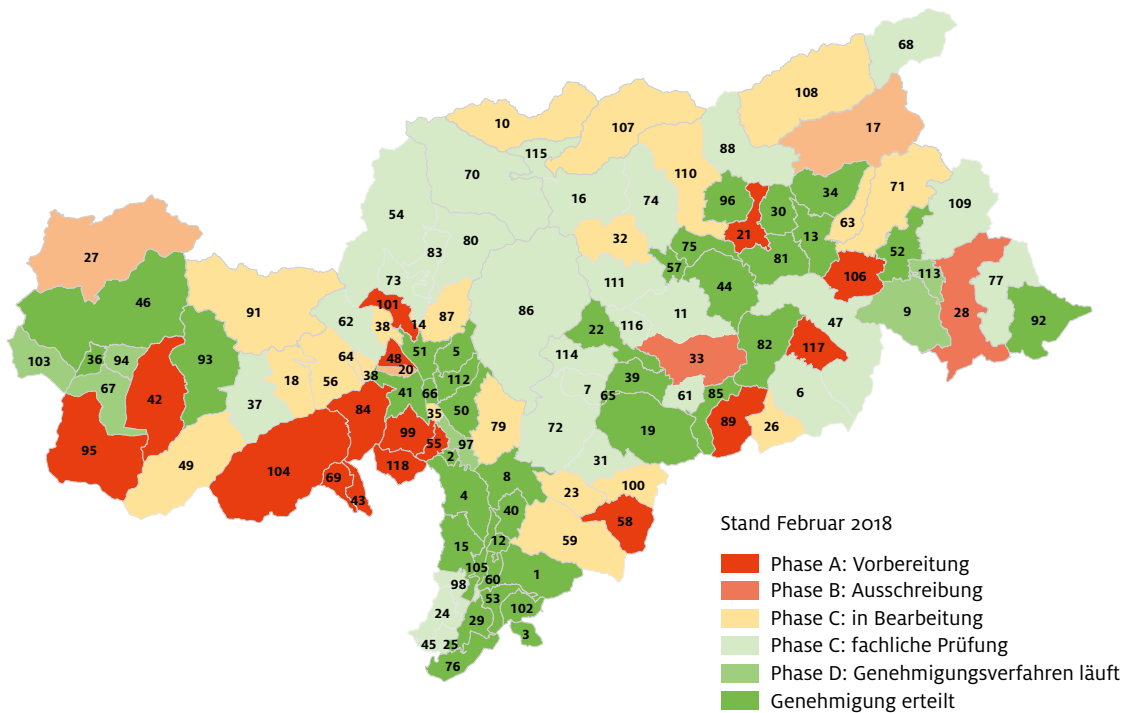


Abb. 33: Stand der Gefahrenzonenplanung in Südtirol in Februar 2018. (Daten: Abteilung Natur, Landschaft und Raumentwicklung, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

1 Aldein, 2 Andrian, 3 Altrei, 4 Eppan a.d. Weinstr., 5 Hafling, 6 Abtei, 7 Barbian, 8 Bozen, 9 Prags, 10 Brenner, 11 Brixen, 12 Branzoll, 13 Bruneck, 14 Kuens, 15 Kaltern a.d. Weinstr., 16 Freienfeld, 17 Sand in Taufers, 18 Kastelbell-Tschars, 19 Kastelruth, 20 Tschermers, 21 Kiens, 22 Klausen, 23 Karneid, 24 Kurtatsch a.d. Weinstr., 25 Kurtinig a.d. Weinstr., 26 Corvara, 27 Graun im Vinschgau, 28 Toblach, 29 Neumarkt, 30 Pfalzen, 31 Völs am Schlern, 32 Franzensfeste, 33 Villnöss, 34 Gais, 35 Gargazon, 36 Glurns, 37 Latsch, 38 Algund, 39 Lajen, 40 Leifers, 41 Lana, 42 Laas, 43 Laurein, 44 Lüsen, 45 Margreid a.d. Weinstr., 46 Mals, 47 Enneberg, 48 Marling, 49 Martell, 50 Mölten, 51 Meran, 52 Welsberg, 53 Montan, 54 Moos in Passeier, 55 Nals, 56 Naturns, 57 Natz-Schabs, 58 Welschnofen, 59 Deutschnofen, 60 Auer, 61 St. Ulrich, 62 Part-

schins, 63 Percha, 64 Plaus, 65 Waidbruck, 66 Burgstall, 67 Prad am Stilfser Joch, 68 Prettau, 69 Proveis, 70 Ratschings, 71 Rasen-Antholz, 72 Ritten, 73 Riffian, 74 Mühlbach, 75 Rodeneck, 76 Salurn, 77 Innichen, 79 Jenesien, 80 St. Leonhard in Pass., 81 St. Lorenzen, 82 St. Martin in Thurn, 83 St. Martin in Passeier, 84 St. Pankraz, 85 St. Christina in Gröden, 86 Sarntal, 87 Schenna, 88 Mühlwald, 89 Wolkenstein in Gröden, 91 Schnals, 92 Sexten, 93 Schlандers, 94 Schluderns, 95 Stilfs, 96 Terenten, 97 Terlan, 98 Tramin a.d. Weinstr., 99 Tisens, 100 Tiers, 101 Tirol, 102 Truden, 103 Taufers im Münstertal, 104 Ulten, 105 Pfatten, 106 Olang, 107 Pfitsch, 108 Ahrntal, 109 Gsies, 110 Vintl, 111 Vahrn, 112 Vöran, 113 Niederdorf, 114 Villanders, 115 Sterzing, 116 Feldthurns, 117 Wengen, 118 U.L. Frau i.W.-St. Felix


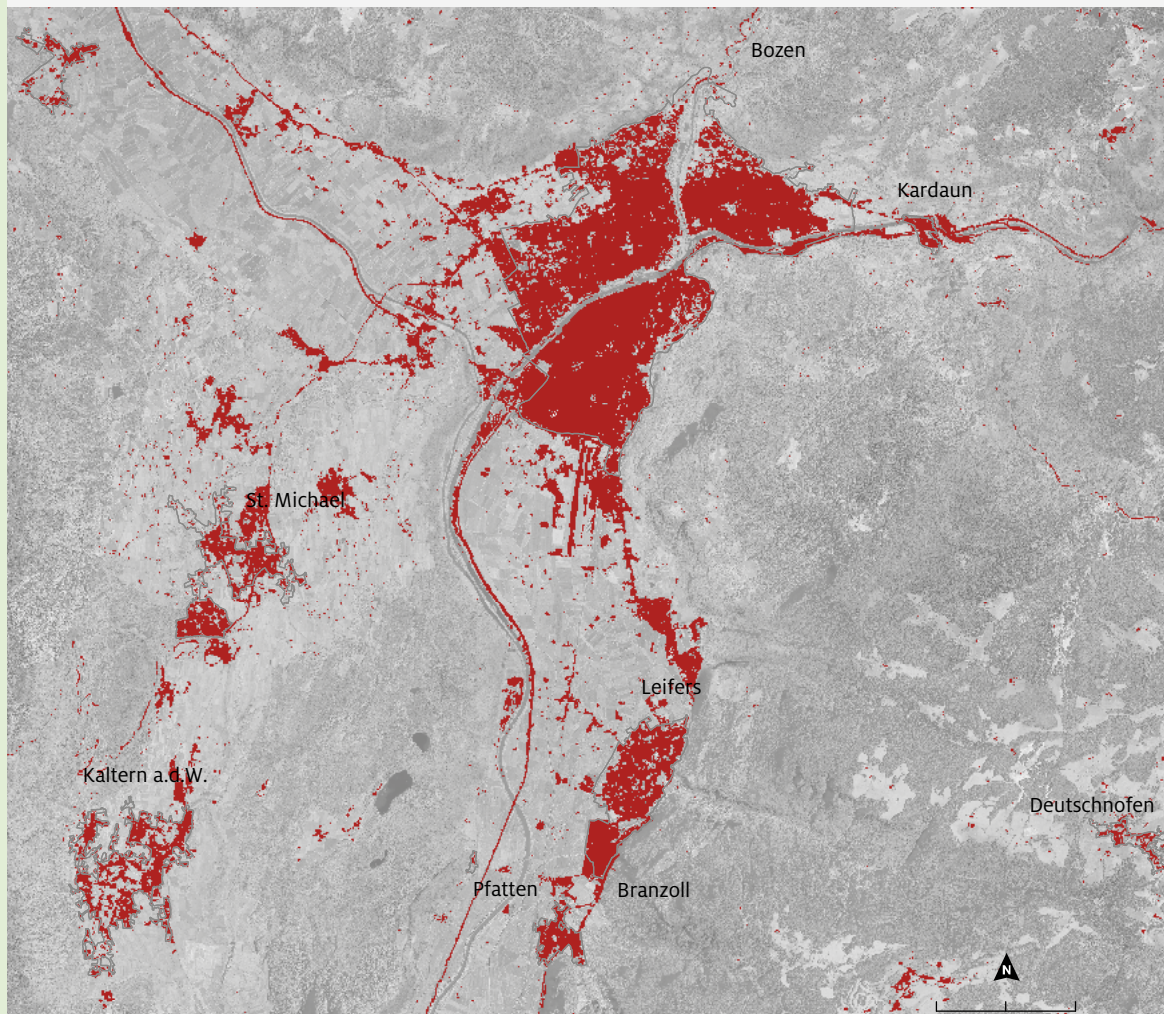
INDIKATOR: VERSIEGELTE FLÄCHE
 Fläche versiegelt


Abb. 34: Bodenversiegelung in der Gemeinde Bozen und Umgebung, 2012. Kartierung basiert auf hochaufgelösten Satellitendaten. (Daten: Europäische Umweltbehörde EEA. Darstellung: Eurac Research)

BODENVERSIEGELUNG

Es gibt mehrere Datensätze, die Bodenversiegelung erfassen. Bodenversiegelung bedeutet, dass der Boden luft- und wasserdicht abgedeckt wird, wodurch die Versickerung von Wasser erschwert wird und der Gasaustausch des Bodens mit der Atmosphäre zurückgeht. Alle Datensätze zeigen für die vergangenen Jahre bzw. Jahrzehnte einen Anstieg der versiegelten Flächen. Was die besiedelte Fläche betrifft (ohne Verkehrsflächen), so stellte das Landesinstitut für Statistik für den Zeitraum von 2007 bis 2012 eine Zunahme von 1016ha fest (4). Die Europäische Umweltbehörde EEA misst die Bodenversiegelung alle drei Jahre. Für Südtirol wurden für das Jahr 2012 9090ha als versiegelt angegeben. Die entsprechende Karte für das Jahr 2015 ist der-

zeit noch in Bearbeitung. Von der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission wird ein globaler Zeitreihendatensatz der mit Gebäuden bebauten Flächen erstellt, zurückreichend bis 1975. Anhand dieser Daten lässt sich für das Gebiet der Provinz Südtirol folgendes feststellen: Von 1975 bis 1990 kamen 1703ha bebaute Flächen hinzu – dies entspricht 4,2% des potenziellen Dauersiedlungsgebietes. Von 1990 bis 2000 wurden weitere 597 ha bebaut – 1,5% des Dauersiedlungsgebietes –, und von 2000 bis 2014 noch einmal 737ha – 1,8% des Dauersiedlungsgebietes. Diese Berechnungen beziehen sich jedoch auf die *bebaute* und nicht die versiegelte Fläche: Künstliche und in der Regel versiegelte Flächen wie etwa Verkehrsflächen sind darin nicht enthalten.

.....
 📷 August 2012: Nach Murabgängen kommt es im Pfitschertal zu Überschwemmungen mit dramatischen Folgen: Zwei Frauen sterben, der materielle Schaden ist hoch.



MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Mit fortschreitendem Klimawandel werden sich auch die bereits heute beobachtbaren Auswirkungen auf Siedlungen verstärken.

Dies gilt besonders für temperaturbedingte Klimafolgen, da mit großer Wahrscheinlichkeit von weiterer Erwärmung auszugehen ist. Zu diesen Folgen zählt auch, dass die Kühllasten in den Siedlungen zunehmen und die Heizlasten abnehmen werden. Falls in Zukunft niederschlagsfreie oder -arme Perioden häufiger werden sollten (hierzu besteht große Unsicherheit), könnte das die Luftqualität beeinträchtigen, da in Zeiten ausgeprägter Trockenheit die Staubpartikel in der Luft zunehmen. Außerdem können erhöhte Temperaturen die Ozonbelastung verstärken, insbesondere in Verbindung mit den Emissionen des Verkehrs.

Bei der Abschätzung zukünftiger Klimarisiken spielen aber auch gesellschaftliche Entwicklungen und Prozesse eine entscheidende Rolle, etwa die Abwanderung vom Land in die Stadt, die Ausdehnung von Siedlungstätigkeit auf Gebiete, die von Naturgefahren bedroht sind, oder Veränderungen der Lebensgewohnheiten und Altersstruktur. Wie sehr Menschen unter Hitzewellen leiden, hängt jedoch nicht nur vom Alter ab: Ein starkes soziales Netzwerk etwa kann diesbezüglich sehr hilfreich sein, ebenso wie der Zugang zu öffentlichen Verkehrsmitteln oder die Möglichkeit, sich der Hitze durch eine Klimaanlage oder einen Aufenthalt in

den Bergen zu entziehen (→ Interview mit Matteo Vischi, S. 101). Generell sind ältere Menschen jedoch sicher als Risikogruppe einzuschätzen, ebenso wie Kinder, Menschen mit gesundheitlichen Problemen und Behinderungen, sowie finanziell benachteiligte Menschen – für sie alle können Klimaänderungen besonders problematisch sein. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Versiegelung des Bodens. Nach Aussage von Virna Bussadori, Amtsdirektorin des Amtes für Landesplanung in der Abteilung „Natur, Landschaft und Raumentwicklung“, ist das präzise Monitoring neu versiegelter Flächen daher ein wichtiges Anliegen der Landesverwaltung.

MASSNAHMEN ZU KLIMASCHUTZ UND -ANPASSUNG

- ❑ **Gefahrenzonenpläne zügig ausarbeiten:** Seit 2008 sind die Südtiroler Gemeinden verpflichtet, als Grundlage ihrer urbanistischen Planung „Gefahrenzonenpläne“ zu erstellen, die für jede Zone die Gefahr von Naturereignissen wie Muren oder Überschwemmungen bewerten und Baugenehmigungen daran binden; im Februar 2018 hatten aber nur etwa ein Drittel der Gemeinden Südtirols einen gültigen Gefahrenzonenplan.
- ❑ **In Gefahrenzonenplänen mögliche Veränderungen durch den Klimawandel berücksichtigen:** Bei der Erstellung der Gefahrenzonenpläne

wird bislang nicht geprüft, wie sich das Gefahrenpotenzial durch den Klimawandel verändern kann – angesichts der sich schon abzeichnenden Auswirkungen ist dies aber zentral, um künftige Schäden zu verhindern.

- **Naturbasierte Lösungen fördern:** Naturnahe Lösungen, die die Leistungen von Ökosystemen nutzen, können entscheidend dazu beitragen, die Veränderungen durch den Klimawandel zu mildern. (→ Ökosystemleistungen, S. 65 und → Klimaschutz und -anpassung, S. 110) Wo Böden nicht versiegelt sind, kann zum Beispiel Niederschlagswasser versickern, was Kanalnetze entlastet und zum Hochwasserschutz beiträgt. Die Gemeinde Bozen hat deshalb in der Bauordnung einen Bodenversiegelungsindex (BVS) eingeführt, der Grundeigentümer verpflichtet, bei einem Neubau einen Teil der bebaubaren Fläche von wasserundurchlässigen Bodenbelägen frei zu halten. Eine Ausweitung dieser Praxis auf andere Gemeinden sollte geprüft werden (→ Ökosystemleistungen, S. 65).

- **Den Klimaplan in der Siedlungsplanung berücksichtigen:** Der Klimaplan „Energie-Südtirol-2050“ enthält viele Ansätze für eine klimafreundlichere Planung von Städten und Dörfern. Neubauten sollten beispielsweise nur im Einzugsbereich des öffentlichen Verkehrs entstehen, um den Umstieg auf klimafreundliche Verkehrsmittel zu fördern. Die Vorschrift, bei allen Neubauten Parkplätze anzulegen, führt zu immer mehr versiegelten Flächen und fördert den Gebrauch des Autos.
- **Bei der lokalen bzw. urbanen Planung verstärkt an Risikogruppen denken** und gezielte Lösungen sowie Anpassungsmaßnahmen erarbeiten. Diese können sein: grüne und blaue Elemente in die Stadtplanung einbeziehen; lokale klimatische Gegebenheiten wie Windkanäle und Luftwirbel für eine bessere Kühlung und Säuberung der Stadtluft nutzen; kurze Wege zwischen Siedlungen und Grünflächen schaffen; eine gemischte Flächennutzung fördern, die kurze Wege ermöglicht und das Ausufern in die Peripherie verhindert; ungenutzte Flächen in gemeinschaftsfördernde Stadt- bzw. Schrebergärten umwandeln; Flussufer sanieren, begrünen und bestmöglich für Bürger zugänglich machen.

Literatur

1. Heini, M., Hammerle, A., Tappeiner, U., Leitinger, G. (2015): Determinants of urban–rural land surface temperature differences – A landscape scale perspective. *Landscape and Urban Planning*, 134, S. 33–42, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204614002357>
2. Austrian Panel on Climate Change (APCC) (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, ISBN 978-3-7001-7699-2
3. Cassina, F., Valorzi, C., Kohlmayer, R., Bucher, E. (2014): Die Tigermücke. Biologisches Labor, Landesagentur für Umwelt, <http://umwelt.provinz.bz.it/umwelt-gesundheit/tigermuecke-erhebung.asp> (Letzter Zugang: Mai 2017)
4. Monitoraggio di Aedes albopictus in Vallagarina Relazione finale, 2016 sulle attività di ricerca e monitoraggio della diffusione di Aedes albopictus nei Comuni di Rovereto, Ala, Aldeno, Avio, Besenello, Calliano, Isera, Mori, Villa Lagarina e Volano (aprile –ottobre 2016)
5. Provincia Autonoma di Bolzano (2012): Dauersiedlungsgebiet in Südtirol. Territorio insediativo in provincia di Bolzano.

Klima- flüchtlinge

**MARIACHIARA ALBERTON,
ISIDORO DE BORTOLI**



Im Jahr 2015 war die Stadt Chennai in Südindien von heftigen Überschwemmungen betroffen. Die tragische Bilanz: mehr als 300 Todesopfer und zwei Millionen Vertriebene – Flüchtlinge aus klimatischen Gründen. Nach Schätzungen des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) mussten 2015 fast 20 Millionen Menschen, vor allem in Indien und China, ihre Heimat aufgrund von Naturkatastrophen verlassen. Dieselben Experten sagen voraus, dass diese Zahl bis 2060 auf 250 Millionen ansteigen könnte, mit 50 Millionen Betroffenen allein in Afrika.

Auf das Problem der Klimaflüchtlinge wies erstmals Mitte der 1970er Jahre der amerikanische Umweltforscher Lester Brown hin; seitdem wird darüber sowohl in akademischen Kreisen wie unter Aktivisten heftig debattiert. Das UNEP aktualisiert regelmäßig seine Schätzungen und die Europäische Kommission hat drei Berichte zum Thema veröffentlicht. Dennoch gibt es keine international anerkannte Definition, geschweige denn einen rechtlichen Rahmen, der den Status eines „Umweltflüchtlings“ beschreibt.

Das Problem ist global und dramatisch, doch die Gesetzgeber zögern, den Zusammenhang zwischen Klimawandel und Fluchtbewegungen festzuhalten. Dies hieße, das Problem einzugestehen, und es ist bezeichnend, dass dies nicht geschieht.

Im Falle von Katastrophen wie Überschwemmungen und Erdbeben mag der Zusammenhang evident sein, doch komplizierter wird die Frage bei progressiven Veränderungen wie Wüstenbildung oder Küstenerosion aufgrund ansteigender Meeresspiegel. Diese Phänomene verursachen Hungersnöte, die zu wirtschaftlichen Krisen, sozialen Unruhen und Kriegen führen. Syrien, arm an Ressourcen und damit anfällig, ist dafür ein Paradebeispiel: Das Land erlebte vier aufeinanderfol-

gende Dürrejahre, eine halbe Million Bauern trieb die Armut in die Küstengebiete; die dominierende Minderheit sind dort aber die Alawiten, zu denen auch Staatspräsident Bashar al-Assad gehört. Von hier bis zu bewaffneten Auseinandersetzungen war es nur ein kleiner Schritt. In anderen Weltgegenden, beispielsweise in China, streiten Bauern und Industrieunternehmen um die Nutzung des Wassers.

In Südtirol verursacht das Schwinden natürlicher Ressourcen noch keine Notsituation, und vor allem sind wir dank wirtschaftlichen Wohlstands in der Lage, uns den veränderten Bedingungen anzupassen, etwa durch Umstellung der Landwirtschaft. Dennoch kann uns das Problem der Klimaflüchtlinge aus mindestens zwei Gründen nicht gleichgültig sein. Zum einen, weil auch in Südtirol schon Klimaflüchtlinge angekommen sind. Genaue Daten dazu gibt es keine, doch kann man realistischerweise davon ausgehen, dass ein Teil der etwa 1300 Asylbewerber aus Syrien und dem Subsahara-Afrika die Auswirkungen des Klimawandels auf extreme Weise erlitten hat. Darüber hinaus müssen wir damit rechnen, dass langfristig auch Südtirol mit immer spärlicheren natürlichen Ressourcen auskommen muss, bei zunehmendem Migrationsdruck. Damit düstere Szenarien nicht Wirklichkeit werden, gilt es unseren Ressourcenverbrauch zu reduzieren und ernsthaft die Integration und den sozialen Zusammenhalt zu fördern.

Tourismus

ANNA SCUTTARI



AUSGANGSLAGE

Mit mehr als 7 Millionen Ankünften und 31 Millionen Übernachtungen im Jahr 2016, sowie einem Anteil von 16,2% an der Wertschöpfung, ist der Tourismus von entscheidender Bedeutung für die Südtiroler Wirtschaft (11). Gleichzeitig erzeugt der Sektor Treibhausgasemissionen, verursacht durch den Verkehr, die Aktivitäten vor Ort und den Energieverbrauch der Beherbergungsbetriebe (→ Emissionen, S. 33). Verglichen mit den angrenzenden

Alpenregionen weist Südtirol die höchste Beherbergungsdichte und eine hohe Tourismusintensität (Verhältnis der Übernachtungen zur ansässigen Bevölkerung) auf (1). Im Jahr 2016 kamen von zehn Touristen vier aus Italien, vier aus Deutschland und je einer aus Österreich und der Schweiz. Diese Märkte bedeuten eine relativ geringe Abhängigkeit vom Luftverkehr (2,4% der Ankünfte im Winter und 5,9% im Sommer), jedoch eine hohe Abhängigkeit vom Kraftfahrzeugverkehr: 85,5% der Ankünfte im Sommer und 83% im Winter (2). Dies trägt erheblich zu den Treibhausgasemissionen bei (→ Emissionen, S. 33).

Der Sommertourismus herrscht vor – 63% der Übernachtungen fallen in die Zeit von Mai bis September –, aber auch Winteraktivitäten sind von großer Bedeutung. Traditionelle touristische Angebote wie Skifahren und andere Wintersportarten oder Wandern und Radfahren sind für klimatische Veränderungen eher anfällig, während innovativere Angebote wie Architekturtourismus weniger vom Klima abhängen.

Die Wechselbeziehung zwischen Tourismus und klimatischen Veränderungen ist sowohl in Bezug auf Klimaschutz- als auch auf Anpassungsmaßnahmen sehr komplex und zudem von globalen

INDIKATOR: TAGE MIT EINER MINDESTTEMPERATUR UNTER 0°C

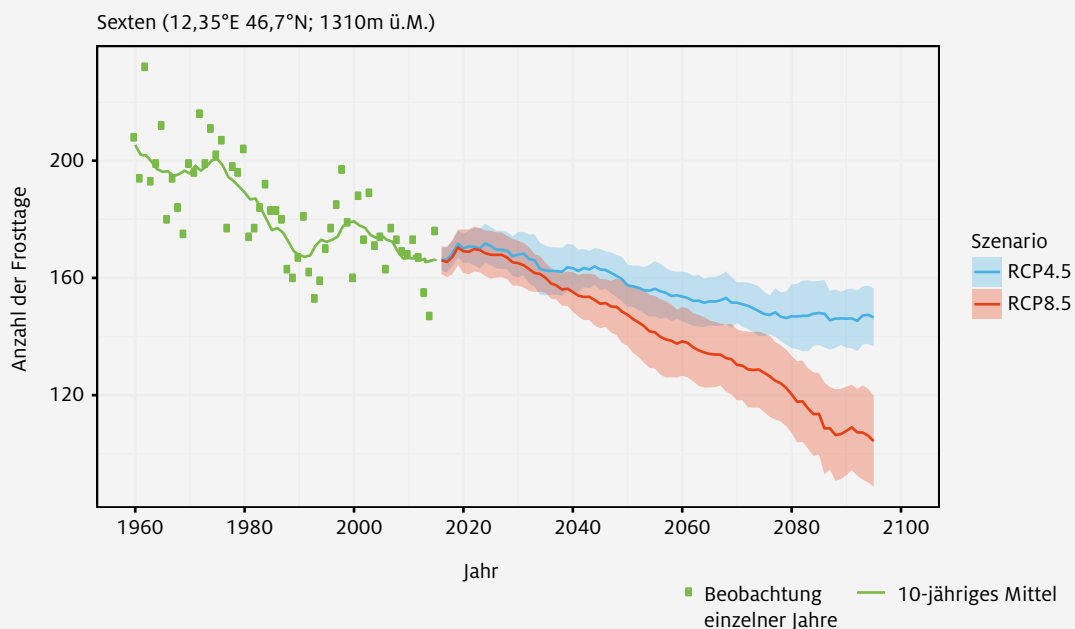


Abb. 35: Tage mit einer Mindesttemperatur unter 0°C in Sexten. Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

Dynamiken beeinflusst, etwa von der Entwicklung der neuen asiatischen Märkte oder von der terroristischen Bedrohung, die die Touristenströme generell reduzieren könnte.

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Am spürbarsten ist in Südtirol die Wintersaison von den klimatischen Veränderungen betroffen. Im Vergleich zu den Regionen nördlich des Alpenhauptkamms war Südtirol in puncto Schnee immer schon benachteiligt: Auf der Alpensüdseite schneit es weniger und der Schnee bleibt nicht so lange liegen. Hinzu kommt, dass die Schneefälle aufgrund der höheren Temperaturen weiter abnehmen (→ Schnee und Gletscher, S. 39). Ohne natürlichen Schnee gibt es keine charakteristische Winterlandschaft, und bei steigenden Temperaturen wird es immer schwieriger, Kunstschnee zu erzeugen. Als Indikator lässt sich die Anzahl der Tage mit Minimaltemperaturen unter null Grad heranziehen. In Sexten zum Beispiel ist die Anzahl dieser Tage seit 1960 bereits von über 200 auf ca. 160 gesunken; 2050 könnten es noch einmal 20 Tage weniger sein. Die Tage mit Dauerfrost (den ganzen Tag Temperaturen unter null

Grad) sind in derselben Periode von ca. 50 auf ca. 30 gesunken und könnten bis 2070 auf unter 10 Tage sinken. Aufgrund dieser Tendenzen haben sich die in Südtirol eingesetzten Kunstschneekanonen von 1995 bis 2015 mehr als verfünffacht (5) und der Wasserverbrauch ist zwischen 2007 und 2015 von 5 auf 7 Millionen Kubikmeter angestiegen (3). Damit erhöht sich natürlich auch der Stromverbrauch - er lag im Jahr 2015 um 77% höher als 2005 – und die Kosten für die Skiliftbetreiber steigen.

Trotz Kunstschnee musste die Eröffnung der Aufstiegsanlagen in einigen Fällen wegen Schneemangels verschoben werden, zum Beispiel im Skigebiet von Dolomiti Superski im Jahr 2014 (4). Generell gehen die Nutzungszahlen der Skilifte im Winter leicht zurück: 2009/2010 waren es fast 130 000 Nutzer, 2015/2016 etwas mehr als 126.000 (5). Das bedeutet aber nicht, dass weniger Wintertouristen kommen, weder absolut gesehen, noch im Verhältnis zum Sommer: In den letzten 20 Jahren zeigten die Übernachtungen einen positiven Trend und die Verteilung auf Sommer und Winter blieb gleich (60% zu 40%). Beim Sommertourismus sehen Wissenschaftler und Tourismusbetriebe positive Entwicklungen, die

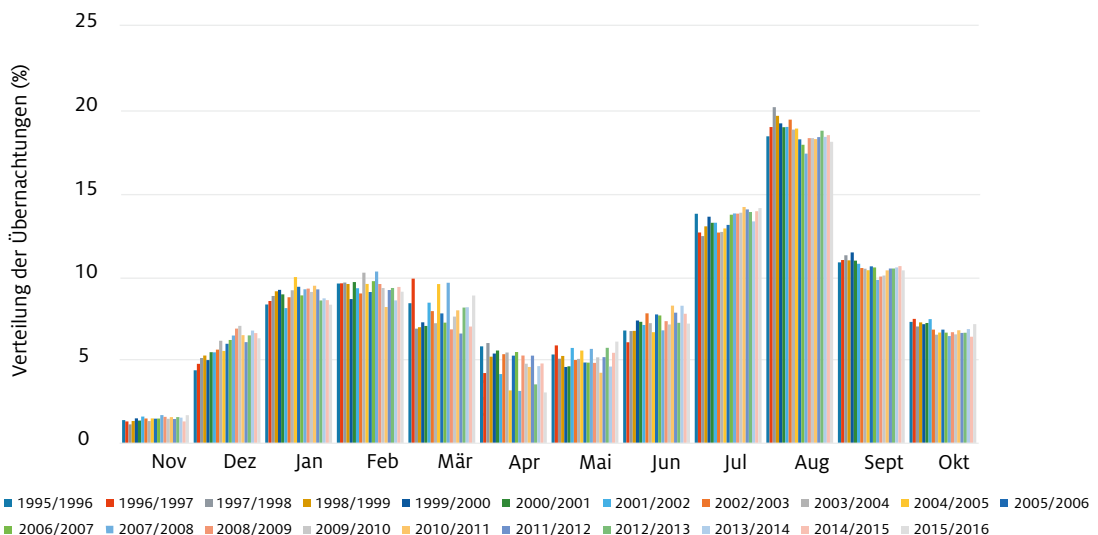
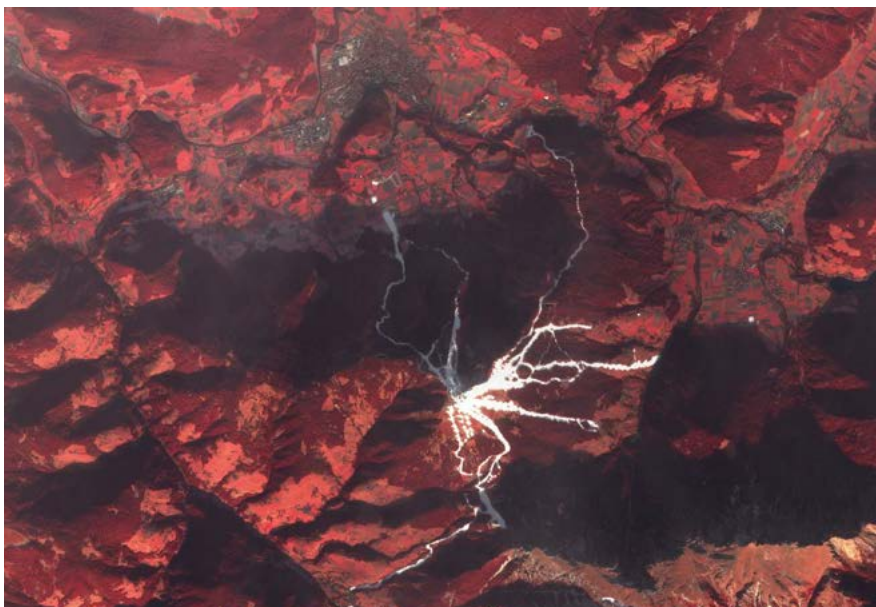


Abb. 36: Monatliche Verteilung der Übernachtungen in den zwanzig Jahren zwischen 1995/96 und 2015/16. Übereinandergelegt zeigen die Kurven der einzelnen Jahre, dass die Übernachtungen trotz Veränderungen bei den Aktivitäten (weniger Ski und mehr Wellness) in gleicher Weise über die Monate des Jahres verteilt blieben. Die Verkürzung der Wintersaison zugunsten einer längeren Sommersaison ist in Südtirol also noch nicht eingetreten.



.....
Foto und Satellitenaufnahme vom Kronplatz (11. Dezember 2015). Bis Ende Januar konnten die Pisten nur dank künstlicher Beschneigung befahren werden.



auch vom Klimawandel beeinflusst sind. Steigende Temperaturen veranlassen die Touristen dazu, ihren Sommerurlaub in den Bergen zu verbringen; Sport- und Freizeitaktivitäten in höheren Lagen werden zunehmend attraktiv. Der Radtourismus mit Unterstützung durch Lifte hat großes Potential (auch mit E-Bikes). All dies könnte bedeuten, dass Aufstiegsanlagen sogar bei weiter abnehmenden Schneefällen wirtschaftlich zu betreiben sind. Tatsächlich zeigt sich ein Trend zur vermehrten Nutzung der Lifte auch im Sommer: Die Zahl der transportierten Gäste stieg von 3,7 Millionen im Sommer 1996 auf 7,8 Millionen im Sommer 2015. Gebremst werden könnte diese Entwicklung allerdings durch die mit dem Klimawandel zunehmende Gefahr von Erdbeben, Lawinen

und Steinschlägen. Ereignisse dieser Art können sowohl Wandergebiete in den Bergen als auch das Verkehrsnetz treffen (→ Verkehrsinfrastrukturen, S. 96), mit den entsprechenden Sicherheitsproblemen und höheren Instandhaltungskosten auch für touristische Infrastrukturen wie Schutzhütten und Aufstiegsanlagen.

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Wissenschaftler und Tourismusbetriebe prognostizieren, dass die Folgen des Temperaturanstiegs zunehmend stärker spürbar werden. Die künftigen Probleme der Skigebiete haben Martin Beniston und seine Arbeitsgruppe an der Universität Genf

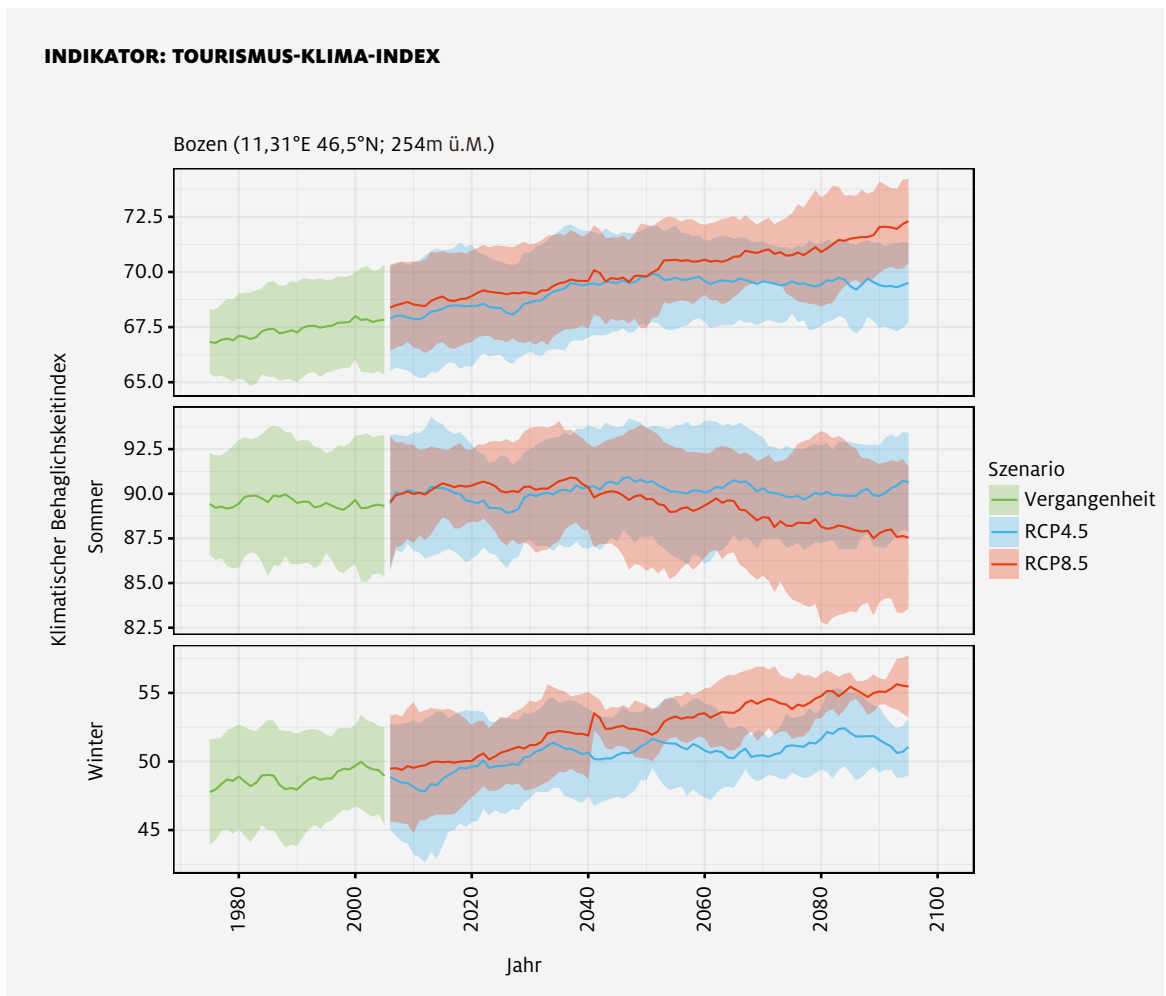


Abb. 37: Indikator Tourismus-Klima-Index für die Stadt Bozen. (Daten: WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research nach Tourismusindex nach Mieczkowski)

analysiert: Die Kosten für Kunstschnee werden steigen, außerdem könnte der Wasserverbrauch zu Konflikten mit anderen Sektoren führen (6).

Für Südtirol erwarten wir, dass sich die Wintersaison verkürzt, der Sommertourismus dagegen zunimmt. Zwei Studien untermauern diese Einschätzung: Die erste untersucht, wie veränderte Klimabedingungen sich auf den von Touristen empfundenen „klimatischen Komfort“ auswirken; die zweite Studie analysiert mögliche wirtschaftliche und soziale Entwicklungen in den wichtigsten Herkunftsländern und ihren Einfluss auf Ankünfte und Nächtigungen.

Zur Untersuchung der klimatischen Bedingungen im Hinblick auf den Tourismus ziehen Wissenschaftler normalerweise den Tourism Climate Index (TCI) heran, einen Indikator, der den von Touristen empfundenen klimatischen Komfort umfassend bewertet (7). Der TCI beurteilt Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschläge, Sonneneinstrahlung und Belüftung in Bezug auf touristische Outdoor-Aktivitäten. Werte zwischen 40 und 80 sind akzeptabel, liegt der TCI über 80 werden die klimatischen Bedingungen als komfortabel empfunden. Der TCI für Südtirol zeigt (→ Abb. 37), dass die klimatische Situation in der schon relativ warmen Gemeinde Bozen auch in Zukunft komfortabel sein wird: Selbst das negativste Szenario

lässt für das Jahr 2080 immer noch Werte über 80 erwarten. Urlaubsziele in größeren Höhen werden im Vergleich zu heute einen größeren klimatischen Komfort bieten.

In einer anderen Studie zu Südtirol werden Klimaentwicklungen und die Dynamik der Ankünfte und Nächtigungen im Zusammenhang betrachtet (8). Das Modell WEDDA-RDM (Weather Driven Demand Analysis Regional Distribution Model) berücksichtigt die Variablen des TCI ebenso wie die sozioökonomischen Trends der wichtigsten touristischen Märkte Südtirols (9). Die Ergebnisse legen zwei Entwicklungsszenarien nahe: das eine mit unveränderter wirtschaftlicher Entwicklung (RCP8.5/SSP5), das andere mit einer moderateren und je nach Ländern ungleichen Entwicklung (RCP4.5/SSP4). Bei beiden Szenarien nehmen die Nächtigungen generell zu, im Szenario business-as-usual gehen sie im Winter jedoch deutlich zurück, während sie im Sommer und in der Zwischensaison zunehmen. **Bis zum Jahr 2080 könnte sich die jahreszeitliche Verteilung Winter-Sommer, die in den vergangenen Jahren stabil bei 40%/60% lag, in Richtung Sommer verschieben**, sogar bis zu einem Verhältnis von 23%/77%. Eine derartige Steigerung beim Sommertourismus bedeutet mehr Autoverkehr, auch weil die Mobilität im Sommerurlaub größer ist als im

INDIKATOR: JAHRESZEITLICHER VERLAUF DER NACHFRAGE

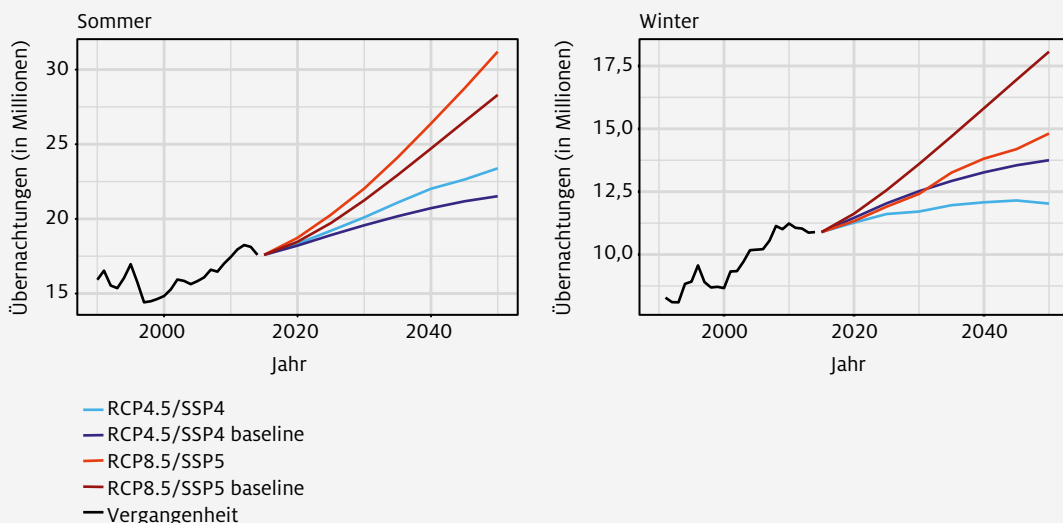


Abb. 38: Übernachtungen im Sommer; Übernachtungen im Winter. Das Szenario RCP8.5/SSP5 entspricht einer unveränderten wirtschaftlichen Entwicklung, das Szenario 4.5/SSP4 einer moderateren und je nach Ländern ungleichen Entwicklung. „Baseline“ bezieht sich auf Szenarien ohne Klimaveränderungen. (Daten: Landesinstitut für Statistik ASTAT und Eurac Research. Darstellung: Eurac Research)

Winter. Eine Schätzung auf Grundlage des Modells WEDDA-RDM zeigt, dass sich das Verkehrsaufkommen im August zu Spitzenzeiten im Vergleich zu heute fast verdoppeln könnte. Ohne geeignete Strategien könnte das Straßennetz die Grenzen seiner Kapazität erreichen: Die Folge wären Staus, Lärmbelastung und noch mehr Flächenverbrauch durch Parkplätze.

Die mit der geologischen Instabilität verbundenen Risiken werden größer, sowohl Straßen als auch Wanderwege werden öfter von Ereignissen wie Muren oder Felsstürzen betroffen sein, wodurch ihre Nutzung immer stärker eingeschränkt wird.

MASSNAHMEN ZU KLIMASCHUTZ UND -ANPASSUNG

Im Rahmen des europäischen Projekts Alpine Space ClimAlpTour haben wir gemeinsam mit unseren Partnern verschiedene, in engem Zusammenhang stehende Schutz- und Anpassungsmaßnahmen definiert (10). Im Folgenden eine Zusammenfassung:

- ❑ **Normative Strategien zum Schutz der Natur, der Landschaft und der Umwelt.** Ein Beispiel dafür sind in Südtirol die „Richtlinien für die Wassernutzungen zur Erzeugung von Kunstschnee“, Beschluss der Landesregierung Nr. 2691 vom 25.07.2005;
- ❑ **Marktwirtschaftlich orientierte Strategien, die finanzielle Anreize für den Klimaschutz schaffen.** Beispiele sind Zuschüsse zur energetischen Sanierung für Kleinunternehmen des Hotelsektors, oder die finanzielle Förderung von Energieaudits;
- ❑ **Strategien, die die freiwillige Verhaltensänderung innerhalb des Sektors fördern,** um die Auswirkungen des Tourismus auf das Klima einzudämmen, etwa die Zertifizierung „KlimaHotel“, oder die Bereitstellung von Fahrkarten für den öffentlichen Nahverkehr für die Urlaubsgäste;
- ❑ **Innovative, marktorientierte Strategien, die den Wandel proaktiv begleiten und neue Konzepte und Angebote entwickeln.** Ein Beispiel ist die Marke „Dolomiti SuperSummer“, unter der das Skigebiet „Dolomiti Superski“ im Sommer beworben wird, oder generell die Diversifizierung des touristischen Angebots.

Literatur

1. Autonome Provinz Bozen - Landesinstitut für Statistik (2014): Tourismus in einigen Alpengebieten. Mitteilung Nr. 09/2015, http://astat.provincia.bz.it/news-pubblicazioni.asp?news_action=4&news_article_id=513053
2. Landesinstitut für Statistik und Eurac Research, Projekt Gästebarmeter
3. <http://ambiente.provincia.bz.it/acqua/innevamento-programmato.asp> (Letzter Zugang: Februar 2018)
4. <http://altheadige.gelocal.it/bolzano/cronaca/2014/12/05/news/plan-de-corones-apre-soltanto-una-pista-1.10442092?ref=search>, <http://altheadige.gelocal.it/bolzano/cronaca/2014/11/28/news/le-piste-da-sciniviano-il-debutto-1.10398149?ref=search>
5. Autonome Provinz Bozen - Landesinstitut für Statistik (ASTAT) (2016): Seilbahnen in Südtirol. Schriftenreihe 204, http://astat.provinz.bz.it/de/aktuelles-publikationen-info.asp?news_action=4&news_article_id=589814
6. Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J., Magnusson, J., Marty, C., Moran-Tejeda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., and Vincent, C. (2017): The European mountain cryosphere: A review of past, current and future issues. The Cryosphere, <https://doi.org/10.5194/tc-2016-290>
7. Mieczkowski, Z. (1985): The Tourism Climate Index: A Method of Evaluating World Climates for Tourism. The Canadian Geographer, 29 (3), <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x/abstract>
8. Cavallaro, F., Ciari, F., Nocera, S., Prettenhaler, F., Scuttari, A. (2017): The impact of climate change on tourist mobility in mountain areas. Journal of Sustainable Tourism, 25 (8), <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09669582.2016.1253092?journalCode=rsus20>
9. Prettenhaler, F. und Kortschak, D. (2015): The effects of climate change on Alpine skiing tourism a European approach (The Economics of Weather and Climate Risks Working Paper Series No. 2/2015). Graz: Joanneum Research.
10. http://www.alpine-space.org/2007-2013/projects/projects/detail/ClimAlpTour/show/index.html#project_outputs (Letzter Zugang: Februar 2018)
11. Landesamt für Statistik, Report "Auswirkungen des Tourismus auf die Wirtschaft – Die Verwendung des Tourismus-Satellitenkontos", Mitteilung Nr. 15/2012 http://astat.provinz.bz.it/de/aktuelles-publikationen-info.asp?news_action=4&news_article_id=389254

Verkehrs- infrastrukturen

FEDERICO CAVALLARO



AUSGANGSLAGE

Die Verkehrsinfrastrukturen Südtirols umfassen Straßen, Eisenbahnen und einen zivilen Flughafen; dazu werden einige Flüsse und Seen für Erholungszwecke genutzt. Straßen- und Schienenverlauf sind von der Beschaffenheit der weitgehend bergigen Landschaft bestimmt. Die Haupttrouten folgen den Tälern, wegen der morphologischen Beschaffenheit verlaufen viele in Tunnel, über Brücken oder Viadukte – Bauwerke mit hohen Konstruktions- und Instandhaltungskosten. Der Straßendienst der Provinz verwaltet 1662 Brücken (im Schnitt eine auf 1,2 Straßenkilometern) und 206 Tunnel mit insgesamt circa 61km Länge. Diese Bauwerke sind besonders stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Auch Straßen- und Zuglinien über Bergpässe, die wichtige regionale und internationale Verkehrsverbindungen darstellen, sind besonders anfällig, da die Höhe und die starken Temperaturschwankungen z. B. die Abnutzung des Asphalts beschleunigen. Die wichtigste

dieser Verkehrsachsen ist zweifellos der Brenner mit seiner relativ geringen Höhe und der mäßigen Steigung: Keinen Alpenübergang passieren mehr Fahrgäste oder Fahrzeuge, keinen überqueren größere Frachtmengen. Im Jahr 2016 wurden ca. 33,5 Millionen Tonnen Fracht über die Brennerautobahn transportiert und im Durchschnitt passierten täglich mehr als 23.500 Fahrzeuge die Grenze (1).

AUSWIRKUNGEN HEUTE

Verkehrsinfrastrukturen sind relativ widerstandsfähig, was Veränderungen der äußeren Bedingungen betrifft, vor allem wenn diese Veränderungen nicht plötzlich, sondern allmählich eintreten. Südtirol ist hier keine Ausnahme: Derzeit verursachen steigende Temperaturen oder zurückgehende Niederschläge noch keine besonderen Probleme. Dennoch leidet das System unter extremen Ereignissen wie sie durch den Klimawandel häufiger werden – etwa Erdbeben, Überschwemmungen, Steinschlag oder außergewöhnliche Niederschläge. Die offenkundigsten Auswirkungen sind Unterbrechungen des Verkehrs. Aufsehenerregende Fälle sind aus der Presse bekannt, doch gibt derzeit kein systematisches Verzeichnis Aufschluss über Anzahl, Dauer und Kosten dieser Unterbrechungen. Am stärksten betroffen ist die Eisenbahn, da es hier im Unterschied zum Straßenverkehr bei Unterbrechungen keine Alternativrouten gibt. Am 24. Juni 2017 kam es z. B. nach starken Niederschlägen zu einem Erdbeben an der Brennerstrecke in der Nähe des Pflerschtals und die Strecke musste teilweise stillgelegt werden. Am späten Abend des 5. August 2017 verursachte ein heftiges Gewitter im Pustertal Überflutungen und einen Erdbeben, der 4 Kilometer von Olting entfernt einen Regionalzug mit 80 Personen an Bord blockierte; die Strecke blieb bis zum nächsten Tag unterbrochen.

Straßen	Eisenbahn	Flughafen
116 km Autobahn Modena-Brenner (A22) 815 km Staatsstraßen 1.321 km Landesstraßen 2.823 km Gemeindestraßen 1.988 km Feld- und Forstwege	289 km insgesamt, davon: - 277 km mit Normalspur (1.435 mm) • 120 km Brennerbahn (Brenner-Salurn) • 32 km Bozen-Meran, • 60 km Vinschgau (Meran-Mals) • 65 km Pustertal (Franzensfeste-Innichen) • 12 km mit Schmalspur Rittnerbahn	Bozen Keine Linienflüge Charterflüge zwischen Mai und August

Auch den Straßenverkehr können Erdbeben und Felsbrocken behindern. Die vielen Kurven erhöhen außerdem das Risiko, dass Fahrer die Hindernisse nicht rechtzeitig sehen und es zu Unfällen kommt. Da solche Ereignisse kaum vorhersehbar sind und das Straßennetz weit verzweigt ist, kann der Straßendienst der Provinz nur punktuell Vorkehrungen treffen. Straßenabschnitte mit erhöhtem Steinschlagrisiko werden z. B. mit Schutzmauern oder Netzen gesichert. Nur in extremen Fällen entscheidet man sich dafür, neue, sicherere Infrastrukturen zu errichten. Dies war bei der Staatsstraße 12 nördlich von Atzwang der Fall, die in der Vergangenheit so häufig von Steinschlag betroffen war (2), dass man beschloss, durch einen Tunnel eine neue Straße zu bauen. Auch Hochwasser führte schon zu beträchtlichen Problemen. Der Pedrossbach im oberen Vinschgau überschwemmte z. B. am 11. Juli 2016 die Landesstraße 49 und die Brücke in Langtaufers vollständig. Der Straßendienst errichtete eine neue Ufermauer, um künftig Überschwemmungen zu verhindern (3). Besonders schädlich sind starke Niederschläge für unbefestigte Straßen: Der Regen wäscht das Straßenbett aus und macht die Straßen oft unpassierbar. Da es in Südtirol zwar sehr viele Straßen

dieser Art gibt, sie aber wenig befahren werden, müssen bei den Maßnahmen zu ihrer Sicherung Kosten und Nutzen abgewogen werden.

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN IN ZUKUNFT

Die Auswirkungen auf die Infrastruktur sind je nach Jahreszeit verschieden. Einerseits bedeuten wärmere Winter niedrigere Instandhaltungskosten – z. B. braucht man weniger Streusalz, um zu verhindern, dass sich auf dem Straßenbelag Eis bildet. Mit weniger Schnee und Eis wird der Verkehr sicherer.

Ebenfalls abnehmen wird die Zahl aufeinanderfolgender Frost-Tau-Zyklen, die die Straßenoberflächen beschädigen, vor allem in niedrigeren Höhen. In einem business-as-usual-Szenario mit unverändertem Anstieg der Emissionen (RCP8.5) wird es bis zum Jahr 2100 weniger als 50 Tage im Jahr geben, an denen die Temperatur unter 0°C fällt – heute sind es 80 Tage. (→ Abb. 39).

In den Übergangszeiten erhöhen sich die Instandhaltungskosten, weil die Vegetation entlang der Verkehrswege durch die höheren Temperaturen schneller wächst. Außerdem erhöht sich

INDIKATOR: ANZAHL DER TAGE, AN DENEN DIE TEMPERATUR DIE GRENZE VON 0°C UNTERSCHRITTEN HAT

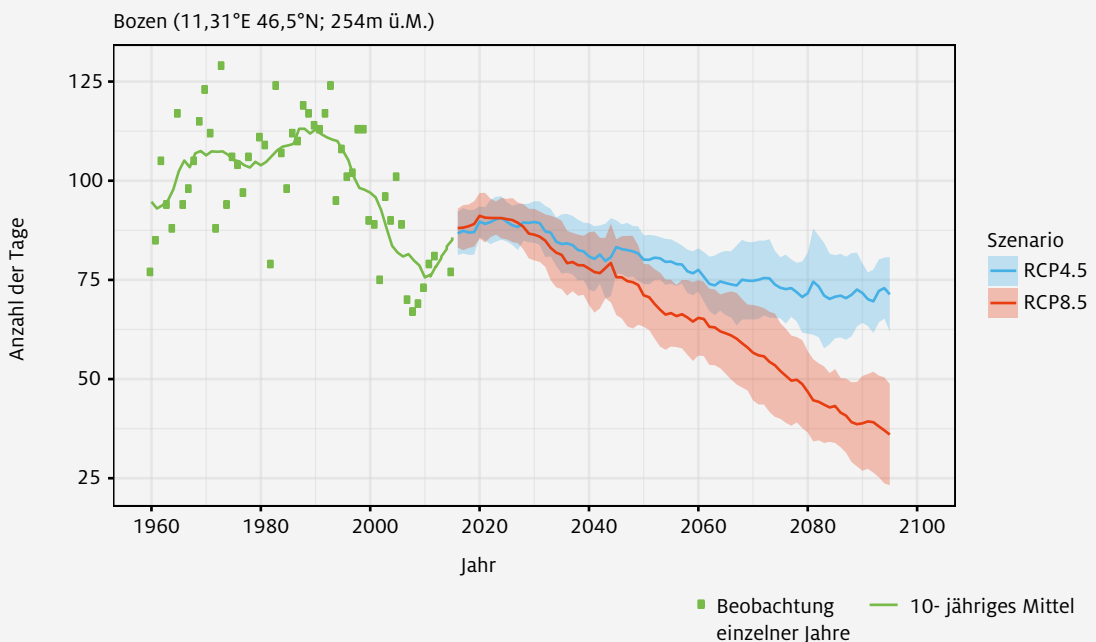


Abb. 39: Anzahl der Tage, an denen die Temperatur die Grenze von 0°C unterschritten hat. (Daten: WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)



Oben: August 2017:
Die Staatsstraße zwischen
Toblach und Schluderbach
ist wegen mehrerer Mur-
abgänge gesperrt.
Unten: 9. Januar 2018:
Die Vinschger Bahnlinie
ist wegen einer Mure bei
Göflan unterbrochen.



die durchschnittliche Temperatur des Asphalts. Um diese Erhöhung für die heißesten Tage eines Jahres abzuschätzen, haben wir das Verhältnis von Umgebungstemperatur und Bodentemperatur herangezogen und das Jahr 1971 als Bezugsjahr genommen – das Ergebnis für die zwei Szenarien RCP45 und RCP85 zeigt Abbildung 40. Auf alle Fälle sind die gravierendsten Auswirkungen im Sommer zu erwarten, vor allem wenn man die immer häufigeren Extremereignisse berücksichtigt. Hitzewellen können Probleme im Eisenbahnverkehr verursachen, etwa weil bei Lokomotiven, die nicht für solche Temperaturen konstruiert sind, häufiger Schäden auftreten. Empfindliche

Infrastrukturen können durch die Hitze ebenfalls Schaden erleiden, z. B. wenn sich die Dehnungsfugen an Viadukten ungewöhnlich ausweiten. Eisenbahnschienen können sich seitlich verschieben oder ihre parallele Ausrichtung verlieren: Um Entgleisungen zu vermeiden, müssen Züge in diesem Fall langsamer fahren. Der Verbrauch sowohl von Kraftstoff wie von Strom wird zunehmen, wenn die Temperaturen steigen und gleichzeitig immer mehr Menschen und Waren transportiert werden: Wir werden häufiger die Klimaanlage einschalten und die Fahrzeuge verbrauchen mehr Treibstoff um die gleiche Leistung zu erbringen. Sehr heißes Wetter

verschlechtert die Reifenfunktion, beim Kontakt mit dem Asphalt muss mehr Widerstand überwunden werden.

Mit zunehmender Trockenheit erhöht sich im Sommer das Risiko von Bränden; sie können Verkehrsprobleme verursachen oder vorübergehende Streckenschließungen erforderlich machen. Starkregenfälle können zu ähnlichen Problemen führen (siehe Kapitel Siedlungen). Häufigere Verkehrsunterbrechungen wird es auch aufgrund von Schutt und Geröll auf Straßen und Eisenbahnschienen geben.

Wegen extremer Wetterereignisse kann es schließlich auch beim Luftverkehr zu Verspätungen und Flugannullierungen kommen. Südtirol ist davon bislang kaum betroffen, da der Flughafen Bozen

nur im Sommer von Chartermaschinen angefliegen wird. Dass sich dies in Zukunft ändert ist jedoch nicht auszuschließen.

MASSNAHMEN ZU KLIMASCHUTZ UND -ANPASSUNG

Technische Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel betreffen drei verschiedene Phasen: Planung und Verwirklichung neuer Bauvorhaben, Eingriffe an bestehenden Infrastrukturen und Maßnahmen nach eingetretenem Ereignis. Der Zeithorizont kann dabei jeweils unterschiedlich sein: Nach einem extremen Ereignis wie einem Erdbeben müssen Infrastrukturen unmittelbar wiederhergestellt werden, Instandhaltungsarbei-

INDIKATOR: DURCHSCHNITTliche ÄNDERUNG DER ASPHALTTEMPERATUR IN % AN DEN 7 HEISSESTEN TAGEN DES JAHRES (1971-2000 = 100%)

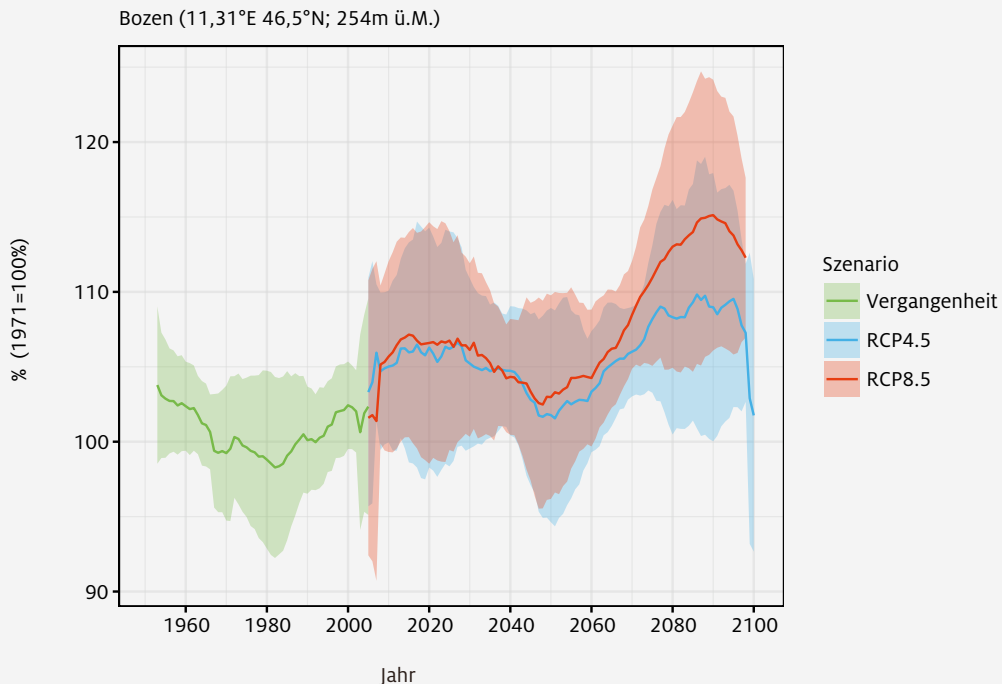


Abb. 40: Durchschnittliche Änderung der Asphalttemperatur in % an den 7 heißesten Tagen des Jahres (1971-2000 = 100 %). (Daten: WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

ten sind mittelfristig zu planen und neue Bauvorhaben langfristig.

Um die Verkehrsinfrastrukturen an den Klimawandel anzupassen empfiehlt es sich:

- Bei Straßen **temperaturbeständigere Asphalte** zu **verwenden**;
- Bei Eisenbahnen **die Schienenstöße zu verschweißen statt zu verschrauben**, um Deformationen und Fehlausrichtungen wirkungsvoller auszugleichen;
- **Effiziente Systeme zum Kühlen der elektrischen Komponenten** einzuführen;
- Die **Wartungsintervalle** bei Verkehrsinfrastrukturen und Fahrzeugen zu **verkürzen**;
- **Fahrgeschwindigkeiten und Maximallasten** zu **verringern**;

- **Gefahrenzonenpläne auszuarbeiten, aus denen ersichtlich ist, welche Infrastrukturen besonderen Risiken durch Extremereignisse ausgesetzt sind** und durch welche Maßnahmen Verkehrsverbindungen wiederhergestellt werden können.

Technische Lösungen allein reichen aber nicht aus, um den Folgen des Klimawandels entgegenzuwirken. Wichtig sind Strategien, um die Verkehrsemissionen zu reduzieren und die Mobilitätsmuster zu ändern – also auch die Gewohnheiten und Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer.

Literatur

1. Lückge, H., Heldstab, J., Cavallaro, F., Vivier, S., Kistler, R., Joos-Widmer N. (2018): iMONITRAF! Annual Report 2017. Political support for Toll Plus & agenda setting for a new phase. <http://www.imonitraf.org/DesktopModules/ViewDocument.aspx?DocumentID=fqk2jWTCaHk=> (Letzter Zugang: Februar 2018)
2. Autonome Provinz Bozen (2014): Vorgesehene dreiwöchige Schließung der Staatsstraße 12 in Atzwang. http://www.provinz.bz.it/news/it/news.asp?news_action=4&news_article_id=450477 (Letzter Zugang: Februar 2018)
3. Autonome Provinz Bozen, 2016. Langtaufers: Straßensicherungsmaßnahmen nach dem Unwetter, http://www.provincia.bz.it/aeroporto/news.asp?news_action=4&news_article_id=553505

Gesundheit



WAS TUN BEI HITZEWELLEN?

IM GESPRÄCH MIT MATTEO VISCHI VON DER AGENTUR FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN

Die Auswirkungen von Hitzewellen auf die menschliche Gesundheit beschäftigen die zuständigen Stellen seit Jahren. Das Gesundheitsministerium ruft in Informationskampagnen zur Vorsorge auf, der italienische Zivilschutz führt in 27 Städten, darunter Bozen, seit 2004 ein umfassendes Monitoring durch. Und in Bozen, Leifers und Meran wurden Aufnahmezentren eingerichtet, in denen gefährdete Bevölkerungsgruppen bei extremer Hitze kühle Zuflucht finden. Außerdem bauen Zivilschutz und Provinzverwaltung ein lokales Monitoringsystem auf.

Ist demnach alles unter Kontrolle?

Die einzelnen Institutionen leisten ausgezeichnete Arbeit. Doch natürlich können wir noch einiges verbessern. Das wichtigste ist, sich von der Logik des Notstands zu lösen: Allgemein herrscht noch immer die Vorstellung, bei Hitzewarnung solle der Zivilschutz aktiv werden und womöglich Wasserflaschen auf der Straße verteilen. Dabei sollte jeder von uns eine Wasserflasche dabei haben, wenn es sehr heiß ist. Wir müssen also noch stärker bei der Prävention ansetzen.

Ganz konkret wie?

Indem wir die Informationen aus verschiedenen Quellen – die Kampagnen des Ministeriums, der Provinz und des Zivilschutzes – besser aufeinander abstimmen. Wichtig ist auch, für jede Bevölkerungsgruppe die geeigneten Informationskanäle zu wählen: Ältere Bürger etwa sind gut per Brief zu erreichen, Touristen über die Hotels; nicht zu vergessen die Möglichkeiten, die die neuen Technologien bieten. Wir müssen also überdenken, was wir der Bevölkerung kommunizieren, und wie wir es am wirkungsvollsten tun können.

Durch das Fernsehen und die Zeitungen haben wir uns an den roten Warnpunkt gewöhnt – ist der nicht hilfreich?

Der Warnpunkt war ursprünglich als Arbeitsinstrument gedacht, vor allem für die Kommunikation zwischen den Monitoring-Stellen und den Gemeinden. Das nationale Kompetenzzentrum für Hitzewellen in Rom erhält aus den ausgesuchten Gemeinden Jahr für Jahr Informationen zu verschiedenen Aspekten: Temperatur, Feuchtigkeit, Todesfälle, in den Notaufnahmen behandelte Patienten mit bestimmten Symptomen. Ein Algorithmus erstellt aus diesen Daten Vorhersagemodelle und klassifiziert mögliche Risikosituationen durch farbige Punkte. Der rote Punkt bedeutet, dass erhöhte Aufmerksamkeit angebracht ist, weil sich in einem Gebiet kritische Bedingungen ankündigen. Leider aber wird der rote Punkt in den Medien oft emotional aufgeladen und sorgt deshalb für Beunruhigung. Die Menschen kontrollieren dann ständig das Thermometer, um zu sehen, ob es tatsächlich auf die in den Nachrichten angekündigten Rekordtemperaturen steigt, anstatt ein paar einfache, aber sehr nützliche Vorbeugemaßnahmen zu treffen.

Wie ist diesem Phänomen beizukommen?

Wir sollten den Menschen nicht nur Daten liefern, sondern ihre Bewertung. Eine Temperatur von 38 Grad bedeutet an sich noch kein Problem: Es ist vielmehr die Kombination verschiedener Faktoren, die für empfindlich reagierende Menschen riskant werden kann – zum Beispiel Tage und Nächte mit sehr hohen Durchschnittstemperaturen. Wir müssen lernen, mit der Hitze zu leben, es sollte zur Normalität werden.

Zu der auch Aufnahmezentren für gefährdete Personen gehören, etwa jene der Initiative „Sommerfrische in der Stadt.“

Generell haben Einrichtungen, die das gesellschaftliche Miteinander fördern, große Bedeutung, denn am gefährdetsten sind jene Menschen, die allein sind. In diesem Sinne sollten wir noch mehr in „schützende“ Einrichtungen investieren, die das ganze Jahr über verschiedene Dienste anbieten und so zur Anlaufstelle werden. Die Beziehungen, die Menschen hier knüpfen, erweisen sich dann oft auch außerhalb der Einrichtung als wertvoll.



INSEKTEN ALS KRANKHEITSÜBERTRÄGER

INTERVIEW MIT ALBERTA STENICO, DIREKTORIN DES BIOLOGISCHEN LABORS DER LANDESUMWELTAGENTUR DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN.

Was sind die wichtigsten Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit?

Ich bemerke eine zunehmende Verbreitung von Insekten, die Virusinfektionen übertragen. An erster Stelle steht die Asiatische Tigermücke, die auch lebensbedrohende Krankheiten wie Denguefieber und Chikungunyafieber übertragen kann. In Südtirol wurde diese Art zum ersten Mal 2010 entdeckt, heute ist sie dauerhaft in Höhen von 400-500 Metern vorgedrungen. Zum Saisonende 2017 haben wir an den 143 Probestellen mehr als 220.000 Eier gezählt; 2016 waren es weniger als 150.000 und 2014 etwas mehr als 60.000. Wir sind überrascht, mit welcher Geschwindigkeit sich diese Art ausbreitet, begünstigt auch dadurch, dass die Menschen heute mobiler sind und Larven und Mücken mit sich tragen.

Inwieweit hängt die Ausbreitung der Tigermücke mit dem Klimawandel zusammen?

Die Larven überleben, weil die Winter milder sind. Auch im Jahr 2017, das kälter als das Vorjahr war, haben die Fröste nicht lange genug angehalten. Generell begünstigen die steigenden Temperaturen die Ausbreitung auch in höhere Lagen. Vor allem aber passen sich die Tigermücken überraschend gut an: Sie können zum Beispiel 24 Stunden bei -11°C überleben. Im Trentino verbreitet sich zudem die Koreanische Mücke, die inzwischen auch Südtirol erreicht hat. Und in der Region Friaul-Julisch Venetien kommt eine dritte, gleichermaßen aggressive Mückenart vor. Wir haben guten Grund anzunehmen, dass auch sie bis Südtirol kommen wird.

Welcher statistische Zusammenhang besteht zwischen der Anzahl der Mücken und dem Auftreten von Infektionskrankheiten?

Mücken sind Überträger für verschiedene Tropenkrankheiten. Internationale Studien belegen die Korrelation zwischen der Anzahl der Mücken und der Wahrscheinlichkeit einer Ansteckung mit diesen Krankheiten. Früher bestand diese Gefahr nur in tropischen Ländern. Im Jahr 2007 brach jedoch in Italien eine Chikungunyafieber-Epidemie aus: In einem

Dorf bei Ravenna erkrankten 10% der Einwohner, es gab ein Todesopfer. Die in Südtirol bestätigten Fälle wurden allerdings im Ausland angesteckt.

Was kann man tun?

Man kann den Lebenszyklus der Mücken erfolgreich unterbrechen: Alle kleinen, stehenden Wasseransammlungen müssen beseitigt werden; ist dies nicht möglich, muss man geeignete Larvizide einsetzen. Wichtig ist, dass Institutionen und Bürger zusammenarbeiten. Die Gemeinden sind für Präventionsmaßnahmen an öffentlichen Orten zuständig, zum Beispiel für die Verteilung von Larviziden in den Abflussskanälen. Die Bürger dagegen müssen ihre Gärten, Balkone und Wohnungen kontrollieren und alle Wasseransammlungen – etwa in Blumenuntersetzern – beseitigen oder mit Larviziden behandeln.

Gibt es neben der Tigermücke andere wichtige Krankheitsüberträger?

Mit den Zecken haben wir es schon lange zu tun. Es ist nicht so einfach, die Ausbreitung zu überwatchen, aber heute ist es nicht ungewöhnlich, Zecken bis auf 1600 Meter Höhe zu finden, während sie vor ein paar Jahren auf Höhen über 800 Meter nicht präsent waren. In Südtirol registrieren die Ärzte seit 2000 jedes Jahr einen oder zwei Fälle von FSME (Frühsommer-Meningoenzephalitis). Im Jahr 2016 traten 14 Fälle auf. Bei den Zecken können wir nicht in den Reproduktionszyklus eingreifen, aber es gibt vorbeugende Maßnahmen: geschlossene Kleidung, Sprays und Impfstoffe.

Sind Cyanobakterien wie die Blaualgen ein Problem für Badende?

Diese Organismen sind in allen Badeseen vorhanden, sie erreichen aber derzeit nicht die Grenzwerte. Sie vermehren sich bei Wassertemperaturen über 28°C und bei hohen Phosphatkonzentrationen. Um sie einzudämmen, kümmern sich die Gemeinden und das Biologische Labor der Landesumweltagentur um die Pflege der Seen, z. B. um die Beseitigung von Pflanzen. Auf diese Weise wird die Phosphatkonzentration gering gehalten und die Verbreitung der Cyanobakterien gehemmt.





 Oben: Tigermückenlarven

Unten: Eiablagefallen zum Monitoring von Tigermücken. Die mit Wasser gefüllten Behälter werden an beschatteten Standorten aufgestellt; sie sind mit einem rauen Holzbrettchen versehen, auf dem die Weibchen ihre Eier ablegen. Die Fallen, mehrere Dutzend in verschiedenen Gemeinden, werden von Mai bis Oktober alle zwei Wochen beprobt.



*Was können
wir tun?*
**Klimaschutz
und -anpassung**

THOMAS STREIFENER
MIRIAM L. WEIß

5

Was tut Südtirol für den Klimaschutz? Was könnte besser gemacht werden? Ist das Land auf die Folgen des Klimawandels vorbereitet? Welche Anpassungsmaßnahmen werden schon getroffen, was sollte in Angriff genommen werden? Wie kann jeder von uns zum Klimaschutz beitragen?

Um diese Fragen zu beantworten, untersuchen wir in diesem Kapitel Strategien und Gesetze, analysieren sektorübergreifende Schlüsselbereiche wie z. B. das Wassermanagement und präsentieren positive Beispiele aus anderen Regionen. Schließlich geben wir konkrete Handlungsempfehlungen.

POLITIK UND VERWALTUNG

STRATEGIEN, PLÄNE, PROJEKTE

Südtirol definiert sich als „KlimaLand“ und „Green Region“. Im Vordergrund steht dabei der **Klimaschutz**. Diesem widmet sich das strategisch wichtigste Dokument, der 2011 veröffentlichte Klimaplan „Energie-Südtirol-2050“. Er setzt auf regionaler Ebene die nationale Energiestrategie um (Strategia Energetica Nazionale, SEN). Der Klimaplan setzt ehrgeizige Ziele: Bis 2050 sollen die CO₂-Emissionen auf unter 1,5t/Jahr/Person sinken (das bedeutet in etwa eine Reduzierung von zwei Dritteln) und erneuerbare Energieträger über 90% des Energiebedarfs abdecken (derzeit: ca. 70%); die energetische Dauerleistung soll auf unter 2200 Watt/Jahr/Person verringert werden (derzeit: ca. 2700 Watt, das entspricht 27 laufend eingeschalteten 100-Watt-Glühlampen für jeden Einwohner – die Energie von fünf müsste jeder einsparen).

Auf lokaler Ebene haben die Städte Bozen, Meran und Brixen, das Passeiertal sowie das Hochpustertal in Zusammenarbeit mit Eurac Research im Rahmen des Europäischen Konvents der Bürgermeister Aktionspläne für nachhaltige Energie

verabschiedet (1). Ebenfalls auf Gemeinde- oder Bezirksebene existieren Mobilitätspläne, die auf umweltfreundlichere Verkehrsformen setzen, bzw. werden solche Strategien gerade entwickelt (z. B. NaMoBu – Nachhaltige Mobilität Burggrafenamt, SMP – Städtischer Mobilitätsplan 2020 Bozen). Das Maßnahmenpaket „Green Mobility“ des Landes will Südtirol zu einer Modellregion für nachhaltige alpine Mobilität machen und sieht u. a. Zuschüsse für den Neukauf von Hybrid-plug-in-Autos (2000 Euro) und Elektroautos (4000 Euro) vor; bis Ende 2018 sind ungefähr weitere 20 Ladestationen vorgesehen (derzeit 50), möglich sind laut der Alperia AG weitere 50 bis 80 Ladepunkte. Zu erwähnen sind außerdem die Zertifizierungssysteme KlimaGemeinde, KlimaFactory und KlimaHotel, die Energieeffizienz und nachhaltiges Umweltmanagement in Gemeinden, Unternehmen und Beherbergungsbetrieben bewerten. Deutlich weniger Initiativen gibt es im Bereich **Klimaanpassung**. Zwar existieren vereinzelt Pläne und Projekte von strategischer Bedeutung – etwa die auch in Südtirol realisierten internationalen Alpenraumprojekte C3-Alps, CLISP, AdaptAlp und PermaNET, die Klimafolgen untersucht und Anpassungsoptionen entwickelt haben. Was jedoch fehlt, ist eine Anpassungsstrategie, die alle Wirtschafts- und Lebensbereiche einbezieht, wie sie die Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (2) den Regionen nahelegt; über eine solche verfügt z. B. die Lombardei (3). Ein wichtiges Instrument der Anpassung, aber auch des Klimaschutzes, wäre ein Indikatoren- und Monitoringsystem, mit dessen Hilfe Emissionen und Klimafolgen sowie Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen erfasst und beobachtet werden können. So ein System, wie es z. B. in Deutschland schon existiert (DAS – Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (4), DAS-Indikatorsystem (5) und Monitoringbericht

SO ERREICHT SÜDTIROL DIE ZIELE DES KLIMAPLANS: VERKEHR OHNE ABGASE UND ENERGETISCHE SANIERUNG

Mit welchem Energiekonzept kann man den Klimaplan „Energie-Südtirol-2050“ (→ Politik und Verwaltung, oben) nachhaltig und gleichzeitig wirtschaftlich umsetzen? Experten von Eurac Research haben ein informatives Modell entwickelt, das zukünftige Energieszenarien simuliert und so diese Frage beantworten hilft. 25.000 mögliche Szenarien für das Jahr 2050

haben sie damit durchgespielt, Stunde für Stunde Energieproduktion, -verteilung und -verbrauch berechnend. Das Ergebnis: In einem idealen Jahr 2050 wäre mehr als die Hälfte der Mobilität emissionsfrei, der Wärmeverbrauch der Gebäude läge 60% unter dem heutigen Wert. In diesem Szenario geben die Südtiroler 20% weniger für Energie aus als heute; mehr als 400 Millionen Euro, die derzeit für fossile Brennstoffe ausgegeben werden, fließen stattdessen in die energetische Sanierung von Gebäuden und in das lokale Energiesystem.

Am Bozner Siegesplatz befindet sich eine von 50 Elektrotankstellen in Südtirol.



zur DAS (6)) und in Italien im Aufbau ist, fehlt in Südtirol. Dieser Klimareport und die darin verwendeten Indikatoren könnten zu so einem System beitragen.

Empfehlungen

- Eine **umfassende Klimaanpassungsstrategie ausarbeiten**; in allen Bereichen und Sektoren den Klimawandel berücksichtigen und Schutz- und Anpassungsmaßnahmen definieren (für diese Herangehensweise wird international der Begriff „Mainstreaming Climate Change“ gebraucht).
- Ein **Indikatoren- und Monitoringsystem entwickeln, das Ursachen und Folgen des Klimawandels ebenso erfasst wie die Wirkung von Anpassungs- und Schutzmaßnahmen**.
- Das **Paris-Abkommen** (s. Kapitel Der Klimawandel) in **konkrete Instrumente auf regionaler Ebene übersetzen**; den Klimaplan Energie-Südtirol-2050 entsprechend überprüfen und gegebenenfalls anpassen.
- Auf **Gemeinde- und gemeindeübergreifender Ebene Kompetenzen** (etwa im Bereich Energie, Recycling, Trinkwasser) **und Synergien nutzen, um den Folgen des Klimawandels wirksam zu begegnen**. Beispiel: Die Gemeinden Mühlbach, Natz-Schabs, Vahrn und Brixen arbeiten zusammen, um die Trinkwasserversorgung zu garantieren.
- Die **Aktionspläne für nachhaltige Energie der Gemeinden** (Sustainable Energy Action Plan, SEAP) **um die Komponente Klimaanpassung ergänzen** und Energie- und Klimaaktionspläne erarbeiten (Sustainable Energy and Climate Action Plan, SECAP).

- **Forschungsergebnisse politisch umsetzen.**
- **Durch Öffentlichkeitsarbeit das Wissen über Klimawandel, -folgen und -risiken erweitern** und die Verantwortung jedes einzelnen Bürgers betonen. Beispiele: die „Klimawoche“ in Bayern, mit 1000 Veranstaltungen, oder die vielfältigen Aktionen, mit denen die österreichische Gemeinde Lustenau (7) die Bürger für die zunehmende Hochwassergefahr sensibilisiert.

GESETZE UND RICHTLINIEN

Gesetzliche Regelungen in Südtirol beziehen sich in den meisten Bereichen nicht explizit auf den Klimawandel, sondern allgemein auf den Schutz natürlicher Ressourcen. Das betrifft z. B. die Bestimmungen zu Wassermanagement und Bauwesen, zu Raumplanung, Forst- und Landwirtschaft, Verkehr und Tourismus. Grundsätze wie der sparsame Umgang mit Ressourcen, die Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen oder die nachhaltige Nutzung des Bodens kommen zwar vor, sind häufig aber nur in der Einleitung oder den Begriffsbestimmungen genannt. In Artikeln und Paragraphen finden sich kaum konkrete Maßnahmen zu Klimaschutz und Anpassung, obwohl die EU fordert, im Sinne des Mainstreamings solche in die Gesetze einzuarbeiten; positive Ausnahmen sind z. B. die Maßnahmen zur Nutzungsbeschränkung von hydrogeologisch anspruchsvollen Böden oder die Einschränkungen bei der Umwidmung von Wäldern im Forstgesetz. Ausdrücklich mit dem Klimawandel befassen sich die gesetzlich bindenden Beschlüsse zur finanziellen Förderung von Klimaschutzmaßnahmen in verschiedenen Bereichen, etwa in der Forstwirtschaft.

KOORDINIERUNGSSTELLE KLIMAWANDEL?

Südtirols Anstrengungen beim Klimaschutz und bei der Anpassung an den Klimawandel müssen politisch langfristig und sektorübergreifend geplant werden: Darin waren sich die Experten einig, die auf Einladung von Eurac Research an einem Workshop zur Vorbereitung dieses Klimareports teilnahmen. Sie regten deshalb an, die Stelle eines „Nachhaltigkeitsbeauftragten“ zu schaffen, der die Maßnahmen in verschiedenen Bereichen koordiniert, ihre Umsetzung begleitet und den Erfolg überblickt.



schaft, bei der Beratung landwirtschaftlicher Betriebe oder der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden.

Die EU-Gesetzgebung zu Energieeinsparung und -effizienz setzt Südtirol konsequent um. Im Bereich Energieeinsparung ist der KlimaHaus-Standard, der 2002 eingeführt wurde und seit 2005 rechtsverbindlich ist, in Italien beispielhaft.

Empfehlungen

- ❑ **Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in Gesetze und Fachpläne integrieren** („Mainstreaming“); für die Klimaanpassung betrifft dies vor allem das Landesgesetz für Raum und Landschaft (in Ausarbeitung; → Flächennutzung, S. 109), den Wassernutzungsplan (→ Wassermanagement, S. 68), den Gefahrenzonenplan (→ Siedlungen, S. 85), den Landesforstplan.
- ❑ **Ökonomisch interessante Anreize für klimabewusstes und energiesparendes Verhalten setzen.** Beispiele: In Deutschland bemisst sich die Kfz-Steuer auch nach dem CO₂-Ausstoß – wer weniger Emissionen verursacht, zahlt weniger; ebenfalls in Deutschland subventioniert der Staat sparsamere Strom- und Heizungstechnik über ein nationales Programm für nachhaltigen Konsum.

SEKTORÜBERGREIFENDE MASSNAHMEN

Das Kapitel „Auswirkungen auf die Gesellschaft“ geht auf die Klimafolgen in den einzelnen Wirtschaftssektoren ein. In der Realität sind viele dieser Sektoren aber miteinander verknüpft. Klimaschutz und Klimaanpassung müssen daher sektorübergreifend gedacht werden. Im Folgenden stellen wir Handlungsoptionen für die Schlüsselbereiche Wassermanagement, Flächennutzung,

Land- und Forstwirtschaft, Tourismus und Verkehr dar. Sie sind für die Bewältigung von Klimafolgen von besonderer Bedeutung, denn Maßnahmen in diesen Bereichen können große Hebelwirkung entfalten. Gleichzeitig treffen hier aber auch viele und zum Teil stark divergierende Nutzungsansprüche aufeinander, die auszugleichen eine große Herausforderung bedeutet. Sektorübergreifenden Netzwerken und Arbeitsgruppen kommt deshalb eine wichtige Rolle zu.

WASSERMANAGEMENT

Wassermanagement berührt zahlreiche Handlungsfelder mit sehr unterschiedlichen Zielen und Nutzungsansprüchen: Energieproduktion, Landwirtschaft, Erhalt von Ökosystemen, Schutz vor Naturgefahren, Tourismus, aber auch andere Wirtschaftszweige und Gewerbe, die Wasser beanspruchen (→ Wassermanagement, S. 68 und → Landwirtschaft, S. 73). Wer die natürliche Ressource Wasser nutzen darf, in welcher Menge und zu welchen Bedingungen, ist in Südtirol durch den Wassernutzungsplan und die zwei Teilpläne Hydrogeologischer Risikoplan und Gewässerschutzplan geregelt. Sie enthalten auch Managementprinzipien für den Umgang mit Nutzungskonflikten, die wahrscheinlich häufiger werden, wenn weniger Wasser verfügbar ist. Klimawandel, Klimafolgen oder -anpassung werden ansonsten in der Gesetzgebung zur Wassernutzung kaum thematisiert.

Empfehlungen

- ❑ **Bei künftigen Anpassungen der Rechtsinstrumente den Klimawandel berücksichtigen:** Im Wassernutzungsplan betrifft dies z. B. Änderungen im jahreszeitlichen Abflussregime der Flüsse; im Gewässerschutzplan und im Hoch-

wassermanagementplan wird es darum gehen, sensible Bereiche oder Risikobereiche neu zu bestimmen.

- **Datenreihen zur Wasserbilanz vervollständigen und weiterführen und den Wasserverbrauch in allen Sektoren genau beobachten:** Beides ist wesentlich, um die aktuellen Veränderungen besser zu verstehen und sie mit vergangenen und vorhergesagten Entwicklungen vergleichen zu können. (Entsprechende Vorgaben macht auch das Ministerialdekret „Bestimmungen zur Messung der Wassermengen für Berechnungszwecke“ vom 31. Juli 2015).
- **Integrierte jahreszeitliche Vorhersagesysteme entwickeln und Echtzeit-Warnsysteme aufbauen,** die die Bevölkerung aktiv einbeziehen: So kann man besser auf kritische Situationen wie Hochwasser und Trockenheit reagieren und gleichzeitig teure strukturelle Eingriffe eindämmen.
- **Die Koordinierung zwischen den zuständigen Stellen verbessern:** In Extremsituationen müssen Prioritäten klar definiert sein, um Konflikte zu vermeiden.
- **Die Haushalte informieren, wie viel Wasser im Haushalt wofür verbraucht wird und wo man Wasser einsparen kann,** z. B. durch einfache Darstellung auf der Wasserrechnung.

FLÄCHENNUTZUNG

Zwischen Landnutzung und Klimawandel bestehen vielfältige Wechselbeziehungen. Je nachdem, wie Land genutzt oder bewirtschaftet wird, können dabei Treibhausgasemissionen entstehen oder die Konzentration von Treibhausgasen in

der Atmosphäre kann sich verringern – Wälder z. B. binden CO₂. Landnutzung kann somit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Umgekehrt beeinflusst der Klimawandel die Landnutzung: In Südtirol sichtbar etwa an der Ausdehnung des Obstbaugebiets in höhere Lagen. Außerdem sollte Landnutzung Teil einer Anpassungsstrategie sein, denn Landnutzungsänderungen können Klimarisiken verstärken oder mindern: Versiegelter Boden z. B. erhöht bei Starkregen die Flutgefahr. Die Flächennutzung in Südtirol erhält bald eine neue Rechtsgrundlage: Das Gesetz „Raum und Landschaft“, das als Entwurf vorliegt und demnächst verabschiedet werden soll. Das aktuelle Raumordnungsgesetz aus dem Jahr 1997 (Stand Januar 2018) berücksichtigt Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen nur indirekt, und die entsprechenden Richtlinien, z. B. in der Bauleitplanung, wurden oft nicht konsequent umgesetzt. Bei der Planung von Siedlungen wurde häufig weder ihre Anbindung an den öffentlichen Verkehr in Betracht gezogen, noch die Möglichkeit, durch größere Kompaktheit Flächen einzusparen. Der Entwurf des neuen Gesetzes nennt ebenfalls Ziele, die generell zum Klimaschutz beitragen (z. B. in Artikel 2 „die Einschränkung des Verbrauchs von Boden und Energie und die Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“); auch nimmt er Bezug auf die Gesetzgebung zur Energieeinsparung und -effizienz. Doch auch das neue, für Südtirol so wichtige Gesetz nennt keine Ziele, die sich direkt auf Klimaschutz und -anpassung beziehen: Das Wort „Klimawandel“ wird im vorliegenden Entwurf an keiner Stelle genannt. Auch die Anbindung neuer Siedlungen an den öffentlichen Verkehr wird nicht konkret angesprochen.



.....
 ■ Die Wasserbilanz wird mithilfe von Daten erstellt, die für die Etsch bei Branzoll erhoben werden.



„Grüne Lösungen“ wie die Renaturierung von Flussauen verbinden Umweltschutz mit gesellschaftlichem Nutzen.

Der Gesetzentwurf nennt keine konkreten Ziele zum maximalen jährlichen Flächenverbrauch. Festgelegt werden dagegen Mindestdichten für neue Mischgebiete, also für Baugebiete, die das Nebeneinander von Wohnungen, Einzelhandel und Gewerbebetrieben vorsehen: Hier soll die bauliche Dichte 1,50m³ überirdischer Kubatur pro Quadratmeter bebaubarer Grundstücksfläche nicht unterschreiten, d. h. beispielsweise, dass Reihenhausstrukturen freistehenden Einfamilienhäusern vorzuziehen sind. Kompaktere Siedlungsstrukturen will das Gesetz auch mit einer anderen Vorgabe erreichen: Bevor neues Bauland ausgewiesen wird, sind bestehende und eventuell leerstehende Gebäude zu nutzen. Diese Verdichtung kann den Energieverbrauch für Heizung und Mobilität senken, sollte jedoch durch Begrünung und Auflockerung innerstädtischer Gebiete angemessen ausgeglichen werden; solche Maßnahmen sind im Gesetzentwurf aber nicht erwähnt.

Empfehlungen

- **Verstärkt grüne Lösungen mitdenken, die die vielfältigen Leistungen von Ökosystemen nutzen** und sich sowohl gesellschaftlich wie im Hinblick auf die Biodiversität positiv auswirken (→ Ökosystemleistungen, 65). Beispiele: An Gewässern natürliche Retentionsflächen (Flussauen) wiederherstellen, die als Hochwasserschutz dienen; in Siedlungen grüne Korridore schaffen, die für Frischluft sorgen; generell naturnahe Landschaften erhalten, die als CO₂-Speicher zum Klimaschutz beitragen und Siedlungen und Infrastrukturen vor Naturgefahren schützen.

- **Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in die Raumplanung einbeziehen.** Beispielhaft: das Bayerische Landesplanungsgesetz (8) und die Raumordnungsgesetze der Bundesländer Tirol (9) und Niederösterreich (10).
- **Jährliche Flächenverbrauchsziele vorgeben.** Beispiel: Die deutsche Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, den Flächenverbrauch bis 2020 auf 30 Hektar pro Tag zu senken (gegenüber 69 Hektar täglich im Jahr 2014) (11).
- **Daten über Leerstände und ihre Nutzungsmöglichkeiten ausarbeiten.**
- **In Gefahrenzonenplänen berücksichtigen, wie sich das Gefahrenpotenzial durch den Klimawandel verändern kann** (→ Siedlungen, S. 87).
- **Versiegelte Flächen reduzieren.** Beispiele: Die Gemeinde Bozen hat einen Bodenversiegelungsindex eingeführt, der garantiert, dass bei Neubauten (Gebäude, Infrastrukturflächen, etc.) ein Teil des Grundstücks von wasserundurchlässigen Bodenbelägen frei bleibt (→ Siedlungen, S. 86); die Stadt Dresden in Deutschland will langfristig die Bebauung auf 40% der Stadtfläche begrenzen und hat zur Erreichung dieses Ziels 2002 ein „Bodenausgleichskonto“ eingeführt; seitdem dürfen unerschlossene Flächen nur bebaut werden, wenn dies durch angemessene Entsiegelung oder Begrünung an anderer Stelle kompensiert wird.

LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT

Die Landwirtschaft trägt zum Klimawandel bei (Maschineneinsatz, Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Methanausstoß). Andererseits hat Südti-

rols Land- sowie Forstwirtschaft bereits begonnen, sich den veränderten Klimabedingungen anzupassen (etwa durch Untersuchungen zur Standorteignung von Weinsorten – Projekt RE-BECKA) und sich vor negativen Auswirkungen zu schützen (z. B. durch Erhalt des Schutzwaldes als CO₂-Speicher). Entscheidungsträger und Experten sind sich der Risiken des Klimawandels meist bewusst und kennen die geeigneten Schutz- und Anpassungsmaßnahmen. Aktuell schlägt sich dieses Bewusstsein jedoch noch nicht in strategischen Entscheidungen nieder – diese sind fast ausschließlich von marktwirtschaftlichen Überlegungen dominiert.

Empfehlungen

- ❑ Eine **Vision für einen nachhaltigen Agrarsektor erarbeiten, mit Klimaschutz und -anpassung als zentralen Elementen**; mittel- und langfristige Entwicklungsziele auf dem Weg zu dieser standortgerechten, naturverträglichen Landnutzung definieren.
- ❑ **Regionale Indikatoren für naturverträgliche Landwirtschaft entwickeln** und in einem Monitoringprojekt überwachen.
- ❑ Durch landwirtschaftliche Beratung und Bewusstseinsbildung **das Wissen um Klimafolgen, -schutz und -anpassungsmaßnahmen erweitern**. Sowohl den Genossenschaften wie den Interessenvertretern kommt hier eine wichtige Rolle zu.
- ❑ **Maßnahmen zu Klimaschutz und -anpassung** (z. B. Umstellung auf ökologische Landwirtschaft, Anpassung in der Auswahl von Saatgut und Sorten) **über die Genossenschaften aktiv fördern**.
- ❑ **Verstärkt Innovationen umsetzen**, sowohl **technologische** (z. B. E-Traktoren), wie **unternehmerische** (z. B. Diversifizierungsstrategien als Risikomanagement).
- ❑ **Wasser effizienter nutzen**; dafür sind technologische Aspekte (Tropfenbewässerung etc.) ebenso zu verbessern wie organisatorische Regelungen (flexible, bedarfsorientierte statt turnusmäßiger Bewässerung) und die Kenntnis der Bodeneigenschaften (→ Landwirtschaft, S. 77).
- ❑ Den **Weg standortangepasster Baumartenzusammensetzungen konsequent fortsetzen** (→ Forstwirtschaft, S. 80).
- ❑ **Schutzwald weiter erhalten und erweitern**, um Menschen, Infrastrukturen (Objektschutz) und den forstlichen Standort (Standortschutz) gegen Naturgefahren zu schützen, die durch den Klimawandel häufiger auftreten werden; Beispiel: die „Schutzwaldbewirtschaftung Tiroler Schlosswald“, die 2013 mit dem Alpinen Schutzwaldpreis ausgezeichnet wurde.
- ❑ **Zusätzliche Anreize schaffen, von Nadelbäumen auf mehr Laubbäume umzusteigen**.

TOURISMUS

Die Querschnittsbranche Tourismus ist für Südtirol ein wichtiger Wirtschaftsfaktor (18% der Wertschöpfung (12)) und hat großen Einfluss auf Bereiche wie Verkehr, Energiebedarf, Landwirtschaft, Umweltschutz etc. Besonders augenfällig wurde dies in den vergangenen Jahren beim Verkehr (ausgedehnte Staus auf der A22, Tourismusverkehr in den Dolomiten an den Grenzen der Tragfähigkeit). Das Thema Klimawandel wird im Tourismussektor bisher vor allem mit abnehmender Schneesicherheit und den Folgen für den Wintertourismus in Verbindung gebracht und ist deshalb eher negativ besetzt. Wie die von Eurac Research im Auftrag des Instituts für Wirtschaftsforschung der Handelskammer Bozen durchgeführte Studie „Zukunft Tourismus Südtirol 2030“ aber zeigte, kann das touristische Angebot Südtirols langfristig von veränderten Klimabedingungen sogar profitieren (→ Tourismus, S. 94). Wenn künftig im Vergleich z. B. zu Küstenregionen in den Bergen ein angenehmeres Klima vorherrscht, könnte eine mögliche strategische Neuausrichtung der Aufbau eines Gesundheitstourismus sein. Bisher gibt es für die Tourismusbranche weder eine Anpassungsstrategie noch gesetzliche Regelungen zum Klimaschutz. Eine kritische Auseinandersetzung mit den klimatischen Entwicklungen und entsprechender Anpassung findet zu selten statt. Zum Klimaschutz beitragen könnten Maßnahmen, die die Touristenzahl in bestimmten Gebieten beschränken, wie z. B. die Einführung von Bettenobergrenzen pro Gemeinde oder Gebiet.

Empfehlungen

- ❑ Eine **umfassende Strategie für den Umgang mit der Herausforderung Klimawandel entwickeln**.
- ❑ **Themen wie Nachhaltigkeit, Klimaneutralität, schonender Umgang mit Ressourcen und Umweltschutz intensiver diskutieren**.
- ❑ **Anreize für klimafreundliche Praktiken im Tourismussektor schaffen und Formen von naturnahem und nachhaltigem Tourismus fördern** (z. B. Urlaub auf dem Bauernhof, verkehrsfreie Gemeinden/Gebiete nach dem Muster der Alpine Pearls Gemeinden (13), oder nach Vorbild der Bergsteigerdörfer (14), von denen es in Südtirol bisher zwei gibt, Matsch in der Gemeinde Mals und Campill in der Gemeinde St. Martin in Thurn).
- ❑ **In alternative Mobilitätskonzepte investieren**; zentrale Aspekte: An- und Abreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln, effiziente und zuverlässige Verbindungen zu Flughäfen außerhalb Südtirols, nachhaltige Lösungen für die sogenannte „letzte Meile“ bis zum Hotel/Apartment,

Bereitstellung von E-Bikes oder E-Mietautos. Beispiele: die sanfte Mobilität auf der Seiser Alm, das Projekt DolomitesVives zur Verkehrsberuhigung der Dolomitenpässe, das österreichische Projekt Easy Travel (15).

- ❑ **Bei strategischen Entscheidungen zum Wintertourismus** und seiner finanziellen Unterstützung **Klimaszenarien berücksichtigen**, vor allem in niedrigeren Lagen (unter 1500 Meter); wo Skipisten kaum nachhaltig aufrechtzuerhalten sind, Exit-Strategien entwickeln und unterstützen.
- ❑ **Klima- und Biohotels fördern.**
- ❑ **Bei der Klassifizierung des Gastgewerbes Nachhaltigkeits- und Umweltkriterien** (Naturmaterialien, biologische und regionale Produkte, energieeffiziente Geräte/Fahrzeuge, Ökostrom, ressourcenschonende Bewirtschaftung, Mobilitätsangebot etc.) **stärker und differenzierter berücksichtigen** und das Ergebnis in der Sterneauszeichnung sichtbar machen. Beispiele: die Zertifizierungen Grüner Stern, Green Globe, Earthcheck.

TRANSPORT/VERKEHR

Südtirol verfügt über ein ausgedehntes Netz an Radwegen und ein integriertes System für den öffentlichen Nahverkehr (Südtirol Pass). Sowohl das Fahrrad wie öffentliche Verkehrsmittel werden auch häufiger genutzt als im italienischen Mittel, gleichzeitig ist jedoch die Zahl der Autos pro 1000 Einwohner eine der höchsten in Italien. Einige Strecken wie Bozen-Überetsch-Unterland sind

durch die vielen Autopendler chronisch überlastet. Der Fuhrpark des ÖPNV ist insgesamt veraltet und zu Orten in den Nachbarprovinzen sind die Verbindungen mit öffentlichen Verkehrsmitteln verbesserungsfähig.

Beim Verkehr entlang der Brennerachse dominiert die Straße – Waren werden z. B. zu 71% im Lastwagen transportiert; dieses starke Ungleichgewicht muss korrigiert werden. Für Wasserstoff- und Elektroautos gibt es nicht ausreichend Tankstellen. Nachhaltige touristische Infrastrukturen wie Seilbahnen sind häufig teuer und damit nicht konkurrenzfähig.

Bei einem von Eurac Research organisierten Workshop zur Vorbereitung dieses Klimareports erklärten Experten aus verschiedenen Bereichen den Verkehr zum wichtigsten Handlungsfeld, um die Emissionen in Südtirol maßgeblich zu reduzieren: Hier bestehe das größte CO₂-Einsparungspotential. Zudem könnten geeignete Lösungen zur Reduzierung des Pendlerverkehrs – Telearbeit, flexible Arbeitszeiten, betriebliches Mobilitätsmanagement, Fahrgemeinschaften – gleichzeitig auch die Lebensqualität verbessern.

Empfehlungen

- ❑ **Den öffentlichen Nahverkehr stärken**, indem man das Angebot ausweitet, Fahrpläne aufeinander abstimmt, die Multimodalität fördert, Zuverlässigkeit und Qualität des Dienstes verbessert.
- ❑ Gleichzeitig **den Gebrauch des Privatautos** durch Parkplatzreduzierung und höhere Parkgebühren **unattraktiv machen**.



- ❑ **Auf alternative Mobilitätsformen setzen**, Platz und Infrastrukturen für Fußgänger und Fahrräder schaffen.
- ❑ In städtischen Mobilitätsplänen **Verkehrsformen auch danach bewerten, wie stark sie zum Klimawandel beitragen**.
- ❑ Durch finanzielle Anreize, Steuerbegünstigungen und die Ausnahme von Fahrverboten **den Umstieg auf Autos mit Elektro-, Hybrid- oder Wasserstoffantrieb noch stärker fördern**; das Tankstellennetz für diese Fahrzeuge ausbauen.
- ❑ **Mautgebühren und Fahrkartenpreise so gestalten, dass die vom Verkehr verursachten Umwelt- und gesellschaftlichen Kosten gerecht angelastet werden**.

WIR ALLE

Klimaschutz ist nicht nur eine Frage gesetzlicher Vorgaben, technischer Lösungen oder der richtigen Anreize. Die Emission von Treibhausgasen zu vermindern ist eine Aufgabe für die ganze Gesellschaft, zu der auch gehört, dass wir unsere Gewohnheiten und unseren Lebensstil überdenken. Bürger, Unternehmen, Schule, Forschung – alle können einen Beitrag leisten. Im Folgenden ein paar Anregungen:

BÜRGER

- ❑ Das **Bewusstsein für den eigenen Energieverbrauch schärfen**. Hilfreich dabei: der CO₂-Rechner der KlimaHaus-Agentur (http://casa-clima.CO2-rechner.de/de_IT/) oder das Projekt

„100max“ (<http://100max.org/>) – beide zeigen auch Energieeinsparpotentiale auf.

- ❑ **Initiativen mit großer Hebelwirkung unterstützen** (z. B. Projekte, die den Raubbau an Urwäldern eindämmen).
- ❑ Sich **aktiv für Klimaschutzmaßnahmen einsetzen**.
- ❑ Wann immer möglich **öffentliche Verkehrsmittel und das Fahrrad benutzen, Flugreisen einschränken**.
- ❑ **Regionalen, saisonalen und biologischen Produkten den Vorzug geben**.

UNTERNEHMEN, ARBEITGEBER

- ❑ Den **wirtschaftlichen Vorteil im Klimaschutz erkennen**: Emissionen zu reduzieren kann gleichzeitig die Kosten senken. Beim Auffinden der Potentiale hilft z. B. das Umweltberatungsprogramm Ökoprofit.
- ❑ Den **mobilisierten Individualverkehr einschränken**: Fahrgemeinschaften fördern, Autostellplätze reduzieren, Parkgebühren einführen, E-Bikes und E-Betriebswagen zur Verfügung stellen, den Gebrauch öffentlicher Verkehrsmittel bezuschussen (z. B. im Rahmen eines betrieblichen Mobilitätsmanagements), die Mitarbeiter sensibilisieren (z. B. mit Initiativen wie „Südtirol radelt“).
- ❑ **Umwelt-Zertifizierungen anstreben** (KlimaFactory, KlimaHotel; Klimaneutralitätsbündnis).
- ❑ Eine **Gemeinwohlbilanz erstellen**: Mit diesem Bewertungsverfahren für Firmen und Institutionen wird geprüft, wie sehr sie dem Gemeinwohl dienen.



Links: Seit Herbst 2017 bietet das Kunter Bistro in der WFO Heinrich Kunter Oberschülern Menüs ausschließlich aus lokalen Produkten.

Mitte: Sanfte Mobilität: Im Sommer 2017 war das Selajoch an neun Mittwochen für den Verkehr gesperrt. Rechts: Derzeit gibt es in Südtirol wenig mehr als zwanzig KlimaHotels. Die Klimaveränderungen sollten Anlass sein, in umweltverträglichere Tourismusformen zu investieren.

- ❑ **International anerkannte Zertifizierungen anstreben**, z. B. ISO 14001 environmental management, ISO 50001 energy management.
- ❑ **In Mensen und Kantinen regionale, saisonale, wenn möglich biologische Produkte verwenden.**

KINDERGARTEN UND SCHULE

- ❑ Die **frühe Auseinandersetzung mit Klimaschutz und -anpassung fördern**, in enger Zusammenarbeit mit Institutionen wie dem Ökoinstitut, der Landesagentur für Umwelt oder Eurac Research (Beispiele: die interaktiven Unterrichtseinheiten des Ökoinstituts, die spezifischen Schul-Workshops von Eurac Research).
- ❑ Die **Umweltbildung in Grund-, Mittel-, Ober- und Berufsschulen verbessern**, wobei Klimaschutz und -anpassung gleichermaßen berücksichtigt werden sollten.
- ❑ **Durch Forschungswettbewerbe umweltfreundliche Projektideen fördern** (Beispiel: „Jugend forscht“).
- ❑ Das **Angebot an Waldpädagogikkursen und Waldkindergärten ausweiten** (Beispiel: die Initiative Green Care Wald des österreichischen Bundesforschungszentrums für Wald).

FORSCHUNG

- ❑ **Konsistente wissenschaftliche Daten** und Informationen zu den Klimafolgen sammeln, analysieren und **in Form von Indikatoren aufbereiten**: Dies ermöglicht langfristiges Monitoring und kann Politikern und Stakeholdern als Entscheidungsgrundlage dienen.
- ❑ Regionalisierte **Klimawandelszenarien erarbeiten**.
- ❑ **Enger mit Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen zusammenarbeiten**, um z. B. Klimaanpassungsstrategien zu entwickeln.
- ❑ Die **zu erwartenden gesundheitlichen Risiken für die Gesellschaft analysieren** und ins Bewusstsein der Öffentlichkeit rücken.
- ❑ **Verstärkt zwischen unterschiedlichen Disziplinen zusammenarbeiten**, um den aufgezeigten Wechselwirkungen Rechnung zu tragen.



Literatur:

1. http://www.covenantofmayors.eu/actions/sustainable-energy-action-plans_en.html (Letzter Zugang: Februar 2018)
2. Castellari S., Venturini S., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Gatto M., Gaudio D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M. (a cura di.) (2014): Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf
3. <http://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/cittadini/tutela-ambientale/qualita-dell-aria/adattamento-al-cambiamento-climatico-verso-una-strategia-regionale/adattamento-al-cambiamento-climatico-la-strategia-regionale> (Letzter Zugang: Februar 2018)
4. Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel - vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf (Letzter Zugang: Februar 2018)
5. Schönthaler, K., Von Andrian-Werburg, S., Nickel, D., Pieck, S., Tröltzsch, J., Küchenhoff, H., Rubenbauer, S. (2011): Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4230.pdf> (Letzter Zugang: Februar 2018)
6. Schönthaler, K., Von Andrian-Werburg, S., Van Rühl, P., Hempen, S. (2015): Monitoringbericht 2015 – zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2015> (Letzter Zugang: Februar 2018)
7. <https://www.lustenau.at/de/buergerservice/service/polizei-sicherheit/hochwasserschutz> (Letzter Zugang: Februar 2018)
8. <http://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayLplG/true?AspxAutoDetectCookieSupport=1> (Letzter Zugang: Februar 2018)
9. https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/bauen-wohnen/bauordnung/downloads/TROG_2016_Fassung_vom_03.04.2017.pdf (Letzter Zugang: Februar 2018)
10. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrNO&Gesetzesnummer=20001080> (Letzter Zugang: Februar 2018)
11. Die Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Beistellservice/Deutsche_Nachhaltigkeitsstrategie_Neuaufgabe_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (Letzter Zugang: Februar 2018)
12. http://astat.provinz.bz.it/de/aktuelles-publikationen-info.asp?news_action=4&news_article_id=389254 (Letzter Zugang: Februar 2018)
13. <https://www.alpine-pearls.com/it/> (Letzter Zugang: Februar 2018)
14. <http://www.bergsteigerdoerfer.at/> (Letzter Zugang: Februar 2018)
15. <https://www.uibk.ac.at/verkehrssysteme/forschung/easy-travel-.html> (Letzter Zugang: Februar 2018)

Indikatoren

Bereich	Themenfeld	Indikatorname	Beschreibung
Treibhausgas-emissionen	Treibhausgas-emissionen pro Sektor	Treibhausemis-sionen pro Kopf in Südtirol und in Italien aufge-schlüsselt nach Sektoren	CO ₂ Emissionen pro Kopf und pro Sektor in Südtirol im Vergleich zu Italien im Jahr 2013 (in Tonnen CO ₂ -Äquivalent)
Klimawandel	Temperatur	Jahresmitteltemperatur/Temperaturmaxima und -minima	Erwärmung an einer Station (hier am Bsp. von Bozen): Beobachtung einzelner Jahre seit 1960 und mögliche Temperaturentwicklung für ein business-as-usual Szenario (RCP8,5) und ein optimistisches Szenario bei rascher Reduktion der Treibhausgasemissionen (RCP4,5)
Klimawandel	Temperatur	Tropennächte	Anzahl der Tage mit Minimaltemperaturen über 20°C an einer Station (hier am Bsp. von Bozen) (entspricht in etwa der Anzahl von Tropennächten): Beobachtung einzelner Jahre seit 1960 und mögliche Temperaturentwicklung für ein business-as-usual Szenario (RCP8,5) und ein optimistisches Szenario bei rascher Reduktion der Treibhausgasemissionen (RCP4,5)
Klimawandel	Temperatur	Tage mit einer Mindesttemperatur unter 0°C	Anzahl der Tage pro Jahr mit einer Temperatur unter 0°C an einer Station (hier am Beispiel von Sexten)
Klimawandel	Temperatur	Anzahl an Tagen an denen die Temperatur von +0 bis -0 schwankt	Anzahl an Tagen an denen die Temperatur von +0 bis -0 schwankt (hier am Beispiel von Bozen)
Klimawandel	Niederschlag	Niederschläge pro Jahreszeit	Veränderung der Niederschläge pro Saison an einer Station (hier am Bsp. von Bozen): Beobachtung einzelner Jahre seit 1960 und mögliche Temperaturentwicklung für ein business-as-usual Szenario (RCP8,5) und ein optimistisches Szenario bei rascher Reduktion der Treibhausgasemissionen (RCP4,5)
Klimawandel	Gewitter	Blitzanzahl	Anzahl der Blitze pro Jahr. Indiziert die Anzahl an Gewittern, die oft mit Starkregen und daraus hervorgehenden Naturgefahren einhergehen

Datenquellen	Zeitreihe	Einheit	Seite
<i>Daten:</i> Südtirol: Amt für Luft und Lärm, Autonome Provinz Bozen, 2016. Italien: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	2013	Tonnen pro Person	31
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1960 - 2100	°C	23
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1960 - 2100	Tage	25
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1960 - 2100	Frosttage	90
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1960 - 2100	Tage	97
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1960 - 2100	mm	25
<i>Daten:</i> gemessen, Hydrographisches Amt, Autonome Provinz Bozen, 2017 <i>Darstellung:</i> Eurac Research 2017	2007 - 2017	Blitze	26

Bereich	Themenfeld	Indikatorname	Beschreibung
Klimawandel	Trockenheit, Feuchte	Anzahl von extremen Monaten in einer 30-jährigen Periode	Der Trockenheitsindex SPEI12 zeigt für eine Station (hier am Bsp. von Bozen) für die Zukunft die Veränderung von überdurchschnittlich trockenen und feuchten Monaten
Auswirkungen auf die Natur	Schnee/ Gletscher	Schneebedeckung	Anteil der Schneebedeckung in Südtirol und den Alpen in den Monaten Dezember und Januar
Auswirkungen auf die Natur	Schnee/ Gletscher	Gletscherlängenänderung	Kumulative Längenveränderung Südtiroler Gletscher
Auswirkungen auf die Natur	Wasser	Mittlere monatliche Abflüsse	Mittlere monatliche Abflüsse eines Flusses (hier am Bsp. der Etsch gemessen in Branzoll)
Auswirkungen auf die Natur	Wasser	Abflussmenge eines Flusses pro Jahreszeit	Jahreszeitliche Trends bei den mittleren monatlichen Abflüssen eines Flusses (hier am Bsp. der Etsch gemessen in Branzoll)
Auswirkungen auf die Natur	Wasser	Seewassertemperatur	Wassertemperatur eines Sees im Zeitverlauf (hier am Beispiel des Kalterer Sees)
Auswirkungen auf die Natur	Flora und Fauna	Beginn der Pollensaison	Tag des Beginns des Pollenfluges pro Pflanze und Messstation für die vergangenen Jahre
Auswirkungen auf die Natur	Boden	Bodenwassergehalt pro Jahreszeit	Bodenwassergehalt pro Jahreszeit der vergangenen Jahre (hier am Bsp. des Vinschgauer Sonnenbergs)
Auswirkungen auf die Natur	Naturgefahren	Gravitative Massenbewegungen	Jahreszeitlicher Verlauf ausgewählter Gefahrenprozesse in Südtirol im Vergleich mit dem Entwicklung des Klimas in Südtirolparameter „Anzahl der Tage mit mehr als 30mm Niederschlag“ pro Station (hier am Bsp. von Bozen und Sterzing) für die vergangenen Jahre
Auswirkungen auf die Natur	Wasserhaushalt	Wasserentnahmen eines Flusses	Die aktuellen und künftigen Wasserentnahmen (nächsten 30 Jahre) der Landwirtschaft (hier am Bsp. der Etsch, gemessen in Branzoll)

Datenquellen	Zeitreihe	Einheit	Seite
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1950 - 2100	Monate	26
<i>Daten:</i> gemessen, ESA, 2017 <i>Auswertung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	2003 - 2017	%	38
<i>Daten:</i> gemessen, Hydrographisches Amt, Autonome Provinz Bozen, 2017. <i>Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1924 - 2015	mm	40
<i>Daten:</i> gemessen, Hydrographisches Amt, Autonome Provinz Bozen, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1957 - 2016	m3/s	44
<i>Daten:</i> gemessen, Hydrographisches Amt, Autonome Provinz Bozen, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1957 - 2016	m3/s	45
<i>Daten:</i> gemessen, Biologisches Labor, Autonome Provinz Bozen <i>Darstellung:</i> Eurac Research	2008 - 2017	°C	49
<i>Daten:</i> gemessen, Landesumweltagentur, Autonome Provinz Bozen, 2017 <i>Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1994 - 2017	Kalendertag	52
<i>Daten:</i> gemessen, Eurac Research, 2014-2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	2014 - 2017	m3/ m3	56
<i>Daten:</i> gemessen, Hydrographisches Amt, Amt für Geologie und Baustoffkunde, Amt für Bevölkerungsschutz, Autonome Provinz Bozen, 2017 <i>Auswertung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1989 - 2015	Anzahl Gefahrenereignisse; Anzahl Tage >30mm Niederschlag	60
<i>Daten:</i> modelliert, Gewässerschutzplan, Landesagentur für Umwelt, Autonome Provinz Bozen, 2017 <i>Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	Gegenwart (2017)/Zukunft (Jahr unbestimmt)	m3/s	69

Bereich	Themenfeld	Indikatorname	Beschreibung
Auswirkungen auf die Natur	Landwirtschaft	Beginn der Apfelblüte	Errechneter Blühbeginn der Apfelbäume für eine Station seit 1960. Die Berechnung basiert auf Temperatursummen nach Chmielewski, F.-M., Müller, A., Küchler, W. (2004): Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. Abschlussbericht, Humboldt-Universität zu Berlin
Auswirkungen auf die Gesellschaft	Landwirtschaft	Von Hagel betroffene Fläche im Obst- und Weinbau	Schätzungen der von Hagel betroffenen Fläche im Obst- und Weinbau
Auswirkungen auf die Natur	Forstwirtschaft	Schadholznutzung infolge von Naturgefahrereignissen	Anteile der biotischen und abiotischen Schadholznutzungen am insgesamt geschlagenen Holz
Auswirkungen auf die Gesellschaft	Siedlungen	Versiegelte Fläche	Bodenversiegelung in Südtirol
Klimawandel	Tourismus	Climatic Tourism Index (TCI)	Climatic Tourism Index modelliert für die Vergangenheit und Zukunft
Auswirkungen auf die Gesellschaft	Tourismus	Jahreszeitlicher Verlauf der Nachfrage	Nächtigungen Sommer und Winter pro Jahr für die Vergangenheit und Zukunft
Auswirkungen auf die Gesellschaft	Verkehrsinfrastrukturen	Änderung der Asphalttemperatur in % in sieben heißesten Tagen des Jahres	Änderung der Asphalttemperatur in % in sieben heißesten Tagen des Jahres für Vergangenheit und Zukunft (1971-2000 = 100%)

Datenquellen	Zeitreihe	Einheit	Seite
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1960 - 2100	Kalendertag	74
<i>Daten:</i> geschätzt, Südtiroler Hagelschutzkonsortium <i>Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1981 - 2017	ha	75
<i>Daten und Darstellung:</i> gemessen, Amt für Forstplanung, Autonome Provinz Bozen, 2017	1996 - 2016	%	81
<i>Daten:</i> gemessen, Europäische Umweltbehörde – EEA, 2016 <i>Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	2012	versiegelte Fläche	86
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017: Tourismusindex nach Mieczkowski, Z. (1985): The tourism climatic index: A method of evaluating world climates for tourism. Canadian Geographer / Le Géographe canadien, 29: 220–233. doi:10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x	1960 - 2100	TCI	93
<i>Daten:</i> gemessen (1993-2016), Landesinstitut für Statistik (ASTAT), Autonome Provinz Bozen. Modelliert (2016-2080): Cavallaro, F., Ciari, F., Nocera, S., Pretenthaler, F., Scuttari, A. (2017). The impact of climate change on tourist mobility in mountain areas, Journal of Sustainable Tourism, 25 (8), pp. 1063 – 1083 , DOI: 10.1080/09669582.2016.1253092 <i>Auswertung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017	1993 - 2080	Nächtigungen	94
<i>Daten:</i> Stationsdaten gemessen (bis 2015): WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen Euro-Cordex, modelliert, 2017 <i>Berechnung und Darstellung:</i> Eurac Research, 2017, S. R. Arangi, R.K. Jain, Review paper on pavement temperature prediction model for indian climatic condition, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) ISSN: 2349-2163 Issue 8, Volume 2 (August 2015)	1960 - 2100	%	99

Die Autoren dieses Reports



Marc Zebisch
Geoökologe

👍 Fährt möglichst mit Fahrrad und Zug, isst wenig Fleisch, kauft regionale und Bio-Produkte

🗨️ Reist gern in ferne Länder (CO₂ kompensiert)



Roberto Vaccaro
Umweltforscher

👍 Bewegt sich in der Stadt nur mit Rad oder Bus

🗨️ Nimmt es mit der Mülltrennung nicht allzu genau



Giacomo Bertoldi
Umweltingenieur,
Öko-Hydrologe

👍 Liebt Bergwanderungen und Skitouren

🗨️ Fährt für diese Leidenschaft viele Kilometer im Auto



Nikolaus Obojes
Ökologe

👍 Konsumiert möglichst lokale Produkte

🗨️ Nimmt in seiner Freizeit zu oft das Auto statt Zug oder Bus



Georg Niedrist
Ökologe

👍 Fährt ein emissionsarmes Auto

🗨️ Fährt damit zu viel



Julia Seeber
Biologin

👍 Kauft regionale, saisonale Lebensmittel und fährt ihr mit Erdgas betriebenes Auto möglichst selten

🗨️ Vergrößert ihren ökologischen Fußabdruck durch ein Faible für Kaffee und vor allem Schokolade



Stefan Scheiderbauer
Geograf

- 👍 Nimmt in Südtirol auch für weite Strecken das Fahrrad, für Dienstreisen in Europa den Zug
- 🗨️ Ein alter, luftverschmutzender VW-Bus Diesel, mit dem die Familie ihre Urlaubsfahrten macht



Romy Schlögel
Geologin

- 👍 Verschmählt Fleisch
- 🗨️ Liebt es, die Erde von oben zu betrachten



Christian Kofler
Umweltwissenschaftler

- 👍 Führt täglich mit dem Zug zur Arbeit
- 🗨️ Kann auf Fleisch und Milchprodukte nicht verzichten



Lukas Egarter Vigl
Geoökologe

- 👍 Lebt in einem KlimaHaus
- 🗨️ Neigt dazu, elektrische Geräte im Standby-Modus zu lassen



Miriam L. Weiß
Sozial- und Kulturwissenschaftlerin

- 👍 Privat wie beruflich fast ausschließlich mit ÖPNV, dem Rad oder zu Fuß unterwegs, kauft möglichst regional, bio und verpackungsfrei ein
- 🗨️ Liebt Fern(flug)reisen in andere Kulturen, isst gerne Fleisch



Thomas Streifeneder
Geograf und
Regionalentwicklungsexperte

- 👍 Nutzt bei Dienstreisen öffentliche Verkehrsmittel, kauft regionale und biologische Lebensmittel
- 🗨️ Motorradfahrer



Christian Hoffmann
Forstwissenschaftler

👍 Fährt jährlich 20000 km mit dem Zug zur Arbeit, das macht 350 Stunden. Motto: „Beim Pendeln im Auto verliere ich zwei Stunden, im Zug gewinne ich drei.“

🗨 Versucht erst gar nicht, sich dem westlichen Lebensstil zu entziehen, der sich grundsätzlich negativ auf das Klima auswirkt



Helena Götsch
Raumplanerin

👍 Kauft Second Hand - Kleidung und liebt Zugfahrten

🗨 Duscht viel zu lange und zu heiß, und hat, weil kälteempfindlich, auch überdurchschnittlich hohe Heizkosten



Stefano Minerbi
Forstrat
(Autonome Provinz Bozen)

👍 Verzichtet auf importierte Waren und Lebensmittel

🗨 Verbraucht noch immer zu viel Papier



Günther Unterthiner
Forstrat
(Autonome Provinz Bozen)

👍 Pendelt seit 25 Jahren mit dem Zug zur Arbeit

🗨 Lange Flugreisen



Peter Laner
Raumplaner

👍 Versucht dabei das Auto weitgehend zu vermeiden

🗨 Pendelt jeden Tag von Girlan nach Bozen zur Arbeit



Kathrin Renner
Geografin

👍 Isst wenig Fleisch, kauft Lebensmittel möglichst unverpackt, fährt viel Fahrrad und Zug, wohnt in einem Klimahaus B

🗨 Macht mehrere Flugreisen im Jahr



Mariachiara Alberton
Umweltjuristin

👍 Bewegt sich ausschließlich mit öffentlichen Verkehrsmitteln und ist Fan des Energiesparens

🗨️ Mag lieber Bücher aus Papier als E-Books



Isidoro De Bortoli
Umweltjurist

👍 Reduziert die Heizung in seiner Wohnung auf ein Minimum

🗨️ Kann als leidenschaftlicher Schifahrer nicht auf Schnee verzichten, selbst wenn es künstlicher ist



Anna Scuttari
Tourismus- und Umweltökonomin

👍 Konsumiert ausschließlich regionale Lebensmittel

🗨️ Motorradfahrerin



Federico Cavallaro
Umweltplaner

👍 Einkauf ohne Emissionen

🗨️ Liebt Bitterschokolade aus Mittelamerika



Ulrike Tappeiner
Ökologin

👍 Kauft regionale und saisonale Produkte ein

🗨️ Besitzt einen Privatwagen

Unser herzlicher Dank für die Bereitstellung der Daten und die wertvolle Zusammenarbeit geht an:

Sonja Abrate, Christian Brida, Edith Bucher, Virna Bussadori, Stefano Dal Savio, Roberto Dinale, Marianna Elmi, Jürg Fuhrer, Matthias Gauly, Michaela Hillebrand, Heinrich Huber, Pierpaolo Macconi, Volkmar Mair, Bruno Majone, Klaus Marschall, Michael Matiu, Karl Michaeler, Philipp Nagel, Giovanni Peratoner, Roberta Perneti, Dieter Peterlin, Marcello Petitta, Barbara Raifer, Flavio Ruffini, Ulrich Santa, Ernesto Scarperi, Thomas Senoner, Petra Seppi, Robert Steiger, Reinhold Steiner, Alberta Stenico, Richard Theiner, David Tonidandel, Matteo Vischi, Robert Wiedmer

IMPRESSUM

Zitierempfehlung für diesen Report:

Zebisch M., Vaccaro R., Niedrist G., Schneiderbauer S.,
Streifeneder T., Weiß M., Troi A., Renner K., Pedoth L.,
Baumgartner B., Bergonzi V. (Herausgeber), Klimareport
– Südtirol 2018, Bozen, Italien: Eurac Research, 2018

Eurac Research
Drususallee 1
39100 Bozen

Wissenschaftlicher Leiter: Marc Zebisch

Project Management: Kathrin Renner, Lydia Pedoth

Redaktionelle Koordination: Valentina Bergonzi

Redaktion: Barbara Baumgartner, Valentina Bergonzi,
Laura Defranceschi, Kathrin Renner, Marc Zebisch

Grafik: Alessandra Stefanut, Silke De Vivo

Illustrationen: Oscar Diodoro

Bildredaktion: Annelie Bortolotti

Druck: esperia srl, Trento

Bilder - Credits

32: IDM/Ivo Corrà

33: L'Adige

34: iStock/Jevtic

47, 73, 107, 108, 110, 114: Eurac Research

52: Andreas Hilpold, Eurac Research

53 (1): Karl Unterfrauner

53 (2): www.koesti.it

55, 103: Julia Seeber

59: Agentur für Bevölkerungsschutz der Autonomen Provinz Bozen

62: Josef Laner, der Vinschger

71 (1), 76 (1) Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau

71 (2): Adobe Stock/terranova_17

76 (2): iStock/redstallion

78, 79: Stefano Minerbi, Amt für Forstwirtschaft

83, 98 (1): www.altoadigeinnovazione.it

84: Agentur für Bevölkerungsschutz der Autonomen Provinz Bozen

87: Landespresseagentur

92 (1), 112 (2): Gerhard Vanzi

98 (2): www.suedtirolnews.it

103: Biologisches Labor

109: Hydrographisches Amt der Autonomen Provinz Bozen

112 (1): Wirtschaftsfachoberschule H. Kunter

113: Hotel Gitschberg / Florian Berger



