



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 Atmosphä-

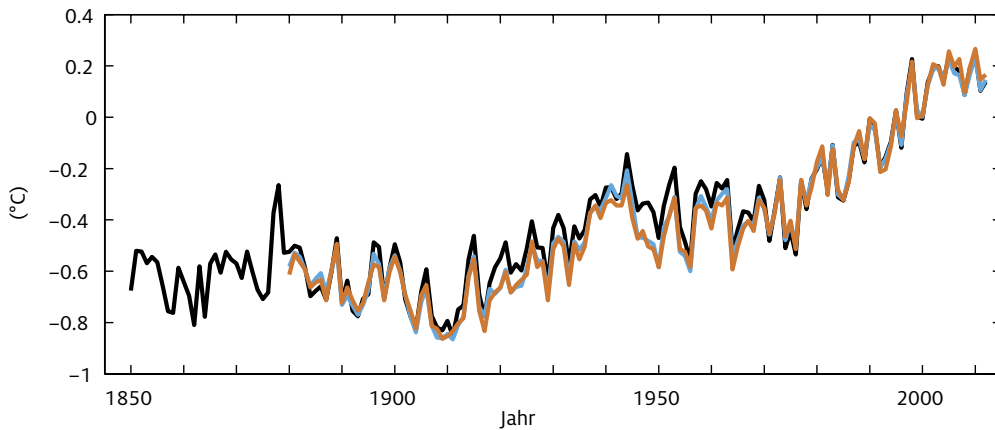


Abb. 1: Jährlicher globaler Mittelwert der kombinierten Land- und Meeresoberflächentemperaturanomalie bezogen auf die Mittelwerte der Referenzperiode 1986-2005. Die Farben kennzeichnen unterschiedliche Datensätze. (Quelle: IPCC, 2014)

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

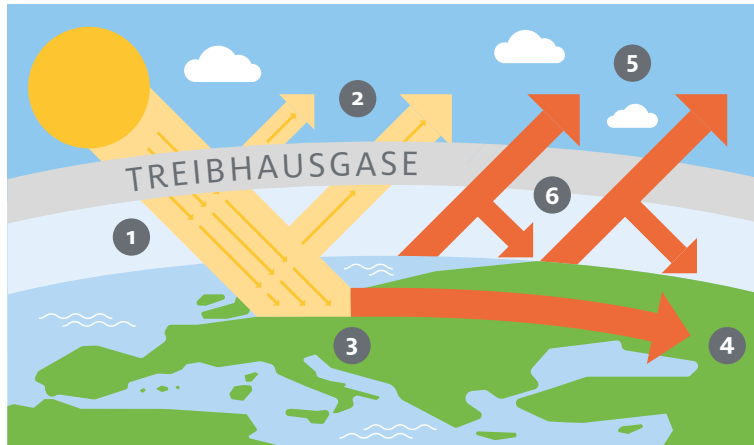


Abb. 2: Der Treibhauseffekt

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 fortschreitet, hängt vor allem von der Entwicklung der Treibhausgasemissionen ab. Der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat hierzu vier verschiedene Szenarien aufgestellt, sogenannte 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 Treibhausgasemittenten (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 Richtung 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

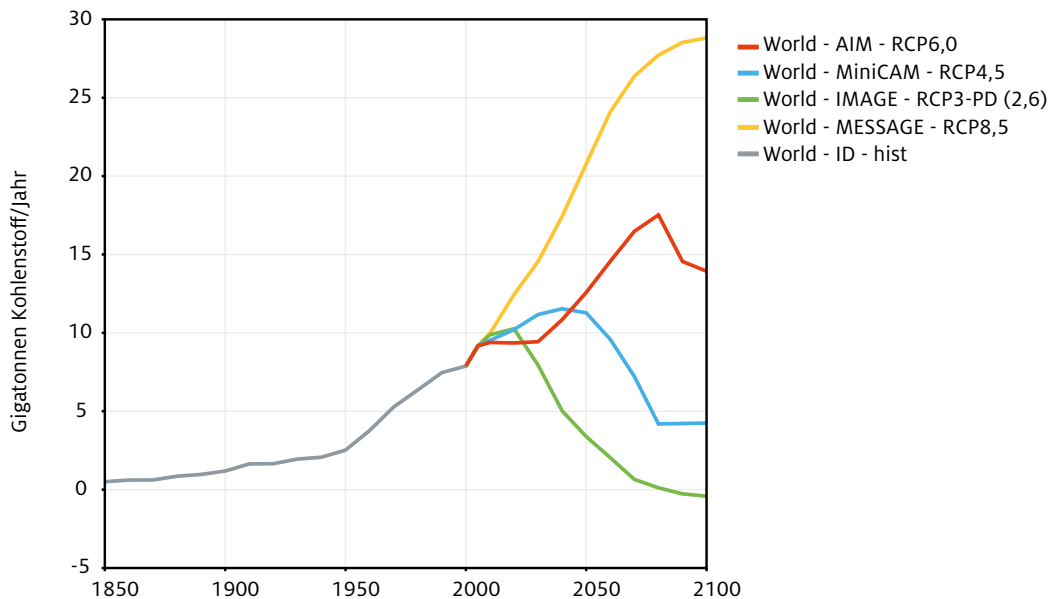


Abb. 3: Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen
(Quelle: RCP Database (Version 2.0.5) 30.10.2017)

– 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.

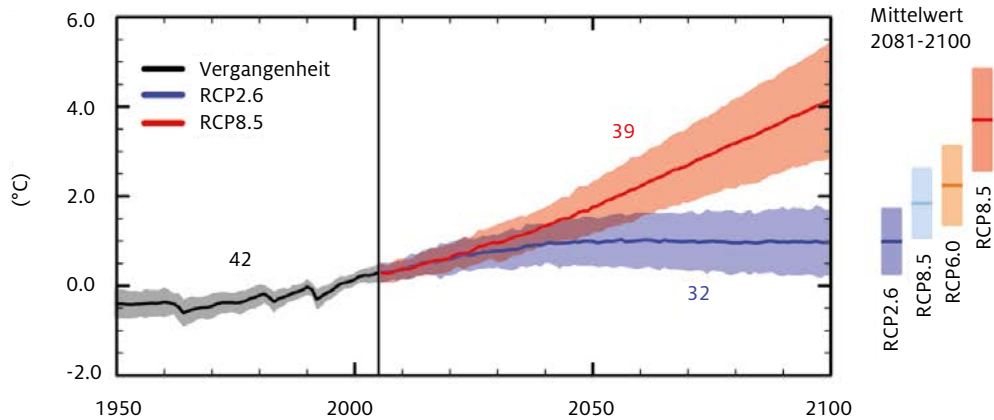


Abb. 4: Mögliche Entwicklung der globalen Durchschnittstemperatur in Abhängigkeit von Treibhausgasszenarien

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 WETTERAUFEICHUNG

(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

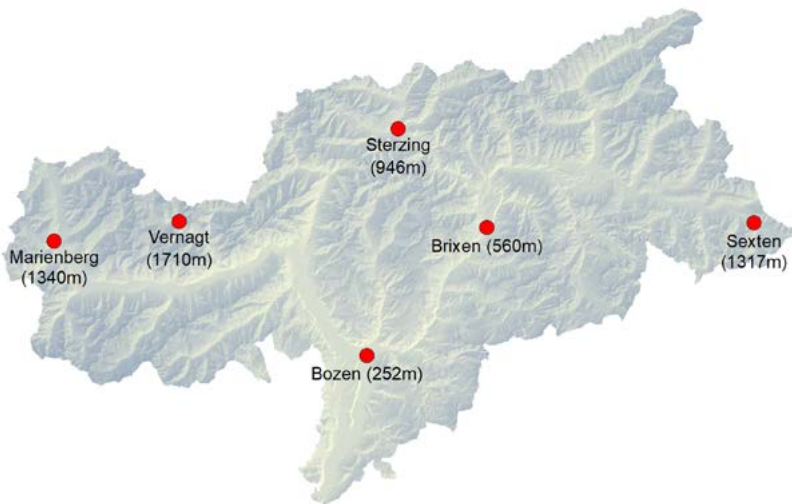


Abb. 5: Für die Auswertung herangezogene Stationen

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

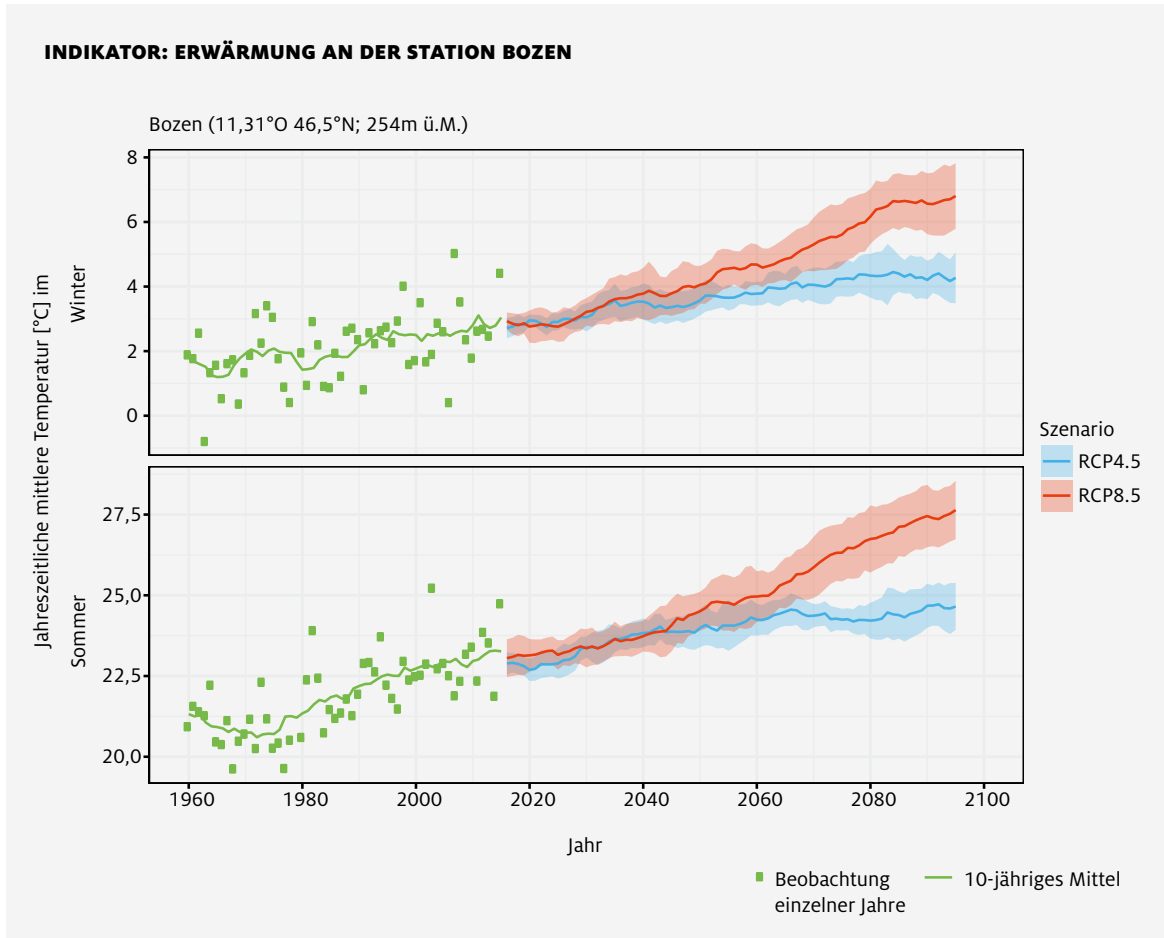


Abb. 6: Erwärmung an der Station Bozen (Grüne Punkte: Beobachtung einzelner Jahre, Linie: 10-jähriges Mittel) und mögliche Temperaturentwicklung für ein business-as-usual-Szenario (RCP8.5, roter Bereich) und ein optimistisches Szenario bei rascher Reduktion der Treibhausgasemissionen (RCP4.5, blauer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

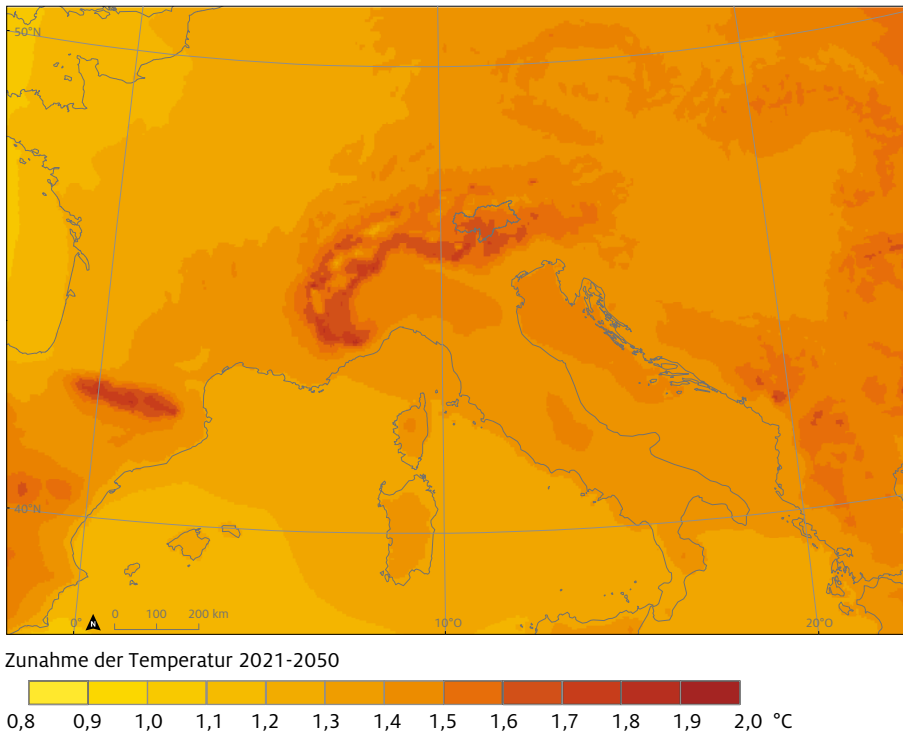


Abb. 7: Veränderung der Temperatur der nahen Oberfläche im Zeitraum 2021 – 2050, berechnet aus dem Durchschnitt der Euro-Cordex RCP45 Ensemble Szenarien. (Daten: Euro-Cordex. Darstellung: Eurac Research)

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.

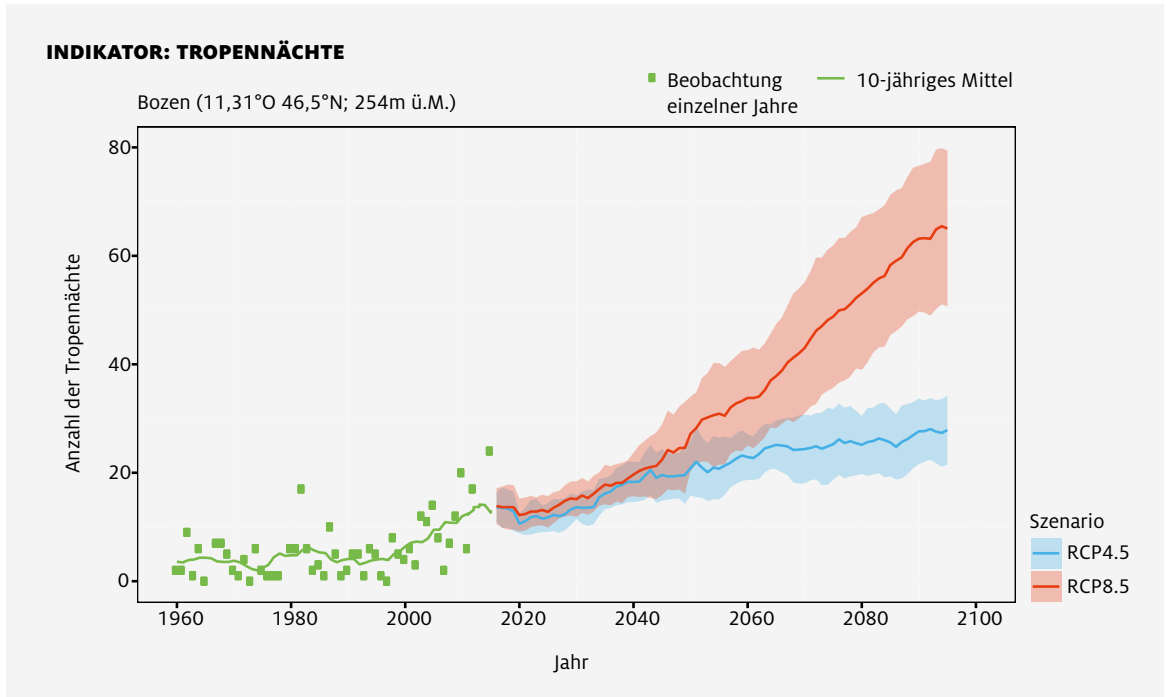


Abb. 8: Anzahl der Tage mit Minimaltemperaturen über 20°C in Bozen (entspricht der Anzahl der Tropennächte) (Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

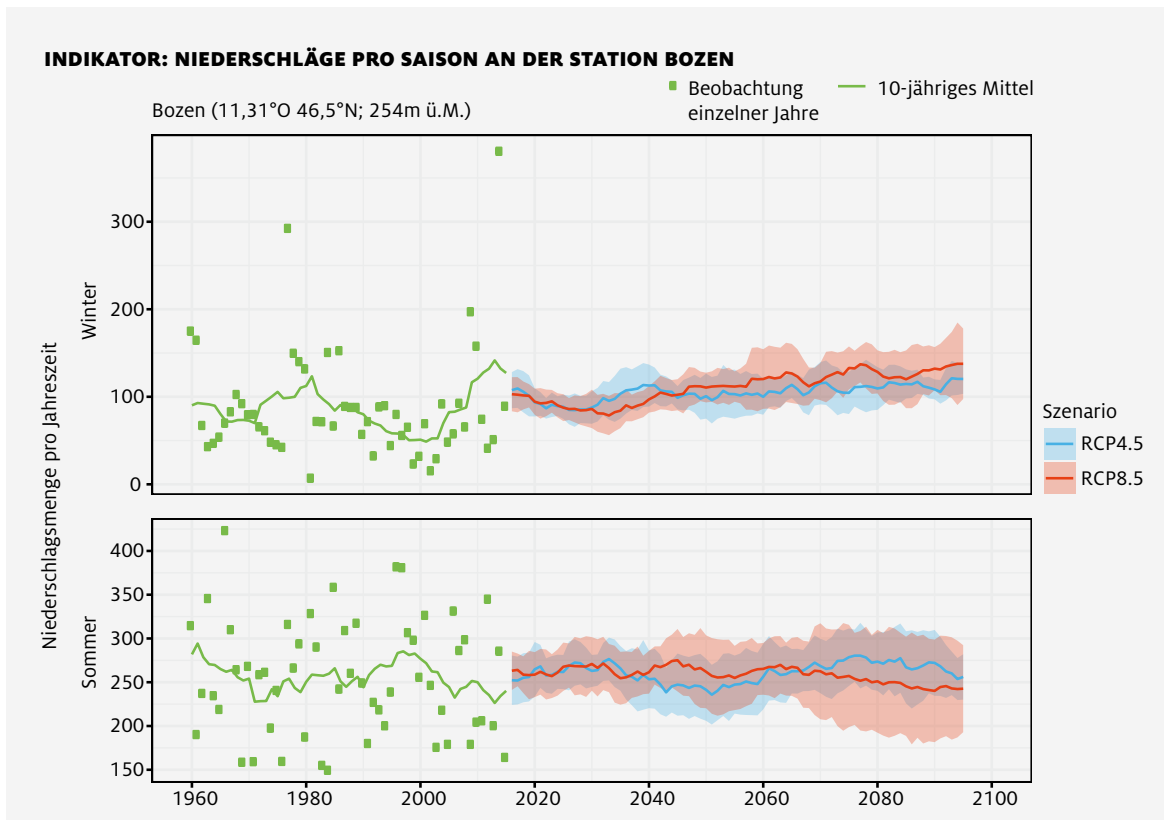


Abb. 9: Veränderung der Niederschläge pro Saison an der Station Bozen. Es überwiegen die Schwankungen von Jahr zu Jahr. (Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac Research)

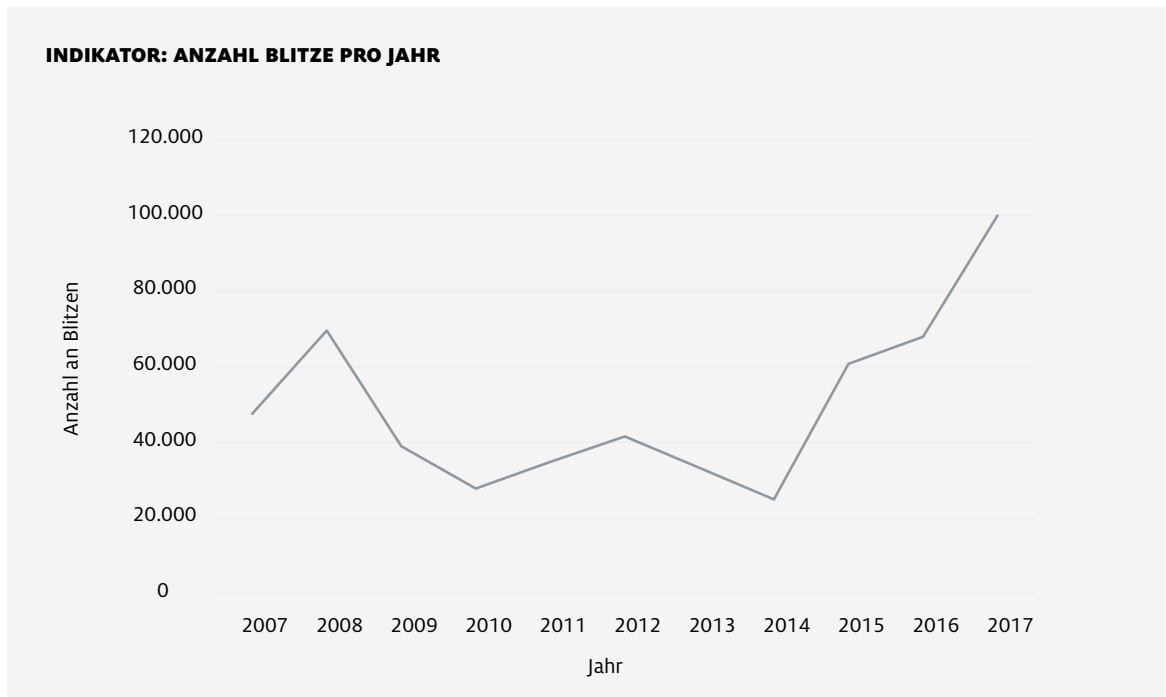


Abb. 10: Anzahl der Blitze pro Jahr. Auffällig ist das Jahr 2017 mit über 100.000 Blitzen. Ein kleiner Teil der Veränderung könnte auf methodologische Verfeinerungen zurückzuführen sein. Die Anzahl der Blitze ist ein guter Indikator für die Anzahl an Gewittern, die oft mit Starkregen und daraus folgenden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

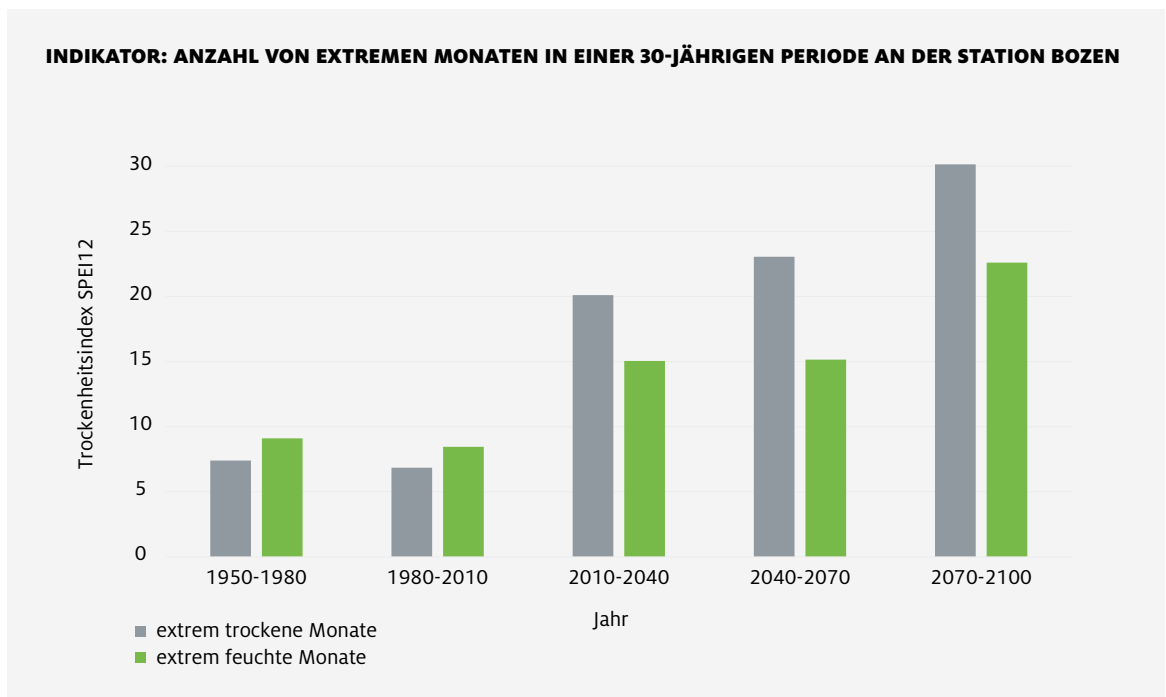


Abb. 11: Für Bozen zeigt der Trockenheitsindex SPEI12 für das Szenario RCP8.5 für die Zukunft eine deutliche Zunahme von überdurchschnittlich trockenen und feuchten Monaten, wobei der Trend zur Trockenheit überwiegt. (Daten: Euro-Cordex und WISKI Datenbank, Autonome Provinz Bozen. Darstellung: Eurac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

ZWEI FRAGEN AN DIETER PETERLIN, METEOROLOGE 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., Moiseslin, 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)