



Klimarisiken und Anpassung

Wege zu einem klimaresilienten Südtirol

Zebisch, M.; Pedoth, L.; Pörnbacher, M.; Renner, K.; Fritsch, U.; Alberton, M.;
Bertoldi, G.; Bisignano, J.; Corradini, P.; Crespi, A.; Crippa, C.; Ducati, V.;
Eisendle, F.; Hilpold, A.; Hoffmann, C.; Horvath, C.; Kircher, V.; Lun, G.;
Maino, F.; Misconel, S.; Obojes, N.; Omizzolo, A.; Pellegrini, C.; Perkmann, U.;
Prina, M.G.; Roveri, G.; Sparber, W.; Strapazzon, G.; Thaler, F.

Eurac Research
Center for Climate Change and Transformation

Drususallee 1
39100 Bozen, Italien
+39 0471 055 700
climate.change@eurac.edu
www.eurac.edu

DOI: <https://doi.org/10.57749/4ehb-1753>

Autorinnen/Autoren: Marc Zebisch, Lydia Pedoth, Michael Pörnbacher, Kathrin Renner, Uta Fritsch, Mariachiara Alberton, Giacomo Bertoldi, Jakob Bisignano (WIFO), Philipp Corradini, Alice Crespi, Chiara Crippa, Viola Ducati, Frederik Eisendle, Andreas Hilpold, Christian Hoffmann, Clara Horvath, Verena Kircher, Georg Lun (WIFO), Federica Maino, Steffi Misconel, Nikolaus, Obojes, Andrea Omizzolo, Chiara Pellegrini, Urban Perkmann (WIFO), Matteo Giacomo Prina, Giulia Roveri, Wolfram Sparber, Giacomo Strapazzon, Felix Thaler

Wissenschaftliche Leitung: Marc Zebisch

Projektkoordination: Lydia Pedoth

Steuerungsgruppe der Autonomen Provinz Bozen: Willigis Gallmetzer, Alice Labadini, Barbara Raffl, Francesca Schir, Walter Polla, Christian Walcher, Michela Morandini, Fabrizio Oliver, Umberto Simone, Flavio Ruffini, Giulia Morosetti, Klaus Egger, Anna Toggenburg, Anna Tezzele

Redaktion: Valentina Bergonzi, Laura Defranceschi

Übersetzungen: (aus dem Italienischen) Studio Traduc, Bozen – Petra Haag

Grafische Gestaltung: Alessandra Stefanut

Illustrationen: Silke de Vivo

Bildredaktion: Annelie Bortolotti

Titelfoto: Agentur für Bevölkerungsschutz - Autonome Provinz Bozen

© Eurac Research, 2025



Diese Publikation wird unter einer Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) verbreitet, die die Wiederverwendung, gemeinsame Nutzung, Änderung, Verbreitung und Reproduktion in jedem Medium oder Format erlaubt, vorausgesetzt, dass die Urheberschaft ordnungsgemäß anerkannt wird, ein Link zur Creative Commons-Lizenz angegeben wird und ein Hinweis darauf gegeben wird, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Open-Access-Publikation enthält einige urheberrechtlich geschützte Werke. Diese Werke sind durch das Urheberrechtsgesetz geschützt, und ihre Aufnahme in das vorliegende Werk wurde von den jeweiligen Urhebern/Rechteinhabern genehmigt. Urheberrechtlich geschützte Werke dürfen ohne die Erlaubnis der jeweiligen Urheber/Rechteinhaber weder kopiert, verändert, wiederverwendet, von Dritten in einem anderen Medium weiterverbreitet noch anderweitig verwendet werden.

1	Einleitung.....	6
1.1	Hintergrund und Zielsetzung.....	6
1.2	Methodischer Rahmen und Arbeitsablauf.....	9
2	Zukunftsvision 2040.....	11
3	Klimawandel, Hydrologie und Naturgefahren.....	15
3.1	Erkenntnisse aus dem Klimareport 2018.....	15
3.2	Fortschreibung der Daten und Methoden.....	16
3.3	Fortschreibung der Ergebnisse.....	18
3.4	Hydrologische Prozesse.....	23
3.5	Massenbewegungen.....	30
4	Klimarisikoanalyse und Anpassungsbedarf.....	35
4.1	Wassermanagement.....	38
4.1.1	Umwelt und Ökosysteme.....	39
4.1.2	Wassernutzung durch Haushalte und andere Endverbraucher.....	39
4.1.3	Landwirtschaftliche Nutzung.....	40
4.1.4	Nutzung zur Stromerzeugung.....	41
4.1.5	Industrielle und touristische Nutzung.....	41
4.2	Biodiversität.....	44
4.2.1	Wald.....	44
4.2.2	Alpine Lebensräume.....	45
4.2.3	Agrarökosysteme.....	46
4.2.4	Moore und Seen.....	47
4.2.5	Fließgewässer.....	48
4.3	Landwirtschaft.....	52
4.3.1	Grünlandwirtschaft und Tierhaltung.....	53
4.3.2	Dauerkulturen: Obst- und Weinbau.....	55
4.3.3	Ackerbau und Sonderkulturen.....	57
4.4	Forstwirtschaft.....	61
4.4.1	Abiotische Schäden.....	62
4.4.2	Biodiversität und Verschiebung der Waldtypen.....	63
4.4.3	Biotische Einflussfaktoren/Schädlingsbefall.....	64
4.4.4	Kohlenstoffzyklus des Waldes.....	65
4.4.5	Wasserspeicherfunktion.....	66
4.4.6	Standort- und Objektschutzfunktion.....	67
4.5	Gesundheit.....	71
4.5.1	Hitze- und Kältestress sowie Luftverschmutzung.....	72
4.5.2	Klimaabhängige Infektionskrankheiten.....	73
4.5.3	Naturgefahren und Freizeitaktivitäten.....	74
4.5.4	Wasser und lebensmittelbedingte Krankheiten.....	75
4.6	Tourismus.....	78
4.6.1	Wintertourismus.....	79
4.6.2	Sommertourismus.....	80
4.6.3	Unterstützende- und Tourismusinfrastruktur und Beherbergung.....	80
4.7	Siedlungen, Infrastruktur, Kulturerbe.....	84
4.7.1	Siedlungen.....	85
4.7.2	Wesentliche öffentliche Infrastruktur und Dienste.....	86
4.7.3	Kulturerbe.....	87

4.8	<i>Energie</i>	91
4.8.1	Energienachfrage	92
4.8.2	Energietransport und -speicherung	93
4.8.3	Energieerzeugung und Umstellung auf andere Energiequellen	94
4.9	<i>Wirtschaft</i>	101
4.9.1	Verminderte Leistungsfähigkeit durch starke Hitze	102
4.9.2	Auswirkungen der Extremwetterereignisse Sturm, Starkregen und Trockenperioden	103
4.9.3	Lieferengpässe	104
4.9.4	Transitorisches Risiko	105
4.10	<i>Übergreifende Themen</i>	107
4.10.1	Fehlanpassung	107
4.10.2	Soziale Aspekte	107
4.10.3	Bildung	108
4.10.4	Partizipation	108
5	Governance	110
5.1	<i>Die Klimawandelanpassung im Rahmen des politischen Mehrebenensystems</i>	111
5.2	<i>Der provinzielle Rahmen: Gesetzgebungs- und Verwaltungsbefugnisse der Autonomen Provinz Bozen</i>	113
5.3	<i>Analyse der anpassungsrelevanten Politiken der Autonomen Provinz Bozen</i>	114
5.3.1	Allgemeine und transversale anpassungsrelevante Strategien und Pläne Südtirols	114
5.4	<i>Anpassungsrelevante sektorielle Strategien und Bestimmungen – sektorielle Analyse</i>	115
5.4.1	Wassermanagement	115
5.4.2	Biodiversität	117
5.4.3	Landwirtschaft	119
5.4.4	Forstwirtschaft	120
5.4.5	Gesundheit	121
5.4.6	Tourismus	122
5.4.7	Siedlungen, Infrastruktur und Kulturerbe	123
5.4.8	Energie	125
5.4.9	Wirtschaft	126
5.5	<i>Stakeholder Mapping</i>	128
6	Risikobewertung und Synthese	132
6.1	<i>Risikobewertung</i>	132
6.1.1	Evaluierung der Eignung der bestehenden Politikinstrumente	133
6.1.2	Bewertung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	133
6.2	<i>Ergebnisse der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs je Handlungsfeld</i>	135
6.2.1	Wassermanagement	135
6.2.2	Biodiversität	136
6.2.3	Landwirtschaft	138
6.2.4	Forstwirtschaft	138
6.2.5	Gesundheit	139
6.2.6	Tourismus	140
6.2.7	Siedlungen, Infrastruktur und Kulturgüter	141
6.2.8	Energie	142
6.2.9	Wirtschaft	142
6.3	<i>Synthese</i>	144
7	Empfehlungen	147

7.1	<i>Prioritäre Anpassungsstrategien und Handlungsfelder</i>	<i>148</i>
7.2	<i>Sektorübergreifende Prinzipien für eine Anpassungsstrategie</i>	<i>151</i>
7.3	<i>Empfehlung für die Entwicklung von detaillierten Anpassungsplänen</i>	<i>156</i>
7.4	<i>Sektorspezifische Empfehlungen.....</i>	<i>160</i>
7.4.1	Wassermanagement.....	160
7.4.2	Biodiversität.....	162
7.4.3	Landwirtschaft	166
7.4.4	Forstwirtschaft.....	169
7.4.5	Gesundheit.....	172
7.4.6	Tourismus	174
7.4.7	Siedlungen, Infrastruktur und Kulturgüter	176
7.4.8	Energie	179
7.4.9	Wirtschaft	181
7.4.10	Risikomanagement	183
8	Mitwirkende an diesem Bericht	187
9	Danksagung	192

1 Einleitung

Autor: Marc Zebisch

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Der Klimawandel betrifft nahezu alle natürlichen und menschlichen Systeme und dringt über Kaskadenwirkungen tief in gesellschaftliche und ökonomische Sektoren vor, wie der neue Klimarisikobericht der Europäischen Umweltagentur belegt (European Environment Agency, 2024). Abbildung 1 zeigt die Komplexität der Wechselwirkungen von klimatischen und nicht-klimatischen Risikofaktoren und den daraus resultierenden kaskadierenden Klimawirkungen und Klimarisiken auf verschiedene natürliche und menschliche Systeme schematisch für Südtirol auf. Diese systemische Betrachtungsweise ist die Grundlage für den vorliegenden Bericht.

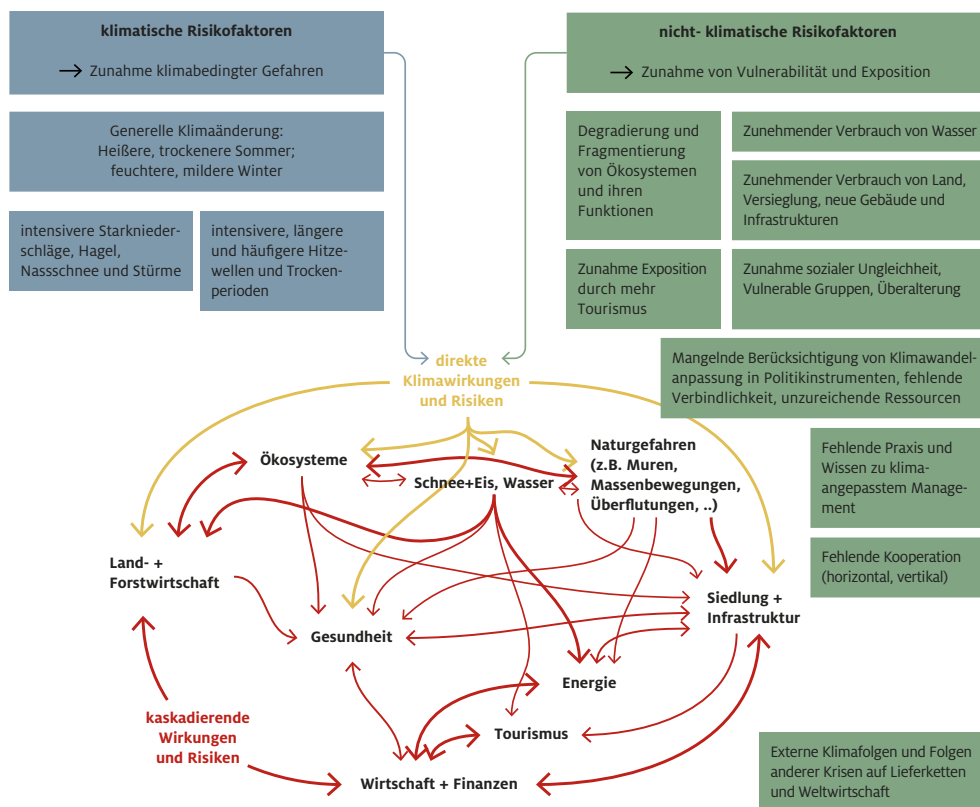


Abbildung 1: Wirkungs- und Risikokaskaden von natürlichen zu physischen und gesellschaftlichen Systemen am Beispiel Südtirol. Die Dicke der Pfeile stellt schematisch die Bedeutung der Wechselwirkung dar

Auch Südtirol befindet sich bereits mitten im Klimawandel. Die Temperaturen sind in den letzten 40 Jahren um mehr als 2 °C gestiegen. Klimaextreme wie tropische Nächte oder Starkregenereignisse haben bereits nachweislich zugenommen (→ siehe Kapitel 3). Extremereignisse wie der Sturm Vaia, der sich über dem überdurchschnittlich warmen Mittelmeer mit Energie und Wasser aufgeladen hat, und die kaskadenartigen Folgen von Schneebruch, Hitze und Trockenheit haben zu einer Borkenkäferepidemie geführt, die nicht nur die Wälder schädigt, sondern auch die Schutzfunktion der Wälder beeinträchtigt, die Gefahr von Steinschlag, Lawinen und Muren lokal erhöht und einen wirtschaftlichen Schaden für

den Waldbesitz ist. Starkregenereignisse mit Rekordniederschlägen und katastrophalen Folgen, inklusive Todesopfern, hohen Sachschäden in der Größenordnung von mehreren Milliarden Euro und zerstörter kritischer Infrastruktur (Straßen, Schienen, Stromnetz) haben in den letzten Jahren bereits Nachbarregionen getroffen (Slowenien August 2023, Bayern, Schweiz, Österreich und Norditalien Juni und Juli 2024).

Um die weiteren, teilweise unvermeidbaren negativen Auswirkungen auf Umwelt, Mensch und Gesellschaft zu minimieren und katastrophale Folgen zu verhindern, sind zwei ineinandergreifende Strategien erforderlich:

- **Klimaschutz:** Ziel ist es, den Temperaturanstieg gegenüber vorindustriellen Werten auf deutlich unter 2 °C, möglichst auf 1,5 °C zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Treibhausgasemissionen innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte auf Netto-Null reduziert werden. Laut EU-Klimaschutzgesetz muss dieses Ziel für Europa bis 2050 erreicht werden. Südtirol hat sich mit dem Klimaplan das Ziel gesetzt, bis 2040 klimaneutral zu werden. Klimaschutz ist die effektivste Art, Klimarisiken zu mindern, da nur Klimaschutz die klimabedingten Gefahren und damit die Ursachen von Klimarisiken mindert.
- **Klimaanpassung:** Dies bedeutet, die Verwundbarkeit natürlicher und gesellschaftlicher Systeme gegenüber negativen Klimawirkungen zu verringern bzw. ihre Widerstandsfähigkeit (Resilienz) zu erhöhen sowie mögliche Chancen durch veränderte Klimabedingungen zu nutzen. Klimaanpassung erfordert, die Klimarisiken zu kennen und die bisherigen Aktivitäten und den Umgang mit Klimarisiken systematisch zu überprüfen und flexibel an die sich ändernden Bedingungen anzupassen, neue Strategien und Maßnahmen des Risikomanagements einzuführen und gegebenenfalls alte Praktiken aufzugeben. Da Klimaanpassung überwiegend **über die Verringerung der nicht-klimatischen Risikofaktoren** (Vulnerabilität, Exposition, andere nicht-klimatischen Faktoren und Prozesse) funktioniert, werden in diesem Bericht nicht nur die möglichen klimabedingten Gefahren und deren Folgen analysiert, sondern auch die nicht-klimatischen Risikofaktoren und die Möglichkeiten diese zu mindern beschrieben (siehe Abbildung 1).

Beide Strategien sind im **Pariser Klimaabkommen** definiert und im EU-Klimaschutzgesetz (Artikel 2 und Artikel 4) als gleichwertig verankert, mit entsprechenden Auswirkungen auf deren horizontale Integration in andere politische Sektoren, als auch auf deren vertikale Verankerung in nachgelagerte politische Ebenen.

Die EU-Anpassungsstrategie 2021 betont die Notwendigkeit einer beschleunigten und systematischen Anpassung an den Klimawandel auf allen Ebenen (EU, national, regional, lokal) und in allen gesellschaftlichen Handlungsfeldern mit dem Ziel, langfristig eine klimaresiliente Gesellschaft zu erreichen.

Im Einklang mit der ersten EU-Strategie von 2013 hat das **italienische** Ministerium für Umwelt und Energiesicherheit (ehemals Ministerium für den ökologischen Wandel) zunächst die „Nationale Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“ verabschiedet und anschließend den „**PNACC - Nationalen Plan zur Anpassung an den Klimawandel**“ (MASE, 2023) entwickelt.

Auch andere Länder haben Anpassungsstrategien und -pläne entwickelt, zum Teil bereits in der zweiten Auflage. Von besonderer Relevanz für den vorliegenden Bericht ist der neue **österreichische Anpassungsplan** (Balas et al. 2024), dessen Analysen und Empfehlungen aufgrund der ähnlichen Klimarisiken einer Alpenregion auch für Südtirol relevant sind und im vorliegenden Bericht entsprechend berücksichtigt wurden.

Die Autonome Provinz Bozen besitzt zurzeit noch keine Anpassungsstrategie oder einen Anpassungsplan, verfügt dank des Autonomiestatus allerdings über eine Reihe von Zuständigkeiten in anpassungsrelevanten Sektoren und damit über rechtliche Spielräume zur Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Exposition und der Verwundbarkeit gegenüber klimatischen Risiken. Die Erstellung einer Anpassungsstrategie ist als **Maßnahme** im **Klimaplan Südtirol 2040** vorgesehen (als wesentliche Maßnahme des Aktionsfelds 5.14 – Resilienz und Anpassung)

Der vorliegende **wissenschaftliche Bericht** soll die **übergeordnete Anpassungsstrategie des Landes** vorbereiten sowie informieren und setzt daher die Schwerpunkte auf **Klimarisiken**, die weite Teile Südtirols betreffen oder mehrere Systeme, Sektoren oder Handlungsfelder gleichzeitig betreffen und sich

kaskadenartig ausbreiten. Außerdem fokussiert diese Studie auf **Anpassungsstrategien** und Maßnahmen (wie z.B. Politikinstrumente), **die auf der Ebene der Provinz eingeführt und umgesetzt werden sollten**, und weniger auf konkrete (technische) Maßnahmen in einzelnen Handlungsfeldern. Diese konkreten Maßnahmen sollten im Nachgang in **detaillierten Anpassungsplänen** für einzelne Handlungsfelder bzw. in einem **integrierten Anpassungsplan** entwickelt werden, mit Angaben zu Verantwortlichkeiten, Budget und Zeitrahmen sowie einem Monitoringsystem. Dennoch kann und soll dieser Bericht auch die Anpassungsplanung auf sektoraler sowie auf kommunaler Ebene unterstützen. Der methodische Rahmen, die Ergebnisse der Risikoanalyse und die Empfehlungen sind durchaus auch für diese Ebene relevant und anwendbar. Darüber hinaus sind alle Klimadaten, die diesem Bericht zugrunde liegen, auch auf Gemeindeebene auf der Website <https://gemeinden.eurac.edu/adaptation> verfügbar und können für kommunale Anpassungspläne verwendet werden. Dieser Bericht ergänzt und erweitert den **Klimareport Südtirol** von Eurac Research von 2018 (Zebisch et al., 2018), der ausführlich den Klimawandel und seine Folgen für Südtirol beschreibt und analysiert. Weiterhin werden für diesen Bericht die Indikatoren des „climate-change monitorings“ von Eurac Research verwendet, die jährlich aktualisierte Informationen zum Klimawandel und seinen Folgen in Südtirol liefern (siehe <https://www.eurac.edu/de/data-in-action/klimawandel-monitoring>).

Der Bericht ist das Ergebnis eines 1,5-jährigen Forschungsprojektes, finanziert durch das Forschungsprogramm der Provinz Bozen und unter Beteiligung von 29 Forscherinnen und Forschern von Eurac Research aus sieben Instituten und Centern. Er wurde vom Center for Climate Change and Transformation koordiniert.

1.2 Methodischer Rahmen und Arbeitsablauf

Grundlage dieser Studie ist ein von Eurac Research kontinuierlich weiterentwickelter Rahmen zur **Klimarisikoanalyse und -bewertung**, der unter anderem Eingang in die entsprechenden ISO Normen (z.B. ISO 14091) und in verschiedene technische Leitlinien wie z.B. die UNDRR technical guidance (UNDRR, 2022) oder das GIZ Climate Risk Sourcebook (Zebisch et al., 2023) gefunden hat. Die von Eurac Research entwickelte Methode liegt auch der aktuellen Studie zu Klimarisiken der Europäischen Umweltagentur zugrunde (European Environment Agency, 2024).

Dieser methodische Rahmen wurde für die vorliegende Studie weiterentwickelt und an den Südtiroler Kontext angepasst (siehe Abbildung 2).

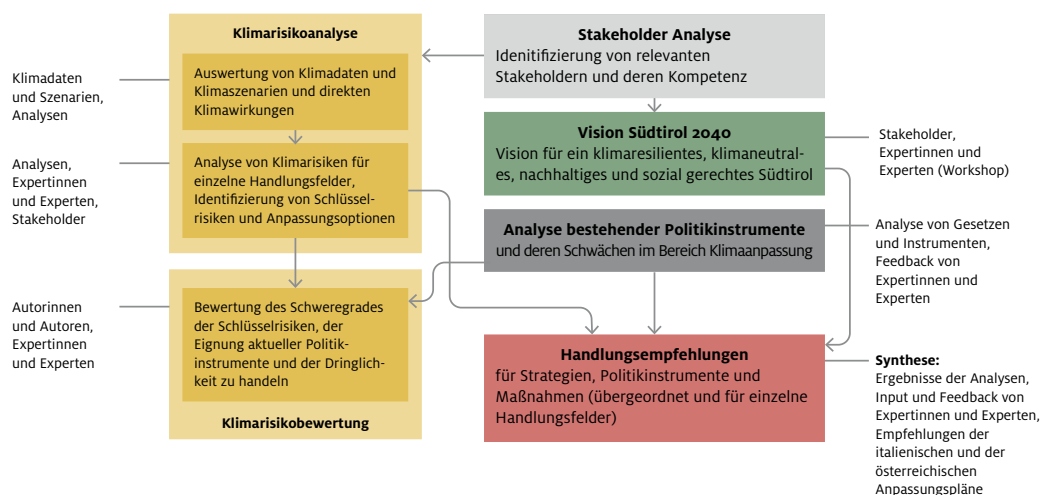


Abbildung 2: Methodischer Rahmen, Ablauf und Wissensquellen

Die **Klimarisikoanalyse** baut auf einer Analyse von **klimabedingten Gefahren** und direkten Klimawirkungen auf, ausgehend von einer Auswertung von Klimadaten und Klimaszenarien (→ siehe Kapitel 3). In einem zweiten Schritt werden die **Klimarisiken** für verschiedene Handlungsfelder analysiert, die sich aufgrund dieser Klimagefahren, aber auch aufgrund von **nicht-klimatischen Risikofaktoren** (Verwundbarkeit, Exposition) ergeben. Außerdem werden Schlüsselrisiken identifiziert (→ siehe Kapitel 4).

Da der Schwerpunkt dieser Studie auf dem Bedarf für übergeordnete Strategien und Instrumente liegt, wurde die Klimarisikoanalyse durch eine **Analyse bestehender Politikinstrumente** flankiert (→ siehe Kapitel 5). Schwerpunkt war hier die Identifizierung von Schwächen und Lücken hinsichtlich der Minderung von Klimarisiken in den bestehenden Gesetzen, Vorschriften und Regulierungen.

Auf Grundlage der Klimarisikoanalyse und der Analyse der bestehenden Politikinstrumente wurde der **Schweregrad der Schlüsselrisiken**, die Eignung aktueller Politikinstrumente und die **Dringlichkeit zu handeln** Expertinnen und Experten im Rahmen der Studie **bewertet** (→ siehe Kapitel 6).

Zusätzlich zu den durchgeführten Analysen hat das Projekt einen Beteiligungsprozess vorgesehen, um die vorläufigen Ergebnisse zu präsentieren und zu diskutieren, um zusätzliches Wissen und Praxiserfahrungen zu sammeln, einzubeziehen und in den Ergebnissen zu berücksichtigen. Als Teil dieses Prozesses wurden drei Workshops im Forschungszentrum Eurac Research organisiert: ein erster Fachworkshop mit Expertinnen und Experten, um die vorläufigen Ergebnisse der Klimarisikenanalyse zu diskutieren; eine Zukunftswerkstatt mit Verbänden, Vertreter*innen der Zivilgesellschaft und Interessenvertreter*innen, um eine Zukunftsvision für ein klimaresilientes Südtirol zu erarbeiten und ein dritter abschließender Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesverwaltung, um Anpassungsmaßnahmen für Südtirol zu erarbeiten. Die **positive Vision für ein klimaresilientes, klimaneutrales, nachhaltiges und sozial gerechtes Südtirol**, die im Rahmen der Zukunftswerkstatt entwickelt wurde, dient der Studie als Leitbild und als Perspektivenwechsel weg von dem Fokus auf den reinen Schutz des Status quo und den

dazu nötigen Maßnahmen hin auf das, was im Sinne einer sozialen und ökologischen Transformation erstrebenswert ist.

Schließlich wurden aus den einzelnen Analysen und Ergebnissen der drei Workshops **Handlungsempfehlungen** für Strategien und Maßnahmen auf übergeordnete Ebene sowie für einzelne Handlungsfelder abgeleitet (→ siehe Kapitel 7). Die Empfehlungen wurden, inspiriert von wissenschaftlicher Literatur und von nationalen Anpassungsplänen (Italien, Österreich), vom Forschungsteam der Studie vorgeschlagen und in drei Workshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten des Landes und Stakeholdern weiterentwickelt. Das Ergebnis dieses Prozesses wurde schließlich in der Studie zusammengefasst und strukturiert.

Literatur

- Balas, M., Lexer, W., Neumann, H., Offenzeller J.M., Völler, S., Vollgruber, D, 2024. Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, Österreich.
- European Environment Agency, 2024. European climate risk assessment: executive summary. Publications Office, LU.
- MASE, 2023. PNACC. Ministro dell’ambiente e della sicurezza energetica.
- UNDRR, 2022. Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Zebisch, M., Terzi, S., Pittore, M., Renner, K., Schneiderbauer, S., 2022. Climate Impact Chains—A Conceptual Modelling Approach for Climate Risk Assessment in the Context of Adaptation Planning, in: Climate Adaptation Modelling, Springer Climate. Springer International Publishing, Cham, pp. 217–224. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86211-4_25
- Zebisch, M., Vaccaro, R., Niedrist, G., Schneiderbauer, S., Streifeneder, T., Weiß, M.L., Troi, A., Renner, K., Pedoth, L., Baumgartner, B., Bergonzi, V., 2018. Klimareport Südtirol 2018. Bozen: Eurac Research, Bozen.
- Zebisch, M., Renner, K., Pittore, M., Fritsch, U., Fruchter S.R., Kienberger, S., Schinko, T., Sparkes, E., Hagenlocher, M., Schneiderbauer, S. and Delves, J.L. (2023). Climate Risk Sourcebook. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Bonn.

2 Zukunftsvision 2040

Autorinnen und Autor: Federica Maino, Lydia Pedoth, Michael Pörnbacher

Um eine positive Veränderung in eine bestimmte Richtung zu erreichen, bedarf es einer klaren und weit verbreiteten Vision für die Zukunft. Eine solche gemeinsame Vision kann die Welt verändern.

Costanza & Kubiszewski, 2014

Im Hinblick auf die Zukunftserwartungen sind heute im Wesentlichen zwei Einstellungen am weitesten verbreitet (Poli, 2017): Auf der einen Seite stehen diejenigen, die die Zukunft als direkte Fortsetzung der Gegenwart sehen. Sie gehen davon aus, dass die Herausforderungen der Zukunft mit Hilfe von Wissenschaft und Technologie, Engagement und Organisation angegangen und bewältigt werden können. Andere sehen die Zukunft aus der Perspektive der gegenwärtigen Probleme und halten deren Verschärfung für unvermeidlich.

Wenn man sich bewusst und mit geeigneten Methoden mit der Zukunft auseinandersetzt, kann man aktiv, kritisch und kreativ mit ihr „arbeiten“. Das „Backcasting“, ein von John B. Robinson (1982) geprägter Begriff, ist eine der bekanntesten Methoden der Zukunftsforschung. Sie dient dazu, eine langfristig wünschenswerte Zukunft mit der Gegenwart zu verknüpfen, indem rückblickend die „Grundvoraussetzungen“ identifiziert werden, die diese Zukunft ermöglichen.

Insgesamt 31 Personen haben in Vertretung der verschiedenen in Südtirol tätigen Organisationen am 7. März 2024 im Forschungszentrum Eurac Research am Workshop „Zukunftslabor“ teilgenommen. Ziel des Workshops war es, einen Moment für kollektives Nachdenken zu schaffen, um eine langfristige Vision zu entwickeln, die den Wandel in eine wünschenswerte Richtung lenken kann – und das mit dem Klimawandel und trotz des Klimawandels. Der Workshop zielte auch darauf ab, unter der Berücksichtigung eines breiten Spektrums von Standpunkten zur Festlegung der Anpassungsstrategie der Autonomen Provinz Bozen beizutragen.

Unter der Leitung eines aus Forscherinnen und Forschern bestehenden Teams wurde die Gruppe gebeten, sich in Bezug auf sechs Hauptaktivitäten, denen sich jeder in Südtirol lebende Mensch tagtäglich widmet, eine mögliche Zukunft vorzustellen:

- Arbeiten und Produzieren
- Wohnen
- Mobilität
- Gesunde Ernährung und Gesundheit
- Freizeitgestaltung und Wertschätzung der Landschaft
- Bildung, Kultur schaffen und erleben, kommunizieren

Im ersten Teil des Workshops wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in thematische Gruppen aufgeteilt und dazu angeleitet, über die wichtigsten Klimarisiken nachzudenken, die sich auf das gewählte Thema auswirken könnten. Anschließend wurden sie aufgefordert, eine Vision für eine für 2040 wünschenswerte Zukunft festzulegen, die im Folgenden zusammengefasst wird. Im zweiten Teil wurden die Zwischenziele (2026 und 2030) konkretisiert, die zu dieser Vision notwendig sind.

„Wir schreiben das Jahr 2040...

... die Städte und Dörfer Südtirols sind grün soweit das Auge reicht. Und das dank der reduzierten Oberflächenversiegelung, der **Renaturierung** und der **Begrünung der Dächer** – Maßnahmen, die in der Klimaanpassungsstrategie von 2024 vorgesehen waren. Das Konzept der „**Schwammstadt**“, die in der Lage ist,

Wasser zu absorbieren, zurückzuhalten und zu filtern, ist keine Zukunftsvision mehr, sondern bereits Realität. Wohnraum für alle erschwinglich, was unter anderem auch den Mehrgenerationen-Wohnhäusern zu verdanken ist. Der **gemeinsam genutzte Wohnraum** führt zu einer effizienteren Nutzung der Gebäude und fördert die soziale Interaktion.

Die Wirtschaft ist durch die Minimierung der Klimarisiken widerstandsfähig. Sie zeichnet sich durch **Diversifizierung, Kreislaufwirtschaft**, regionale Ausrichtung, Autarkie, gerechte Ressourcennutzung und **soziale Inklusion** aus. Nachhaltigkeit ist in die Produktion und Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen integriert und durch ein Gesetz zur Nachhaltigkeit der Lieferketten geregelt. „Wirtschaftliche Monokulturen“, sektorielle Planung und die Abhängigkeit von der Wasserkraft gehören der Vergangenheit an. Zur Entschärfung von Wasserknappheitskonflikten wird der Einsatz von **Photovoltaik** gefördert und **Stauseen werden multifunktional** genutzt. Es gibt Expansionsgrenzen, die auf einer gerechten Verteilung der

Wasserressourcen beruhen. So wird z.B. die Bettenzahl im Tourismus reguliert. Durch eine **integrierte und effiziente Gefahrenzonenplanung** werden die **Risiken für Siedlungen und Infrastruktur minimiert**. Die Finanzierungspolitik sieht vor, dass für jede Investition eine Klimaaanalyse vorliegen muss.

Die Lebensqualität hat sich verbessert, was sich auch im allgemeinen Gesundheitszustand der Bevölkerung widerspiegelt. **Flexible** und kürzere **Arbeitszeiten** tragen zu einer besseren Work-Life-Balance bei, **Maßnahmen gegen die Hitze** und Trockenheit erhöhen die Sicherheit am Arbeitsplatz. Ein Grundeinkommen ergänzt diese Maßnahmen.

Die täglichen Wege werden in der Regel zu Fuß zurückgelegt. 50 % weniger Autos und **kürzere Wege** sind die natürliche Folge flexibler Arbeitsformen, neuer Mobilitätsmodelle und der **Digitalisierung von Dienstleistungen**. **Öffentliche Verkehrsmittel**, selbstfahrende Autos und verschiedene Formen der **geteilten Mobilität** - wie Carsharing und Fahrgemeinschaften - haben sich auch in ländlichen Gebieten etabliert. Familien investieren in geteilte Dienste statt in private Autos, was die damit verbundenen Kosten senkt. Die Infrastruktur ist an das Klima angepasst, z.B. sind **Radwege beschattet**, so dass sie auch im Sommer genutzt werden können. Durch die **dezentrale Versorgung mit Dienstleistungen** ist es weniger notwendig, in die größeren Städte zu fahren; dasselbe gilt für andere Dienstleistungen wie Postämter und Geschäfte. All dies ermöglicht es den Menschen, kürzere Wege für ihre täglichen Bedürfnisse zurückzulegen, unnötige Fahrten zu vermeiden und mehr Zeit für andere Aktivitäten zu haben.

Ernährung, Konsum und Gesundheit gehen Hand in Hand mit Technologien, die die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels erhöhen. Zu den **neuen Ernährungsstilen** gehören eine vermehrte vegetarische Ernährung und die Nutzung alternativer Proteinquellen sowie die Rückbesinnung auf lokale Traditionen mit vollständiger Nutzung aller Zutaten und Vermeidung von Abfällen. Aus dem Ausland importierte Lebensmittel, die die Umwelt stark belasten, sind weniger verfügbar. Die lokale landwirtschaftliche Produktion konzentriert sich auf **Pflanzen, die extremen klimatischen Bedingungen standhalten**. Apfelpplantagen und Weinberge werden durch **Überwachungstechnologien** zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten und ein **intelligentes Wassermanagement** unterstützt. Die Anbauplanung wird überdacht, Monokulturen werden vermieden und Lösungen integriert, die von der Natur inspiriert sind und zur Artenvielfalt beitragen, wie **grüne Korridore** zwischen den Feldern und Agro-Photovoltaik zur Erzeugung erneuerbarer Energie. Das Gesundheitssystem ist durch ein Netz zur Überwachung und Beobachtung von Gesundheit und Umwelt, das neue Krankheitserreger, Parasiten und Viren schnell abfängt, mit dem Umweltsektor integriert.

Tourismus- und Freizeitaktivitäten fördern die Vorbereitung auf und die Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Wetterereignissen durch **Information und Sensibilisierung** der lokalen Bevölkerung und der Gäste. Echtzeit-Monitoring ermöglicht ein effizientes Management von Informationsflüssen und **Warnsystemen** und verbessert die Reaktionsfähigkeit.

Der Wintertourismus basiert auf Flexibilität und Nachhaltigkeit, indem das touristische Angebot an die klimatischen Bedingungen angepasst und die Umweltbelastung reduziert wird. So wird z.B. die **Eröffnung der Skisaison** in den einzelnen Skigebieten **von den tatsächlichen Schneeverhältnissen abhängig** gemacht und der Bau von Aufstiegshilfen unterhalb bestimmter Höhenlagen bzw. Schneebilanzschwellen nicht mehr zugelassen. Die Flächeninanspruchnahme für Freizeitanlagen wird reduziert und auch auf Privatgrundstücken werden **Rückhaltebecken** angelegt, um **Regenwasser zu speichern** und Hochwassergefahren zu vermindern, aber auch um Lebensraum für die heimische Tier- und Pflanzenwelt und, wo möglich, Erholungsmöglichkeiten für die lokale Bevölkerung zu schaffen.

Partizipative Demokratie und Mitverantwortung sind zentrale Werte. Die Kommunikation ist durch den **intelligenten Einsatz von Smartphones** transparent, die einen sofortigen Zugriff auf eine Vielzahl von Daten und Nachrichten ermöglichen. Um eine Spaltung und die Bildung gegensätzlicher Gruppierungen zu verhindern, wird eine polarisierende Kommunikation vermieden. Jeder Einzelne fühlt sich beteiligt und verantwortlich für das, was in seinem Umfeld geschieht. Die Kultur spielt dabei eine Schlüsselrolle als Motor des sozialen Wandels; sie regt den Dialog an und fördert die positive Entwicklung der Gemeinschaft. Man ist sich bewusst, dass man Teil einer Migrationsgesellschaft ist, die durch den Klimawandel hervorgerufen wird, der Menschen dazu zwingt, vom Süden in den Norden zu ziehen. Die Klimapsychologie befasst sich mit den emotionalen und psychologischen Auswirkungen des Klimas auf den Menschen.

Im Jahr 2040 ist die Lebensqualität in Südtirol dank einer erneuerten Beziehung zwischen Mensch und Natur, einer vielfältigen und harmonischen Landschaft und einer informierten, partizipativen, bewussten und im Umgang mit Klimarisiken organisierten Gesellschaft deutlich gestiegen.“

Literatur

- Poli, R., 2017: STRATEGIE DI FUTURO IN CLASSE Esperienze, metodi, esercizi. IPRASE - Istituto Provinciale per la Ricerca e la Sperimentazione Educativa.
- Robinson, J.B., 1982: Energy backcasting: A proposed method of policy analysis.- Energy Policy, Vol. 10, Issue 4, P. 337-344

Wir schreiben das Jahr 2040....

*Südtirol hat
Lösungen und
Prozesse für den
Umgang mit Klima-
risiken entwickelt und die
Lebensqualität hat sich
dadurch erheblich verbessert!*



3 Klimawandel, Hydrologie und Naturgefahren

Autorinnen und Autor: Alice Crespi, Giacomo Bertoldi, Viola Ducati, Chiara Crippa

3.1 Erkenntnisse aus dem Klimareport 2018

Von 1966 bis 2015 hat sich die Durchschnittstemperatur in Südtirol im Sommer um etwa +2,2 °C und im Winter um +0,8 °C erhöht (basierend auf den Daten von sechs Wetterstationen des Amts für Meteorologie und Lawinenwarnung der Autonomen Provinz Bozen). Die stärksten Temperaturanstiege wurden in Bozen und Brixen verzeichnet, wo die Sommermitteltemperatur jeweils um rund 3 °C anstieg und in den Jahren 2003 und 2015 Rekordtemperaturen erreichte. Die Temperaturentwicklung entspricht dem globalen Trend: Während die globale Mitteltemperatur seit der vorindustriellen Zeit um etwa 1 °C angestiegen ist, haben sich der europäische Kontinent und insbesondere die Alpen etwa doppelt so stark erwärmt wie das globale Mittel. Klimaszenarien (basierend auf sechs Wetterstationen, kalibriert mit Hilfe eines Bias-Korrekturverfahrens) zeigen für die Zukunft bis 2100 eine Zunahme der Erwärmung. Das Emissionsszenario RCP 8.5 (ohne Klimaschutzmaßnahmen) weist im Vergleich zu den übrigen Emissionsszenarien die stärkste Erwärmung auf. Von 2011 bis 2050 wird ein Anstieg der Sommertemperaturen zwischen +1,4 °C und +1,6 °C und der Wintertemperaturen zwischen +1,1 °C und +1,3 °C erwartet. Bis 2100 zeigt das Emissionsszenario RCP 8.5 einen Anstieg von +5,4 °C im Sommer und +4,7 °C im Winter. Extrem hohe Temperaturen werden immer häufiger auftreten. Überall in Südtirol ist auch eine Zunahme der Temperaturextreme zu beobachten, wie die Zunahme der "Sommertage" und "Tropennächte" und die Abnahme der "Frosttage" mit Temperaturen unter 0 °C zeigen. Dies gilt für alle sechs untersuchten Stationen, auch für Orte am Berg, wie z.B. Sexten.

Bei den Niederschlägen zeigen die beobachteten Jahres- und Jahressummen der letzten Jahrzehnte keinen signifikanten Trend, und die jahreszeitliche Variabilität ist groß. Die Projektionen bis 2100 lassen für die betrachteten Stationen eine schwache Zunahme der Winterniederschläge erkennen. Eine Intensivierung und Zunahme der Häufigkeit von Extremniederschlägen ist nach der Datenlage ebenfalls möglich, jedoch bedarf es hierzu weiterer Untersuchungen. Trockenperioden könnten in Südtirol in Zukunft häufiger auftreten, vor allem in den Sommermonaten. Höhere Temperaturen führen zu höheren Wasserverlusten durch Bodenverdunstung und Transpiration der Vegetation (Evapotranspiration).

3.2 Fortschreibung der Daten und Methoden

Für die vorliegenden Analysen wurden die täglichen meteorologischen Beobachtungen von Temperatur und Niederschlag von über 80 Messstellen in Südtirol des Amtes für Meteorologie und Lawinenschutz der Autonomen Provinz Bozen verwendet und durch Daten benachbarter Messstellen im Trentino, in der Schweiz und in Österreich ergänzt. Mit Hilfe eines geostatistischen Verfahrens (Crespi et al., 2021) wurden die Daten von 1980 bis heute mit einer Auflösung von 1 x 1 km über ganz Südtirol interpoliert. Zuvor wurden alle Beobachtungsreihen auf Messfehler und zeitliche Homogenität geprüft. Die interpolierten Daten liefern Informationen für jeden Punkt des Gebietes und erlauben die Ableitung eines Gebietsmittelwertes, der repräsentativer und belastbarer ist als der Mittelwert der Einzelstationen.

Analog zum Klimareport 2018 wurden aus dem EURO-CORDEX-Archiv (Jacob et al., 2014) die täglichen Klimaprojektionen der Temperatur und des Niederschlags für die Emissionsszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 von 1971 bis 2100 abgeleitet. In diesem Fall wurde die räumliche Auflösung von etwa 12 km auf 1 x 1 km erhöht. Die Quantile Delta Mapping (QDM) Methode wurde verwendet, um die Modellwerte auf der Basis der gerasterten Beobachtungen zu korrigieren, während der langfristige Trend beibehalten wurde (Cannon et al., 2015). Durch diesen Schritt werden systematische Fehler in den Modellsimulationen aufgrund einer geringen räumlichen Auflösung reduziert. So wurde auch die Darstellung von Klimateigenschaften in Gebirgsregionen mit komplexer Geländestruktur verbessert.

Das Modellensemble besteht aus 15 verschiedenen Temperaturmodellen und 11 verschiedenen Niederschlagsmodellen für die beiden Szenarien.

Für die Berechnung und Analyse verschiedener Klimaindikatoren wurden Beobachtungen und Projektionen auf 1 x 1 km-Raster verwendet. Diese sind zum Teil bereits im Klimabericht 2018 berücksichtigt. Die räumlichen Daten können in Karten dargestellt und die Ergebnisse z.B. nach Gemeindegebieten oder Höhenstufen differenziert werden. Die Liste der berücksichtigten Indikatoren findet sich in Tabelle 1. Die Ergebnisse für einige der Indikatoren sind auf der Webseite von Eurac Research im Rahmen des Klimawandelmonitorings für Südtirol verfügbar (<https://www.eurac.edu/de/data-in-action/klimawandel-monitoring/cat/klima>).

Tabelle 1: Liste der berücksichtigten Klimaindikatoren und deren Beschreibung

Indikatoren	Beschreibung
Jahresmitteltemperatur	Jährliche durchschnittliche Tagestemperatur
Mittlere Temperatur pro Jahreszeit	Durchschnittliche Tagestemperatur im Sommer (Juni bis August) und im Winter (Dezember bis Februar)
Jährlicher Gesamtniederschlag	Summe der Tagesniederschläge pro Jahr
Mittlerer Niederschlag pro Jahreszeit	Tagesniederschlagssumme über 6 Sommermonate (April-September) und 6 Wintermonate (Oktober-März)
Tropennächte	Anzahl der Tage im Jahr mit einer minimalen Temperatur $\geq 20^{\circ}\text{C}$
Hitzewellentage	Anzahl der Tage im Jahr, an denen die Höchsttemperatur an mindestens sechs aufeinander folgenden Tagen über dem 90. Perzentil liegt, berechnet für ein 5-Tage-Fenster mit dem Tag und der Periode als Mittelwert
Frosttage	Gesamtzahl der Tage im Jahr mit einer Mindesttemperatur von $< 0^{\circ}\text{C}$
Kühlungsgradtage	Summe der täglichen Abweichung zwischen den Temperaturen und einer Schwellentemperatur (22°C) von April bis September
Jährlicher maximaler Tagesniederschlag	Der Wert des höchsten Tagesniederschlag pro Jahr

Jährliche Gesamtsumme der Starkniederschläge	Jährliche Summe der Tagesniederschläge, die das 95. Perzentil überschreiten, berechnet über den Bezugszeitraum und nur über Regentage (> 1 mm)
Jährliche Häufigkeit von Starkregenereignissen	Anzahl der Tage im Jahr, an denen der Niederschlag, über dem für den Bezugszeitraum berechneten 95. Perzentil liegt (Berechnet für Regentage > 1 mm)
Durchschnittliche tägliche Niederschlagsmenge	Durchschnittlicher Tagesniederschlag (nur für Regentage > 1 mm)
Dauer der Trockenperiode	Maximale jährliche Dauer aufeinanderfolgender regenfreier Perioden
SPI	Normierte Abweichungen der Niederschlagssummen eines bestimmten Zeitraumes (z.B. 12 Monate) vom Referenzmittelwert.
SPEI	Normierte Abweichungen der über einen bestimmten Zeitraum (z. B. 12 Monate) kumulierten Bilanz aus Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration von den mittleren Referenzwerten.

Im Folgenden werden die zukünftigen Veränderungen für die nahe Zukunft (2021 – 2040) und mittlere Zukunft (2041 – 2060) im Vergleich zur Referenzperiode 1981 – 2010 berechnet. Die angegebenen Werte beziehen sich über alle Simulationen hinweg jeweils auf den Median. Die Emissionsszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 sind in der nahen Zukunft ähnlich und unterscheiden sich mittelfristig nur geringfügig. Die Ergebnisse für den Zeitraum 2021 bis 2040 unterscheiden sich nicht zwischen den Szenarien, während das Emissionsszenario RCP 8.5 als Obergrenze für die Projektionen bis 2060 angesehen werden kann. Sofern nicht anders angegeben, handelt es sich bei den angegebenen Werten um räumliche Mittelwerte für ganz Südtirol.

3.3 Fortschreibung der Ergebnisse

Durchschnittstemperatur

Von 1980 bis 2022 ist in Südtirol ein signifikanter Anstieg der **Jahresmitteltemperatur** um ca. 2 °C mit einem Trend von ca. +0,5 °C pro Dekade zu verzeichnen. Das Jahr 2022 war mit einer Anomalie von rund +1,9 °C gegenüber dem 30-jährigen Mittel 1981 bis 2010 das wärmste Jahr seit 1980. Auch die **mittleren Sommer- und Wintertemperaturen** stiegen mit +0,6 °C bzw. +0,3 °C pro Dekade deutlich an.

Für die nahe Zukunft (2021 – 2040) zeigen beide Szenarien einen weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperatur um etwa 1 °C, für die mittlere Zukunft (2041 – 2060) schwanken die Projektionen zwischen +1,5 °C (RCP 4.5) und +2 °C (RCP 8.5) gegenüber 1981 bis 2010 (Abbildung 3). Insgesamt zeigen die Modelle einen vergleichbaren mittleren Anstieg der Sommer- und Wintertemperaturen.

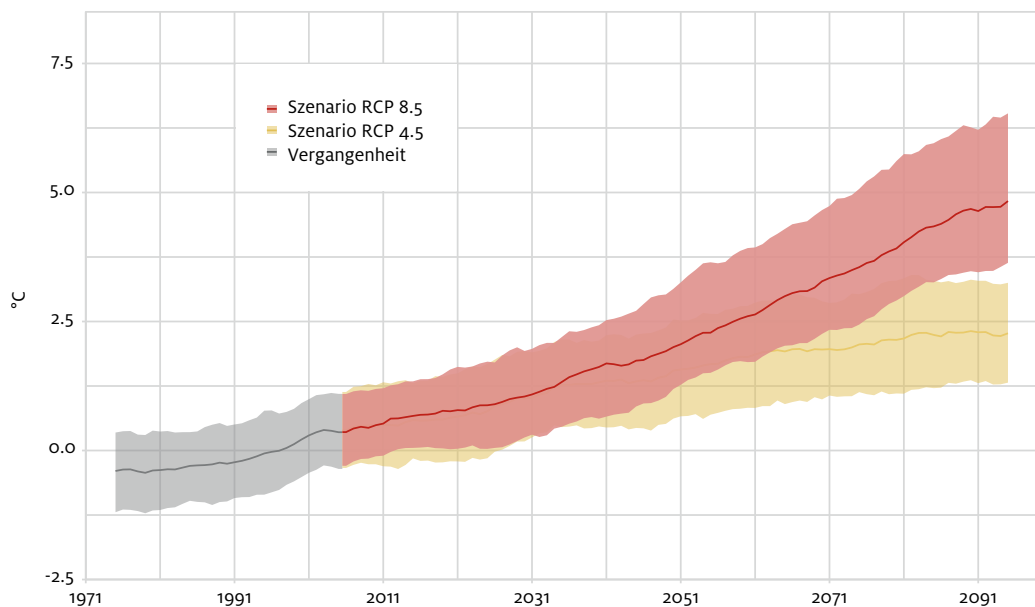


Abbildung 3: Klimaprojektionen der jährlichen mittleren Temperaturanomalien in Südtirol im Vergleich zum 30-jährigen Mittel 1981 – 2010 (die Jahreswerte sind mit einem gleitenden 10-jährigen Mittel gefiltert). Die Mittellinie stellt den Median der Modelle dar, während die farbigen Flächen vom 5. bis zum 95. Perzentil der Projektionen reichen

Temperaturextreme

Die Anzahl der **Hitzewellentage** hat sich seit 1980 mehr als verdoppelt. Bisher war 2015 das Jahr mit den meisten Hitzewellentagen, gefolgt von 2003. In der nahen Zukunft (2021 – 2040) könnten Hitzewellentage verstärkt auftreten, und in der mittleren Zukunft (2041 – 2060) werden durchschnittlich etwa 30 (RCP 4.5) bzw. 40 (RCP 8.5) Tage mit Hitzebelastung pro Jahr erwartet.

Von 1980 bis 2022 gab es eine Zunahme von etwa fünf **Tropennächten** pro Jahr in den Gebieten unter 500 m Höhe. Das Jahr 2015 war das Jahr mit den meisten Tropennächten seit 1980, gefolgt von den Jahren 2003 und 2019. In Bozen wurden im Jahr 2015 25 Tropennächte registriert, die Zunahme von 1980 bis 2022 beträgt etwa zehn Nächte pro Jahr. In der nahen Zukunft (2021 – 2040) wird für Südtirol für Gebiete unter 500 m eine durchschnittliche Zunahme von etwa sechs Tropennächten pro Jahr erwartet, in der mittleren Zukunft (2041 – 2060) je nach Szenario zwischen 12 und 14 Nächten.

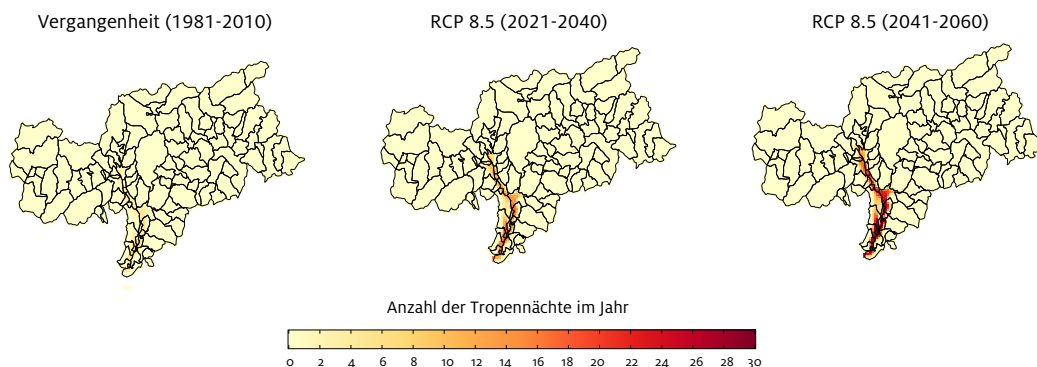


Abbildung 4: Durchschnittliche Anzahl der Tropennächte in einem Jahr in Südtirol im historischen Zeitraum 1981-2010 und in den Jahren 2021–2040 und 2041–2060 nach dem Emissionsszenario RCP 8.5

Die Anzahl der Frosttage nimmt in allen Höhenlagen kontinuierlich ab. Seit 1980 beträgt die Abnahme der **Frosttage** pro Jahr etwa 30 für Gebiete unter 500 m und etwa 40 für Gebiete über 1000 m. Das Jahr mit den wenigsten Frosttagen war 2014. Für die mittlere Zukunft (2041 – 2060) wird eine deutliche Abnahme der Frosttage erwartet, die sich nur in Höhenlagen über 3000 m fortsetzen wird (RCP 8.5). Die **Kühlgradtage** werden im Allgemeinen verwendet, um den Energieverbrauch für die Kühlung von Gebäuden abzuschätzen. Dieser Indikator ist für die Station Bozen seit 1980 um 30 % gestiegen, mit einem Spitzenwert im Jahr 2022, gefolgt von 2003. Für die nahe Zukunft (2021 – 2040) wird ein weiterer Anstieg um 30 % erwartet, und für die mittlere Zukunft (2041 – 2060) wird ein Anstieg zwischen 48 % (RCP 4.5) und 56 % (RCP 8.5) im Vergleich zur Referenzperiode 1981 bis 2010 erwartet.

Niederschlag

Die Beobachtungen der **jährlichen und saisonalen Niederschläge** zeigen in den letzten Jahrzehnten keine signifikanten Veränderungen, abgesehen von einem leichten Aufwärtstrend der Niederschläge von Oktober bis März und einer erheblichen Variabilität während des Jahres. Zukünftige Projektionen zeigen eine leichte Zunahme der jährlichen Niederschläge auf regionaler Ebene mit einer kurz- bis mittelfristigen Änderung von etwa +2 % und +5 % nach dem Emissionsszenario RCP 4.5. Für die Sommerniederschläge (April bis Oktober) werden keine signifikanten Änderungen erwartet, allerdings wird mittelfristig mit einer leichten Abnahme gerechnet, insbesondere unter dem Emissionsszenario RCP 8.5. Interessanterweise liegt der Median der sommerlichen Schwankungen zwar nur bei wenigen Prozentpunkten, aber die Bandbreite der Modelle zeigt mittelfristig auch Abnahmen von mehr als 10 %, insbesondere im Emissionsszenario RCP 8.5 (Abbildung 5). Im Winter sind die Schwankungen ausgeprägter und alle Modelle zeigen kurz- und mittelfristig eine Zunahme (+4 % und +10 % für beide Szenarien).

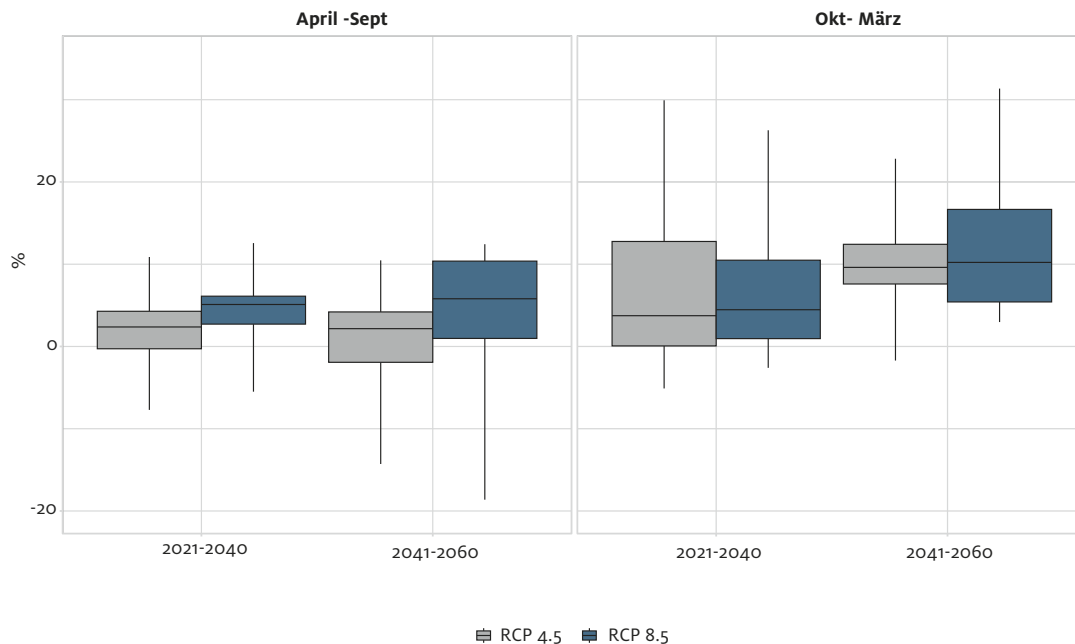


Abbildung 5: Boxplots der relativen kurz- und mittelfristigen Änderungen des saisonalen Niederschlags in Südtirol im Vergleich zu 1981–2010 und für die beiden Szenarien. Die horizontale Linie zeigt den Median der Simulationen, die Kästchen den Interquartil-Bereich und die vertikalen Linien die Minimal- und Maximalwerte

Trockenheit

Die Dauer der **Trockenperioden** in Sinne eines Niederschlagsdefizits zeigt weder in den Beobachtungen noch in den Projektionen signifikante Änderungen. Aufgrund der Auswirkungen steigender Temperaturen auf die Evapotranspiration wird jedoch erwartet, dass Trockenheit in Form von defizitären Wasserhaushaltsbedingungen in den kommenden Jahrzehnten zunehmen wird. Nach dem **12-Monats-SPEI-Indikator** wird die Anzahl der Monate mit schwerer Trockenheit in beiden Szenarien zunehmen. Für die mittlere Zukunft (2041 – 2060) könnte es mehr als 15 Monate mit schweren Defiziten ($\text{SPEI} < -2$) im Worst-Case-Szenario und mehr als 10 Monate im Emissionsszenario RCP 4.5 geben. Im Gegensatz dazu zeigen die Projektionen des 12-Monats-SPI-Indikators, der nur auf den kumulierten Niederschlägen basiert, eine Zunahme der Monate mit einem Niederschlagsüberschuss. Der Vergleich der beiden Indikatoren zeigt, dass die Temperaturzunahme eine entscheidende Einflussgröße bei der Bestimmung von Dürrebedingungen ist, auch wenn die jährlichen Niederschlagsmengen leicht abnehmen. Es ist wichtig zu betonen, dass die Berechnung des **SPEI** von einer unbegrenzten Verfügbarkeit von Feuchtigkeit für die Evapotranspiration ausgeht. Projektionen für zukünftige Entwicklungen sollten daher als Obergrenze für die erwartete Variabilität von Dürreereignissen in der Region interpretiert werden. Die gleichen Schlussfolgerungen gelten auch für SPI und SPEI, die für kürzere Zeiträume (z.B. drei Monate) berechnet wurden.

Starkniederschläge

Die Starkniederschläge zeigen von 1980 bis heute nur geringe jährliche Schwankungen. Die **Jahresmaxima der Tagesniederschläge** zeigen Änderungen von weniger als 10 % pro Jahrzehnt, wobei vor allem im zentralen und östlichen Teil von Südtirol eine Zunahme und im westlichen Teil eine Abnahme zu verzeichnen ist, die jedoch statistisch nicht signifikant sind. Analysiert man die Veränderungen an den 32 Beobachtungsstationen in Südtirol seit 1956, so sind die Trends der Jahresmaxima in den meisten Fällen positiv, und an 10 Stationen sind sie sogar signifikant (Abbildung 6). Die Projektionen zeigen sowohl kurz- als auch mittelfristig eine Zunahme auf regionaler Ebene (+7 % für das Emissionsszenario RCP 4.5 und +11 % für Emissionsszenario RCP 8.5 bis 2060). Ähnliche Veränderungen werden für die

Jahressummen der Starkniederschläge projiziert (+19 % und +24 % bis 2060 je nach Szenario). Die **Häufigkeit** dieser Niederschläge nimmt leicht zu.

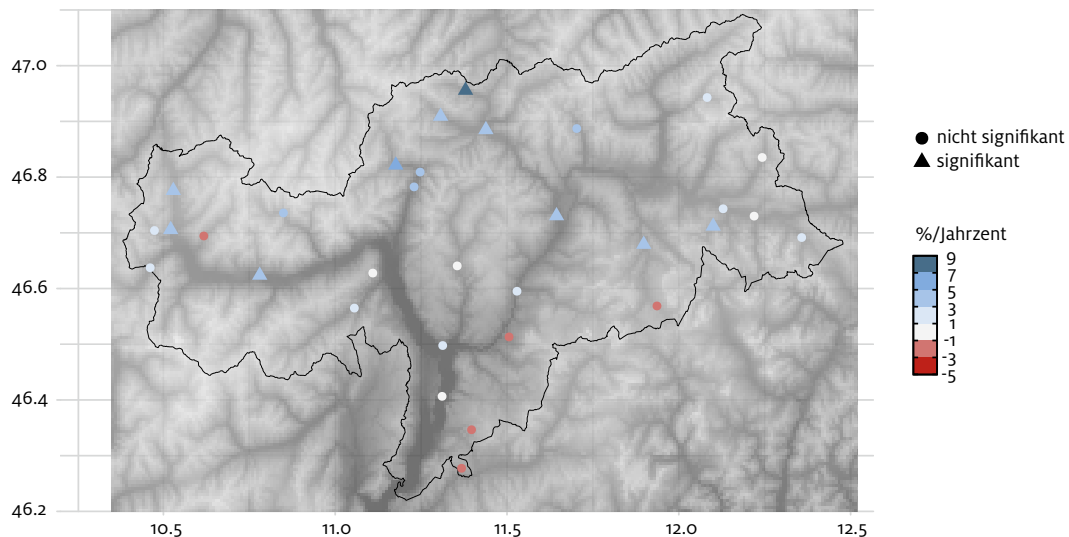
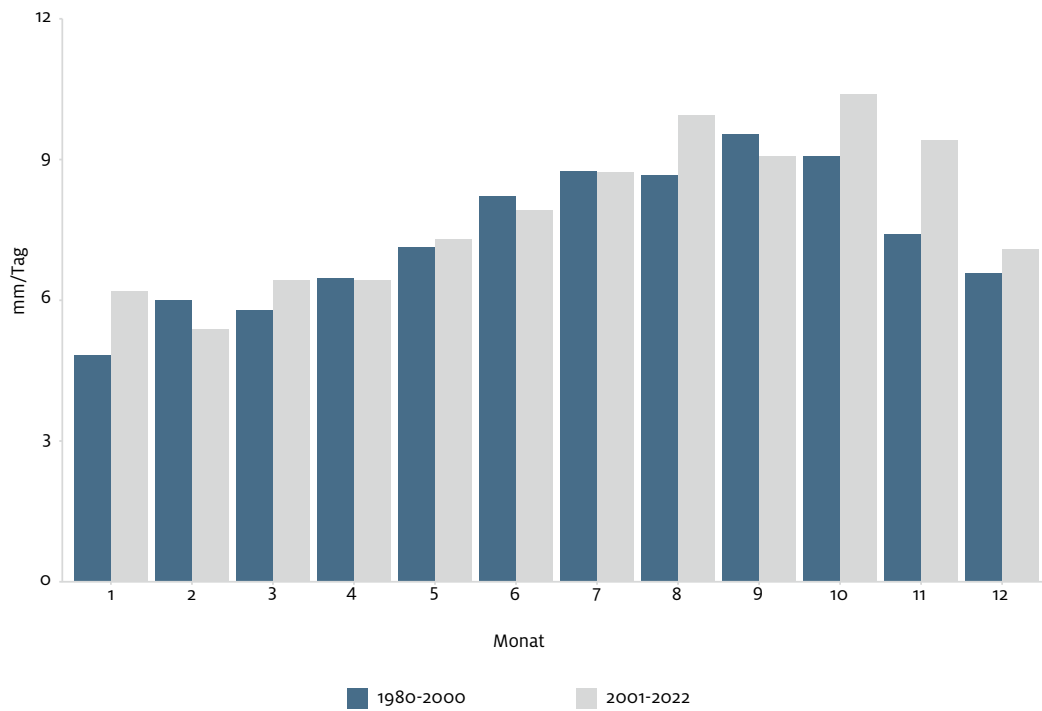


Abbildung 6: Trend der jährlichen Tageshöchstwerte des Niederschlags von 1956 – 2020 für 32 Messstationen in Südtirol. Die Dreiecke stellen jene Stationen dar, bei denen der Trend statistisch signifikant ist (p -Wert $< 0,05$). Die Trends sind als prozentuale Änderung pro Dekade im Vergleich zum Mittelwert über den gesamten Zeitraum angegeben

Die Veränderung der Niederschläge kann auch eine Folge der Veränderung **der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge** sein. Unterteilt man die räumlich aufgelösten Beobachtungsdaten in zwei aufeinanderfolgende 20-Jahres-Perioden (1980 bis 2000 und 2001 bis 2022), so zeigt sich nicht nur eine Zunahme der monatlichen Niederschlagssummen, sondern auch der **mittleren täglichen Niederschlagsintensität** in den Herbst- und Wintermonaten (Abbildung 7a). Dieses Signal wird durch die für jeden Tag des Jahres berechneten 99-Perzentilwerte des Niederschlags in den beiden Zeiträumen bestätigt. Hier zeigt sich eine Zunahme in den Spätherbst- und Wintermonaten in den letzten beiden Jahrzehnten. Diese Schwankungen können auch einen wichtigen Einfluss auf die jährliche Verteilung von Naturgefahren durch Starkniederschläge haben (Abbildung 7b). In den Projektionen für die nahe (2021 – 2040) und die mittlere Zukunft (2041 – 2060) nehmen die monatlichen Niederschlagssummen und die mittleren täglichen Intensitäten vor allem zwischen Spätherbst und Frühlingsanfang zu. Im Spätfrühling und Sommer bleiben sie unverändert oder nehmen leicht ab.

a)



b)

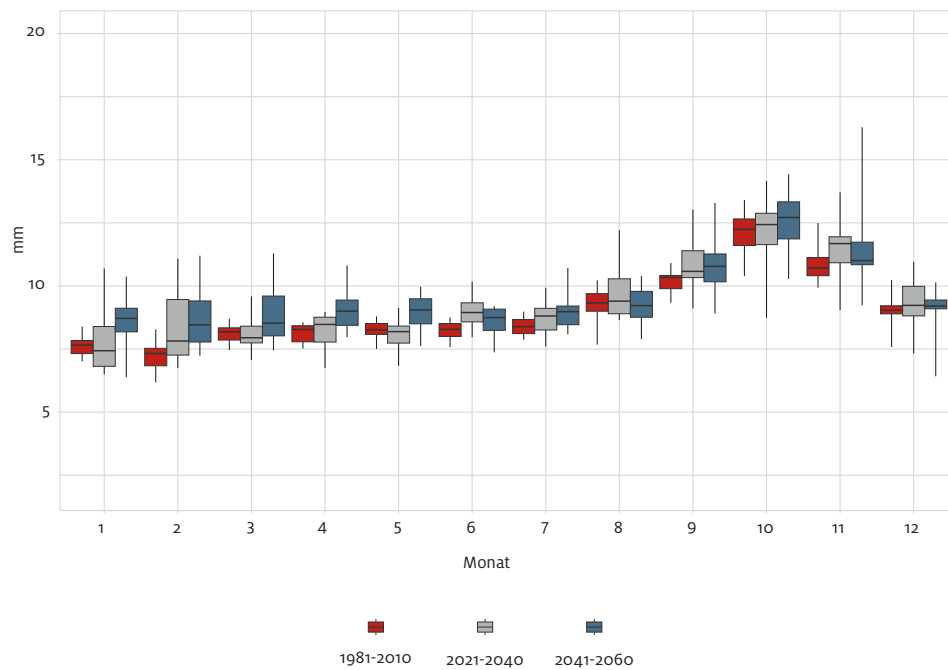


Abbildung 7a und 7b a) Vergleich der monatlichen mittleren täglichen Niederschlagsintensität für die Perioden 1980 – 2000 und 2001 – 2022; b) Boxplot der Projektionen der monatlichen mittleren Intensität gemäß dem Emissions-szenario RCP 8.5. Im Boxplot zeigt die horizontale Linie den Median der Modelle, die Kästchen umfassen den Inter-quartilbereich, die vertikalen Balken die Minimal- bis Maximalwerte

3.4 Hydrologische Prozesse

Südtirol verfügt über einen umfangreichen Wasserhaushalt, der sich aus verschiedenen Hauptkomponenten zusammensetzt.

Schnee

Schnee ist für Südtirol vor allem als natürlicher Wasserspeicher von außerordentlicher Bedeutung, denn Schnee speichert das in den winterlichen Niederschlägen enthaltene Wasser und setzt es beim Einsetzen des Tauwetters zu Beginn der Vegetationsperiode wieder frei. Die nivale Komponente ist für die meisten Wildbäche Südtirols grundlegend und bestimmt deren Abflussregime. Zudem leistet die Schneeschmelze auch für den Bodenwasserhaushalt, die Vegetation und folglich für die Landwirtschaft einen wichtigen Beitrag. Die in Form von Schnee gespeicherte Wassermenge übersteigt bei weitem das Wasservolumen aller Stauseen Südtirols.

In den letzten 40 Jahren hat die Schneehöhe an den meisten Messstationen abgenommen, allerdings mit Unterschieden je nach Monat, Höhe und Standort. An den 28 Standorten, die mehr oder weniger vollständige Zeitreihen von 1981 bis 2020 liefern, nahm der Schneefall im Winter (Dezember bis März) insbesondere unter einer Seehöhe von 1500 m ab. Zwischen 1500 und 2000 m hingegen halten sich Rückgang und Anstieg die Waage. Außerdem lassen sich aus den Beobachtungen einige geografische Trends ableiten: Im Norden und Osten hat der Schneefall abgenommen, während er im Süden und Westen zugenommen hat. So ist die durchschnittliche Schneehöhe beispielsweise in Schlinig, im Westen Südtirols (1690 m), im Februar von 48 auf 63 cm angestiegen, während sie am Neves-Stausee im Nordosten (1860 m) von 86 auf 66 cm gesunken ist. Am Saisonende, das zeitlich gesehen je nach Höhenlage im April oder Mai festgelegt werden kann, wurde keine Zunahme festgestellt. Im Durchschnitt gibt es im letzten Monat der Saison keinen Schnee mehr. In Sexten oder Pens z.B., wo vor vierzig Jahren im April 7 bis 24 cm Schnee normal waren, gibt es heute – wie im Durchschnitt in allen Ortschaften unter 1500 m Seehöhe – im April überhaupt keinen Schnee mehr. In Südtirol gibt es keine langen Beobachtungsreihen oberhalb dieser Höhenlage, weshalb das größte Limit dieser Beobachtungen darin besteht, dass sie sich ausschließlich auf Messungen beziehen, die unter der 2000-m-Grenze durchgeführt werden. Die Informationen über die Schneedecke auch in höheren Lagen können durch Satellitenbeobachtungen ergänzt werden, was allerdings nur für die letzten 20 Jahre gilt. Die winterliche Schneedecke ist in Südtirol oberhalb der 2000-m-Grenze seit 2003 nahezu stabil, während in den tieferen Lagen ein leichter Rückgang zu verzeichnen ist, der mit den durch Bodenbeobachtungen gemessenen Trends übereinstimmt (<https://www.eurac.edu/it/data-in-action/monitoraggio-dei-cambiamenti-climatici/copertura-nevosa-e-sue-variazioni>).

In Bezug auf die Schneefälle ist der während der Saison akkumulierte Neuschnee zwischen den Jahren 1980 und 2020 in der Stadt Bozen um 75 % und in Trient um 46 % zurückgegangen, was einen deutlichen Trend im betrachteten Zeitraum darstellt. Dieser Rückgang ist auch an anderen Orten wie Innichen, Andalo und Rabbi zu beobachten, wo der Schneefall jeweils um 26 %, 21 % und 29 % zurückgegangen ist (Abbildung 8).

Diese Daten sind auf den allgemeinen, durch den Klimawandel verursachten Temperaturanstieg zurückzuführen. An den 18 Messstationen betrug der durchschnittliche Temperaturanstieg 1,54 °C, was zu einer Veränderung der Niederschlagsform führte, die vor allem in niedrigeren Höhenlagen tendenziell flüssiger ist. Obwohl die saisonalen Niederschläge insgesamt zugenommen haben, treten sie hauptsächlich in Form von Regen anstatt von Schnee auf.

Dennoch wurden einige Fälle einer Zunahme des Schneefalls in hohen Lagen (um oder über 2.000 m) aufgezeichnet, allerdings nur in den zentralen Wintermonaten, was auf die Beibehaltung ausreichend tiefer Temperaturen zurückzuführen ist, die Niederschläge in Form von Schnee anstelle von Regen zulassen (Bertoldi et al., 2023).

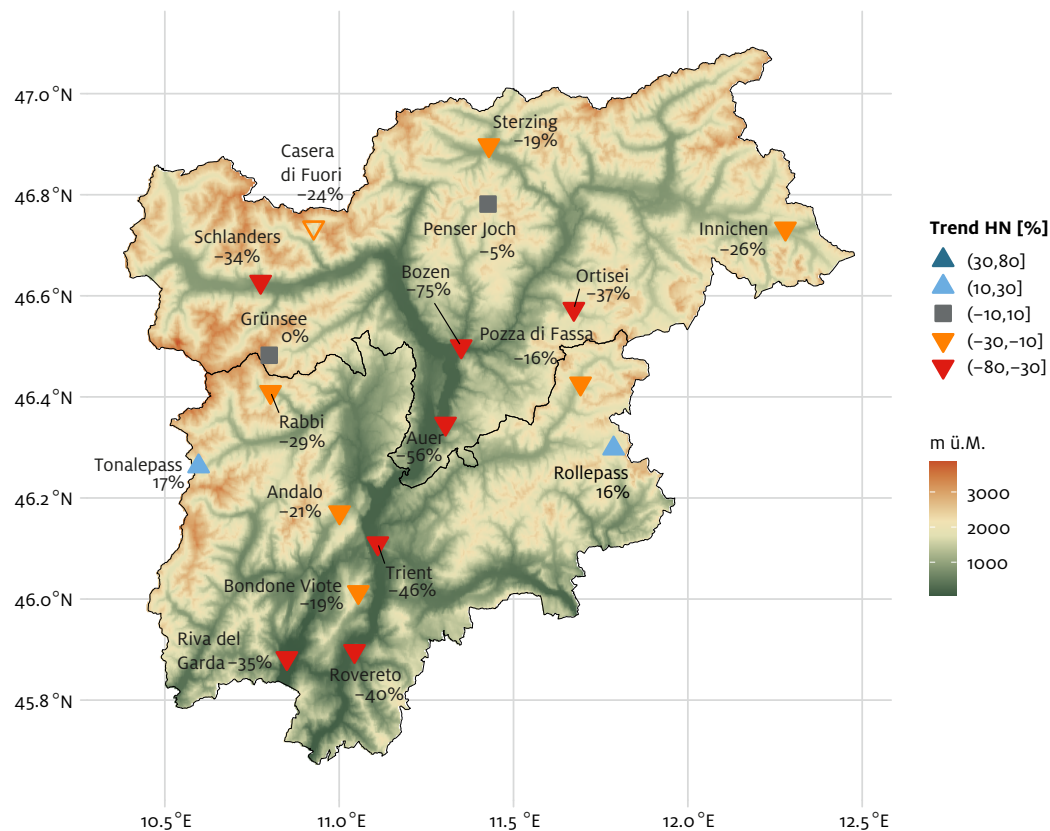


Abbildung 8: Trend der Schneefälle (HN) in Trentino-Südtirol von 1980 – 2020

In Zukunft wird es aufgrund der höheren Temperaturen im Herbst und Frühjahr weniger Schnee geben. Dieselbe Situation wird auch im Winter in tieferen Lagen auftreten, wo es aufgrund der Erwärmung regnen statt schneien wird. In höheren Lagen könnte die mögliche Zunahme der Niederschläge zu mehr Schnee in der Mitte des Winters führen, aber die Saison wird trotzdem kürzer sein: Bei höheren Temperaturen wird es wahrscheinlich später im Herbst schneien und die Schneedecke wird im Frühjahr früher und schneller schmelzen. Insgesamt wird die Gesamtschneemenge im Alpenraum zu allen Jahreszeiten und insbesondere im Frühjahr deutlich abnehmen. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte sich die Schneebedeckung im Vergleich zu den jetzigen Bedingungen im schlimmsten Fall um 500 – 1000 m nach oben verschieben, d.h. bis zum Jahr 2100 werden die Schneeverhältnisse in 2000 m Höhe so sein, wie wir sie heute auf 1000 – 1500 m kennen.

Gletscher

Die Gletscherfläche schrumpft rapide: Von 1997 – 2017 ist sie von 121,9 km² auf 84 km² zurückgegangen, was 1,1 % der Fläche Südtirols entspricht (Galos et al., 2023). Lokal gesehen – insbesondere in den Trockengebieten des Vinschgaus – stellen die Gletscher ein wichtiges Wasserreservoir dar, und das vor allem während der sommerlichen Hitzewellen. Insgesamt trägt die Gletscherschmelze nur mäßig zum Abfluss der Etsch bei (ca. 3 % pro Jahr in Branzoll, aber 7 % im Juli); dieser Beitrag kann aber im Sommer und in den Einzugsgebieten der höher gelegenen Wasserläufe erheblich sein (8 % für die Ahr, über 20 % im Juli). Während der Hitzewellen können die Gletscher entscheidend zur Kompensierung ihrer Auswirkungen beitragen, wie dies in den trockenen Sommern 2003 (bis zu 22 % für die Etsch und 45 % für die Ahr) und kürzlich im Jahr 2022 der Fall war (Shrestha et al., in Vorbereitung).

Seen

In der „Gewässerkarte“ Südtirols wurden 436 Seen ausgewiesen. 231 davon sind mit einer Fläche von weniger als 1 ha sehr klein. Nur ein einziger natürlicher See, der Kalterer See, hat eine Fläche von mehr als 50 ha. Die meisten Seen befinden sich in der Hochgebirgszone über 2000 m. Die neun typisierten

Seen (fünf natürliche Seen und vier Stauseen) wurden in Bezug auf die Erreichung des Qualitätsziels als „nicht gefährdet“ eingestuft. Für den Antholzer See, den Pragser Wildsee und den Karersee, die bereits einen hohen Qualitätsstatus aufweisen, besteht das Ziel stattdessen darin, den „hohen“ Umweltqualitätsstatus beizubehalten. Die wichtigste Auswirkung des Klimawandels ist mit dem Rückgang der Zuflüsse im Sommer aufgrund einer erhöhten Verdunstung und mit den steigenden Temperaturen verbunden, was den Zeitraum verkürzen kann, in dem der See zugefroren ist. Zudem können sich dadurch die interne Zirkulation und das Ökosystem des Sees verändern, was sich wiederum auf die Wasserqualität auswirkt. So erreichte der Kalterer See beispielsweise während einiger Hitzewellen der vergangenen Jahre, wie beispielsweise 2022, eine Oberflächentemperatur von über 27 °C, was für das Ökosystem kritisch sein kann. In Bezug auf die Ökosysteme könnten die Auswirkungen der steigenden Wassertemperaturen noch schwerwiegender sein als die der steigenden Lufttemperaturen, weshalb sie eingehender untersucht und dokumentiert werden sollten.

Grundwasser

Es besteht das Risiko, dass sich die aktuelle Veränderung des hydrologischen Kreislaufs – sowohl hinsichtlich der Menge als auch der Qualität – negativ auf das Grundwasser auswirkt. Diverse Faktoren können zu einer geringeren Grundwasserneubildung beitragen: höhere Evapotranspiration, geringerer nivaler Beitrag und intensivere Niederschläge, die zu einem höheren Oberflächenabfluss führen können. Neben den natürlichen Faktoren sind auch die anthropogenen Beiträge in Form von Entnahmen für die landwirtschaftliche und industrielle Wasserversorgung zu beachten.

In Südtirol ist die Nutzung von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung derzeit begrenzt. Allerdings könnten die Grundwasserreserven aufgrund ihrer geringeren Vulnerabilität bei Dürreperioden zukünftig eine immer wichtigere Ressource darstellen.

In Südtirol gibt es zurzeit keine systematische Studie über die aktuelle Entwicklung des Grundwasserspiegels. Es gibt einige von der Provinz in Auftrag gegebene Studien vor allem für die Stadt Bozen. Diese beziehen sich sowohl auf die potenzielle Vulnerabilität des Grundwassers (Rauter, 1999) als auch auf die Simulation des Grundwasserregimes im Bozner Becken. Letztere Studie zeigt für den Zeitraum 1991 – 2019 einen leichten Abwärtstrend. Insgesamt zeigen die vorliegenden Studien eine deutliche mehrjährige Zyklizität der Grundwasserspiegel in Südtirol. Studien, die in den angrenzenden alpinen Gebieten der Region durchgeführt wurden, zeigen hingegen einen allgemeinen Trend zum Anstieg des Grundwasserspiegels in den letzten Jahren (Avanzi et al., 2024).

Oberflächenabflüsse

Südtirol umfasst einen großen Teil des Einzugsgebiets der Etsch, des zweitlängsten Flusses Italiens. Die Daten der Agentur für Bevölkerungsschutz der Autonomen Provinz Bozen zeigen, dass 43 % des Wassers, das die Etsch speist (Zuflüsse), aus der Schnee- und Eisschmelze stammen. Für hoch gelegene Einzugsgebiete wie bei der Ahr steigt diese Zahl auf 56 %. Die meisten Abflüsse treten im Sommer (im Juni) auf, aber auch im Herbst sind erhebliche Abflussspitzen möglich. Der Alpenhauptkamm stellt eine wichtige klimatische Trennlinie dar. Im Norden haben die Abflüsse im Winterhalbjahr zugenommen, weil es aufgrund der höheren Temperaturen mehr regnet und weniger und nur in höheren Lagen schneit. Im Süden sind die sommerlichen Abflüsse aufgrund der höheren Temperaturen, der geringeren Regenmengen und der größeren Verluste durch die Evapotranspiration zurückgegangen (Beniston et al., 2018). Die Beobachtungen für Südtirol bestätigen diese allgemeine Tendenz, wenn auch mit Unterschieden für die einzelnen Einzugsgebiete. Die höher gelegenen Einzugsgebiete mit starkem nivoglazialen Eintrag zeigen beispielsweise einen Anstieg der Abflussmengen sowohl im Sommer als auch im Winter, was darauf zurückzuführen ist, dass die Regenfälle immer öfter die Schneefälle ersetzen, was aber auch durch den Gletscherrückgang bedingt ist (Penna et al., 2014). Die jüngsten Trockenperioden, die durch die Abflüsse aus den sich zurückziehenden Gletschern ausgeglichen wurden, traten in den Sommern 2017 und 2023 auf. Gletscher leiten während der Hitzespitzen - genau dann, wenn das Wasser im Tal am meisten gebraucht wird - mehr Wasser ab. Wie eine im Matscher Tal durchgeführte Studie belegt, wird diese regulierende Rolle der Gletscher durch den Klimawandel deutlich verringert werden (Engel et al., 2016).

Die Einzugsgebiete in niedrigeren Lagen bzw. größere Einzugsgebiete verzeichnen hingegen – vor allem im Sommer – eine Verringerung der Durchflussmenge. Betrachtet man die Durchflussmenge der Etsch in Branzoll, so sind die gemessenen Werte im Herbst und Winter seit 1957 um 24 % gestiegen, während der Durchfluss im Sommer um 12 % zurückgegangen ist (Abbildung 9). Weiter in Richtung Mündung verstärkt sich der negative Trend der Etsch im Sommer noch mehr. Zu den Auswirkungen des Klimawandels summieren sich noch die anthropogenen Einwirkungen mit einer in Richtung Ebene immer intensiveren Wasserentnahme für verschiedene Zwecke, insbesondere für die Landwirtschaft (Mallucci et al., 2017).

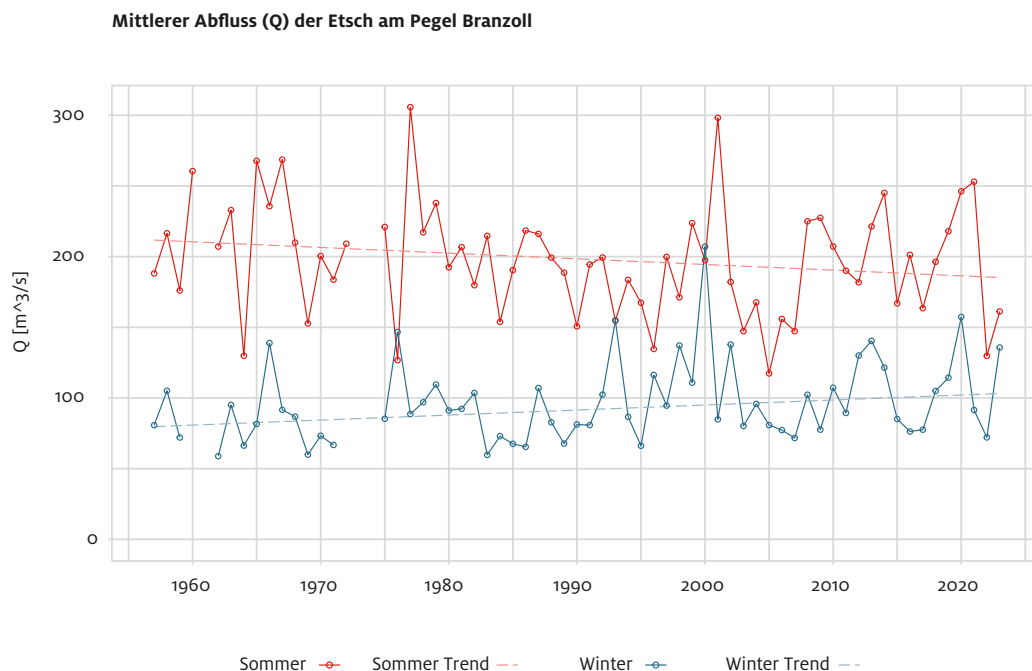


Abbildung 9: Durchfluss (Q) der Etsch in Branzoll zwischen 1957 und 2022

Das bedeutet, dass sich das saisonale Abflussregime ändert. Wie in Abbildung 10 dargestellt, sind im derzeitigen Abflussmuster einige langfristige Trends zu erkennen: Die Durchflussmengen nehmen im Winter zu, die Durchflussspitzen werden im Sommer größer und finden früher statt, während sich die Spitzenabflussmengen im Herbst später zeigen.

Es ist zu erwarten, dass sich diese Trends in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen. Im Allgemeinen werden die Abflüsse im Winter noch zunehmen und im Sommer abnehmen. Der Höhepunkt der Schneeschmelze wird früher stattfinden. Spezifische Studien zu den Zuflüssen des Einzugsgebiets der Etsch (Chiogna et al., 2015) zeigen mäßige Veränderungen für den Zeitraum 2020 – 2050, aber sehr deutliche Veränderungen für den Zeitraum 2050 – 2070, insbesondere für das Klimaszenario RCP 8.5, das einen drastischen Rückgang des Schneefalls in den Alpen vorhersagt. Im Durchschnitt könnte der Höhepunkt der Schneeschmelze in Südtirol um einen Monat früher auftreten.

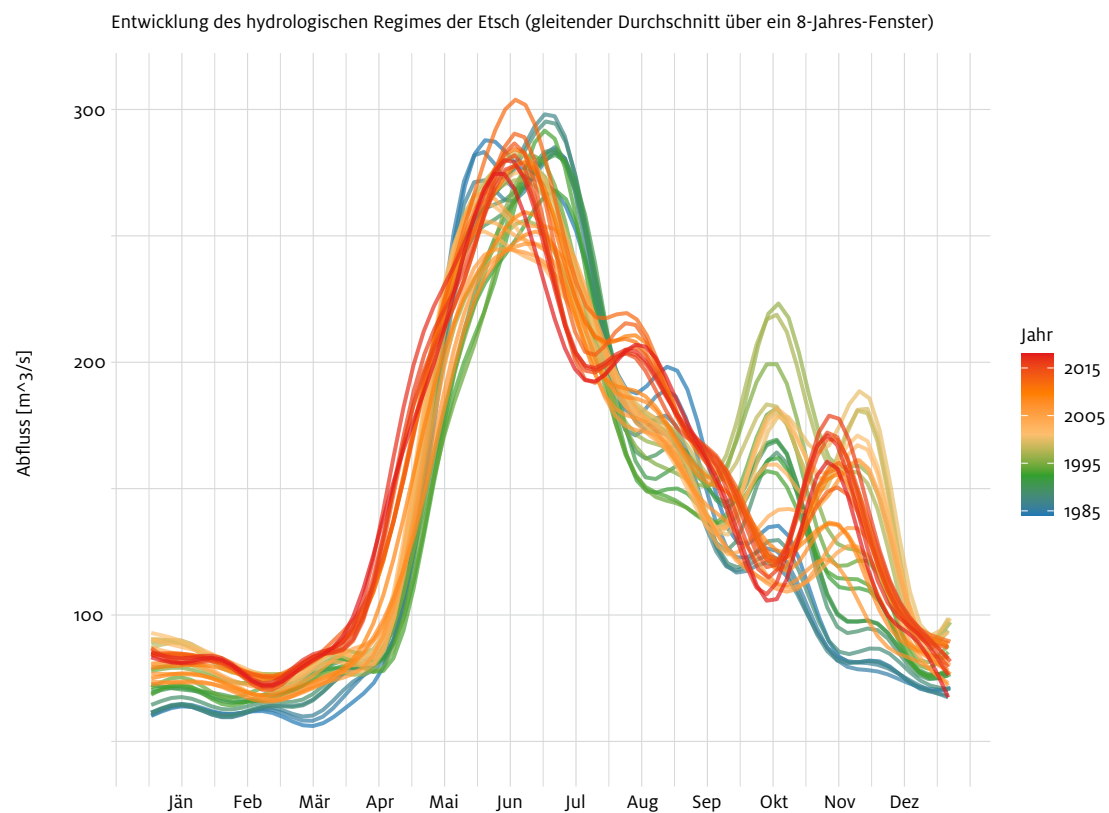


Abbildung 10: Durchschnittliche tägliche Durchflussmengen (Flow) der Etsch in Branzoll zwischen 1985 und 2015, berechnet über einen gleitenden Achtjahreszeitraum. Im derzeitigen Abflussmuster sind einige langfristige Trends zu erkennen: Die Durchflussmengen nehmen im Winter zu, die Durchflussspitzen werden im Sommer größer und finden früher statt, während sich die Spitzenabflussmengen im Herbst zeitlich hinauszögern

Während es offensichtlich ist, dass sich die jahreszeitlich bedingten Regimes zunehmend ändern werden, wird die Tatsache, dass die Abflussmengen auf jährlicher Basis abnehmen werden, nicht von allen Prognosen bestätigt. Bei einigen Modellen wird der Anstieg der Evapotranspiration aufgrund der hohen Temperaturen teilweise durch den Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Niederschläge ausgeglichen. Dies gilt insbesondere für die Einzugsgebiete in hohen Höhenlagen. Eine Analyse einiger Flüsse, die in der Ortlergruppe entspringen, zeigt für den Zeitraum 2040 – 2070 einen Anstieg des durchschnittlichen Abflusses von 5 – 14 %, mit einem Anstieg im Winter von 30 – 81 % und einem Rückgang im Sommer von 11 – 21 % (Majone et al., 2016). In jedem Fall werden die von den Gletschern verursachten Wasserabflüsse selbst in den höchsten Einzugsgebieten gegen Ende des Jahrhunderts sehr bescheiden sein.

Der Wandel des Abflussregimes bringt auch eine Veränderung der Geschiebefracht mit sich. An Standorten mit großer Verfügbarkeit von Sedimenten bringen die aus den sich zurückziehenden Gletschern entstehenden Zuflüsse immer mehr Moränensedimente mit sich, die zuvor vom Eis bedeckt waren. In einigen Südtiroler Einzugsgebieten ist ein großer Teil der Sedimente bereits ausgewaschen, mit anstehendem Gestein in immer größeren Teilen des Einzugsgebiets, wie z. B. im Mühlwalder Tal. Zu diesen Themen wird in Südtirol im Rahmen von internationalen Projekten geforscht, z.B. im Rahmen der SEDALP-Studie (<http://www.sedalp.eu>).

Der Klimawandel verändert bereits jetzt die hydrologischen Systeme Südtirols - sowohl die Oberflächen-gewässer als auch das Grundwasser - und bringt veränderte Risiken für Hochwasser, Trockenperioden und Wasserverschmutzung mit sich.

Hochwasser

Die bis heute verfügbaren Daten zeigen keine Veränderung der Häufigkeit extremer Hochwasserereignisse. Dies liegt auch daran, dass extreme Hochwasser mit Wiederkehrzeiten von 100 Jahren oder mehr per Definition seltene Ereignisse sind und es schwierig ist, einen zeitlichen Trend zu bestimmen.

Die größten Hochwasserereignisse der Etsch wurden 1960, 1965, 1966 mit der Überschwemmung von Trient, 1981 mit der Überschwemmung von Salurn, 1987, 1997, 2020 und 2021 aufgezeichnet. Ein relevantes Ereignis – der Sturm „Vaia“, Ende Oktober 2018 – hat kürzlich schwere Folgen in Südtirol mitgebracht, und das insbesondere im südlichen und östlichen Teil des Landes. In diesem Fall waren die schweren Folgen nicht so sehr auf das Wasser zurückzuführen, sondern auf die Sturmschäden in den Waldgebieten, die eine Reihe von weitreichenden Schwierigkeiten mit sich brachten.

In den Nachrichten wird jedoch immer öfter über plötzliche Hochwasserereignisse bezogen auf Nebenflüsse und Wassereinzugsgebiete berichtet. So haben beispielsweise 2012 in Pfitsch, 2017 in Prags, 2021 in Pflersch und 2023 in Olang Überschwemmungen infolge starker und örtlich begrenzter Regenfälle zu schwerwiegenden Problemen an der Infrastruktur und in einigen Fällen sogar zu Todesfällen geführt. Betrachtet man stattdessen mögliche Zukunftsszenarien, so ist trotz des allgemeinen Trends zu trockeneren Sommern damit zu rechnen, dass es in den Alpen häufiger zu Überschwemmungen kommen wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Regenfälle auch hoch oben, wo bisher fast nur Schneefall registriert wurde, intensiver sein werden (Allamano et al., 2009). Plötzliche Hitzewellen können auch dazu führen, dass es im Spätherbst wieder auf die bereits bestehende Schneedecke regnet, was wiederum die Hochwasser-Wahrscheinlichkeit steigert. Auch das Auftauen des Permafrosts in den Höhenlagen kann zu besonders gefährlichen Sturzfluten führen, da diese aufgrund der größeren Sediment-Verfügbarkeit Schlamm- und Geröllströme auslösen können. In den Dolomiten sind in letzter Zeit einige Erscheinungen dieser Art aufgetreten, z.B. 2016 auf dem Monte Antelao bei Cortina di Ampezzo, oder 2017 in Prags.

Auch in den kleineren Einzugsgebieten werden zunehmend plötzliche Sturzfluten beobachtet, die bis vor etwa 20-30 Jahren nicht auftraten. Die größeren Auswirkungen dieser Ereignisse hängen jedoch auch mit der stärkeren Verstädterung zusammen, da mehr Infrastrukturen als in früher dem Risiko ausgesetzt sind.

Sonstige Gefahren

Abschließend sind auch die Risiken von durch Gletscherseen oder Schmelzwasser bewirkten Überschwemmungen oder Sturzprozesse zu berücksichtigen. Diese Ereignisse können verheerende Folgen für die talseitig der Gletscher gelegenen Gemeinden haben. Nimmt das Gletschervolumen aufgrund der globalen Erwärmung ab, kann sich das Schmelzwasser in Gletscherseen ansammeln oder den Gletscher selbst schwächen. Der Gletscher kann durch den Druck des Wassers und durch Risse im Eis instabil werden, wodurch sich das Abrutschrisiko des Seeufers oder das Bruchrisiko im Eis mit plötzlichem und massivem Wasseraustritt oder einem Gletschersturz erhöht, wie es im Sommer 2022 auf der Marmolata der Fall war. Neben der Marmolata zeigen auch andere, nicht so umfangreiche Ereignisse in Südtirol, dass sich die glazialen und periglazialen Gebiete gerade stark verändern. Diese Dynamik ist auch in den Wasserkreisläufen und den sich ständig verändernden intra-, supra- und periglazialen Seen zu sehen. Weitere dynamische Prozesse, die Gefahren mit sich bringen, sind die Einstürze von Séracs, die auch in Südtirol dokumentiert wurden, insbesondere auf dem Hohen Ferner, sowie das Schmelzen des Permafrosts, was wiederum Felsstürze begünstigt, wie sie bereits in den Dolomiten aufgetreten sind.

Dürre

Auch wenn keine eindeutigen Trends zu abnehmenden Niederschlägen vorliegen, wird in den Alpenregionen mit einer Zunahme des Dürretrisikos gerechnet (Haslinger et al., 2023). Dies ist auf eine Kombination folgender Faktoren zurückzuführen: geringerer Abfluss im Sommer aufgrund der beschränkteren Schneemengen und des Gletscherschwunds, tendenziell intensivere, aber weniger regelmäßige Niederschläge, erhöhte Verdunstung aufgrund höherer Temperaturen und erhöhter Transpiration wegen längerer Vegetationsperioden und Hitzewellen, die den Wasserbedarf erhöhen. Dadurch kommt es immer häufiger zu kritischen Situationen im Zusammenhang mit der konflikthafter Nutzung von Wasser.

Südtirol ist bereits jetzt von Dürreereignissen betroffen. Die anhaltende Hitze des Sommers 2003 hat bewiesen, wie vulnerabel die Alpen sind: Der Gletscherschwund und der Rückgang des Permafrosts haben Erdrutsche verursacht, die Landwirtschaft hat trotz viel intensiverer Bewässerung große Verluste erlitten, und der Grundwasserspiegel ist gesunken. Auch in den trockenen Frühjahren 2007 und 2017, die auf einen schneelosen Winter folgten, gab es kritische Situationen. Ähnliche Situationen wurden kürzlich auch zwischen dem Winter 2022 und dem Sommer 2023 verzeichnet. Der in den letzten 40 Jahren vor allem unterhalb der 2000-m-Grenze registrierte Rückgang der Schneefälle kann – nicht nur in Südtirol – erhebliche Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit haben und Dürreperioden verschärfen. In Südtirol sind vor allem der Vinschgau und Teile des mittleren Eisacktals durch die geringen Niederschläge besonders vulnerabel. Andererseits sind einige Orte am Ritten, am Tschöggberg und am Hochplateau des Regglbergs aufgrund geringerer Wasserreserven stärker gefährdet.

Im Allgemeinen zeigen die Klimaprojektionen – wenn auch mit einer gewissen Unsicherheit – einen Anstieg des Risikos für hydrologische Trockenheit im Alpenraum, und das insbesondere für die Südhänge. Das Projekt HydroAlp (<https://www.hydroalp.com/en/>) hat die Bilanz des Vinschgaus analysiert und bewiesen, dass die geringere Verbleibzeit des Schnees auf dem Boden die Evapotranspiration um bis zu 25 % erhöht. Dies wiederum führt zu einer Verringerung des Abflusses und der Grundwasserneubildung in der Region. Einige Szenarien sagen einen erheblichen Rückgang der Bodenfeuchtigkeit während der Vegetationsperiode voraus. Die nach Südosten ausgerichteten Hänge unterhalb einer Höhe von 1500 m, an denen die Landwirtschaft bereits stark von der Bewässerung abhängig ist, werden mehr Dürretage erleiden.

Wasserqualität

Die Wasserqualität weist verschiedene Probleme auf, die sich durch den Klimawandel noch verschärfen könnten. Die wichtigsten Probleme sind die folgenden: Der Permafrost reagiert äußerst empfindlich auf den Klimawandel. Bei ansteigenden Temperaturen reduziert er sich, was zu einer Instabilität des Bodens führt und ein hohes Risiko der Wasserverschmutzung durch die Freisetzung von Schwermetallen und anderen Stoffen birgt, die sich im Laufe der Jahre im Permafrost angesammelt haben. Durch den Gletscherschwund können sich Sedimente in den Gletscherbächen ablagern, wodurch die Nutzung dieser Gewässer für die Bewässerung und die Stromerzeugung aus Wasserkraft problematisch wird. In den Zeiten, in denen die Gebirgsbäche geringe Durchflussmengen aufweisen, kann sich die Wasserqualität verschlechtern, was die Gefahr einer Umweltbelastung und die geringere Verdünnung von zugeleiteten, unbehandelten Abwässern bewirkt. Die ansteigenden Temperaturen der Gewässer können Probleme für das Ökosystem und Schäden an Flora und Fauna bewirken.

3.5 Massenbewegungen

Die Stabilität eines Hangs ergibt sich aus der Interaktion von dynamischen und statischen Faktoren, die die Entwicklung von Instabilitätserscheinungen bewirken können. Diese Faktoren sind in der Regel dreierlei Art: Es geht um **prädisponierende**, **vorbereitende** und **auslösende** Faktoren. Zu den prädisponierenden (statischen) Faktoren zählen die natürlichen Bedingungen des Hangs, z. B. seine Lithologie, die Topologie, die durchschnittlichen klimatischen Bedingungen und das Gewässernetz. Vorbereitende und auslösende Faktoren sind hingegen dynamischen Ursprungs. Während die vorbereitenden Faktoren allmähliche Veränderungen wie den Gletscherschwund und die Veränderungen der Schneebedeckung betreffen, die zu Veränderungen der regionalen Klimadynamik beitragen, entsprechen die auslösenden Faktoren (Trigger) kurzzeitigen Ereignissen, die den Instabilitätsmechanismus auslösen – beispielsweise kurze, intensive Niederschläge.

Die Überschreitung der Stabilitätsgrenze eines bestimmten Hangs hängt demnach mit dem Zusammenwirken dieser drei Faktoren zusammen, deren Einfluss nicht an jedem Ort gleich ist (Abbildung 11). Bei gleichen prädisponierenden Faktoren kann ein bestimmter auslösender Faktor, z.B. ein extremes Wetterereignis, dazu führen, dass die Stabilitätsgrenze erreicht und/oder überschritten wird und eine Massenbewegung ausgelöst wird.

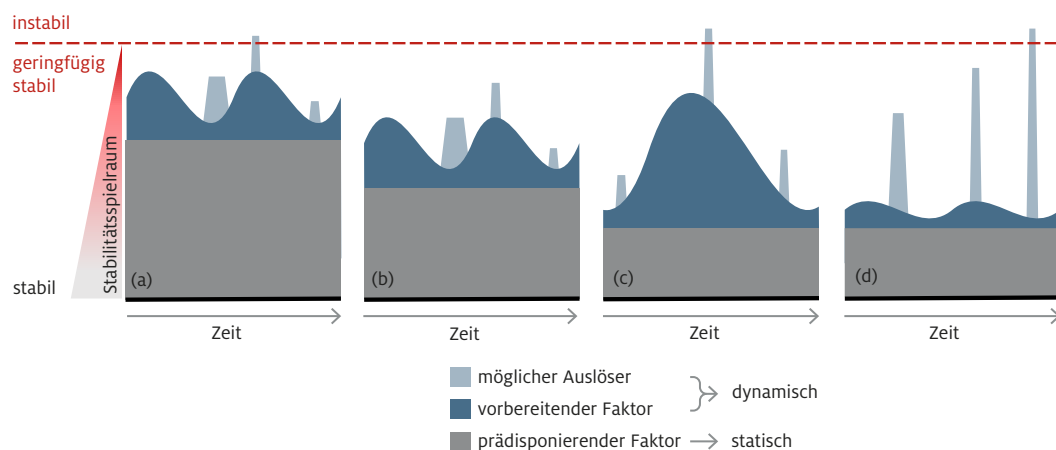


Abbildung 11: Erläuternde Darstellung der möglichen Faktoren, die das Erreichen der Stabilitätsgrenze eines Hangs bestimmen. Das Überschreiten der rot gestrichelten Linie (Stabilitätsgrenze) ist von der Summe der statischen Faktoren (prädisponierende Faktoren) und der dynamischen Faktoren (vorbereitende Faktoren, mögliche Trigger) abhängig. Bei unverändertem Faktor X (einer der drei Faktoren) bedingt die unterschiedliche Intensität der anderen beiden Faktoren das Auftreten von Instabilitätserscheinungen (Steger et al., 2024)

Als „Massenbewegungen“ werden Erscheinungen bezeichnet, bei denen sich Material auf der Erdoberfläche bewegt. Diese Bewegungen treten überwiegend durch die Wirkung der Schwerkraft und als Folge plötzlicher und intensiver oder langanhaltender und konstanter Wetterereignisse auf.

Die globale Erwärmung und die Veränderungen des Niederschlagsregimes mit den sich daraus ergebenden Veränderungen der Ausdehnung der Kryosphäre tragen dazu bei, dass sich auch die Häufigkeit und das Ausmaß von Massenbewegungen verändern, indem sie progressive und langsame Verformungen des Gesteins an den Hängen sowie schnellere und katastrophale Phänomene wie Steinlawinen (*rock avalanches*) oder Sturzprozesse begünstigen oder auslösen.

Die Entwicklung dieser Ereignisse wird weitgehend von jahreszeitlich bedingten Dynamiken und extremen Unwettern beeinflusst, die aufgrund des Klimawandels immer häufiger auftreten. Ebenso spielen anthropogene Veränderungen in der Bodennutzung eine dominante Rolle bei der Auslösung von flachgründigen Rutschungen und Hangrutschen und erhöhen das mit den möglichen Auswirkungen auf die Infrastruktur zusammenhängende Risiko.

Je nach Art der Massenbewegung können drei Makrotypen unterschieden werden: **Fließen** (oder Kriechen), **Stürzen** und **Gleiten** (oder Rutschen) (Hungr et al., 2014). Bei diesen Prozessen werden je nach Umgebung und geologischen und geomorphologischen Merkmalen, in denen sie stattfinden, unterschiedliche Materialien miteinbezogen. Die drei Bewegungstypen werden im Folgenden näher erläutert.

Fließen oder Kriechen

Das Fließen bzw. Kriechen ist eine räumlich kontinuierliche Bewegung, bei der die Gleitflächen nur von kurzer Dauer sind, eng beieinanderliegen und in der Regel nach dem Ereignis nicht erhalten bleiben. Die Unregelmäßigkeit der intensiven meteorologischen Ereignisse und die sich daraus ergebenden Wassermengen zählen zu den wichtigsten prädisponierenden und auslösenden Faktoren für Fließmechanismen: Das Material (Fels, Geröll oder Schnee) wird durch den Eintrag erheblicher Wassermengen mobilisiert und weist Eigenschaften auf, die mit denen einer viskosen Strömung vergleichbar sind. Die Murgänge fließen in die Nebenflüsse und Wasserläufe, schwellen diese an und führen auch Baumstämme und Felsblöcke von beträchtlicher Größe mit sich. Sobald das Gefälle des Geländes abnimmt, verlangsamt sich der Fließprozess und lagert das Material ab. Zu diesen Ereignissen zählen z.B. jene vom Juli 2023, als der Furkelbach mehrere Brücken in der Gemeinde Olang zerstörte, Straßen und Gebäude mit Schlamm bedeckte und der Parkplatz von Pisciadù unter dem Grödner Joch durch eine Reihe von Geröll- und Schlammlawinen überschwemmt wurde.

Zu den Fließphänomenen gehören auch bestimmte Arten von Lawinen. Der Klimawandel und vor allem die Temperaturschwankungen und der Anstieg der Nullgradgrenze auch im Winter sowie Änderungen des Niederschlagsregimes, einschließlich flüssiger Niederschläge auf Schnee können zu derartigen Veränderungen der Schneedecke führen, die die Lawinen auslösen.

Die unmittelbaren Folgen dieser Erscheinungen sind die Unterbrechung von Wanderwegen und Straßen, die Verklausung von Wasserläufen, in die das Material einmündet, und die Beschädigung von Infrastrukturen auch weit entfernt von dem Gebiet, in dem die Erscheinung ausgelöst wurde.

Stürzen

Der Begriff „Sturz“ bezieht sich auf eine Masse beliebiger Größe und beliebigen Materials (z.B. Fels, Eis), die sich von einem subvertikalen Hang entlang einer Fläche löst, auf der keine Scherverschiebung auftritt, und sich anschließend durch freien Fall, Rollen und Aufprallen bewegt. Die Bewegung ist extrem schnell und der Abbruchbereich von Stößen und Brüchen gekennzeichnet. Prädisponierende Bedingungen sind die Lithologie, die starke Verwitterung des Gesteinskörpers und das mögliche Vorhandensein von Permafrost in höheren Lagen. Auslösende Faktoren sind langanhaltende und/oder intensive meteorologische Phänomene, die Wasserinfiltrationen in die zerklüfteten Bereiche verursachen, Frost-Tau-Zyklen, Temperaturschwankungen und eine durch natürliche Erosion oder anthropogen verursachte Untergrabung des Hangs. Die Bewegung beachtlicher Gesteinsmassen kann sich in einigen Fällen zu Steinlawinen (*rock avalanches*) entwickeln, die große Hangteile erfassen und sich im Talboden oft über große Entfernungen entwickeln.

Im Hochgebirge können auch Eisstürze auftreten. Diese sind sowohl auf die steigenden Temperaturen als auch auf die Zunahme flüssiger Niederschläge zurückzuführen, die das Eindringen von Wasser in die Risse im Eis begünstigen und einen großen hydrostatischen Druck erzeugen. Sobald dieser Druck stark ansteigt, können große Eisblöcke abbrechen.

Aufgrund der geomorphologischen Merkmale Südtirols sind die meisten Ereignisse mit Sturzprozessen verbunden. Aufgrund ihrer Häufigkeit, des beinahe völligen Fehlens von Vorläufersignalen und der Geschwindigkeit, mit der sie auftreten, können diese Ereignisse teilweise sehr schwerwiegende Folgen haben: Die größten Schäden treten an linearen Infrastrukturen auf (z. B. Straßensperrungen), können aber auch Wanderwege, die umgeleitet oder gesperrt werden, und Gebäude betreffen.

Felsstürze sind nicht offensichtlich saisonal bedingt, sondern treten das ganze Jahr über relativ gleichmäßig auf. Aus Abbildung 12 geht jedoch hervor, dass im letzten Jahrzehnt im Vergleich zum vorangegangenen Jahrzehnt die Sturzereignisse im Herbst im Gegensatz zum Frühling zugenommen haben, was wahrscheinlich auf eine ähnliche Veränderung im Niederschlagsregime zurückzuführen ist.

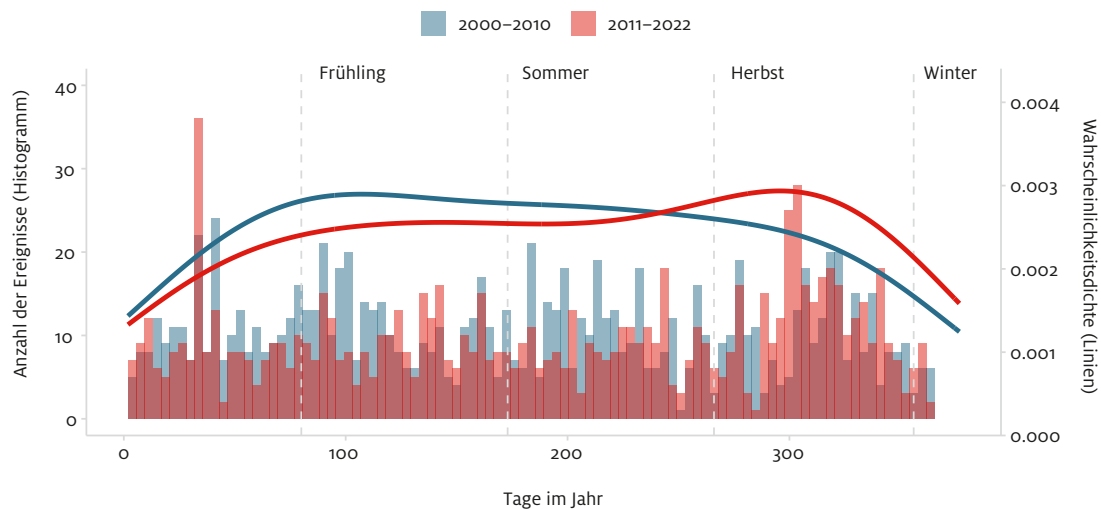


Abbildung 12: Balkendiagramm der täglich aufgezeichneten Sturzprozesse in den Jahrzehnten 2000 - 2010 (blau) und 2011 – 2022 (rot) (Datenquelle: IFFI-Kataster). Die oberhalb des Balkendiagramms sichtbare Kurve der Wahrscheinlichkeitsdichte folgt in etwa dem Verlauf der Balken und bietet eine unmittelbare Veranschaulichung der Verteilung der Ereignisse. Diese Verteilung zeigt in den letzten zehn Jahren eine Zunahme der Sturzphänomene im Herbst

Gleiten oder Rutschen

Bei Rutschungen kommt es zu einer Scher- und Verschiebungsverformung entlang einer oder mehrerer Flächen oder innerhalb einer begrenzten Materialdicke, die durch Veränderungen der geotechnischen Merkmale bedingt ist (z.B. unterschiedliche Verwitterungsgrade und Kontraste in der Durchlässigkeit). Diese Bewegungen können mehr oder weniger mächtige Boden-, Geröll- oder Gesteinsschichten betreffen, je nachdem, ob es sich um (glaziale/fluvioglaziale) Quartärbedeckungen oder um Gesteinsschichten handelt. Ähnlich wie bei den Felsstürzen ist in Südtirol in den letzten zehn Jahren eine Verlagerung des Höhepunkts der Gleit-/Rutschungsprozesse in den Herbst zu beobachten (Abbildung 13), die teilweise durch ähnliche Veränderungen im Niederschlagsregime beeinflusst wird.

Die Vegetation spielt eine wichtige Rolle bei der Stabilisierung des Bodens, indem sie über ihre Wurzeln Wasser aus dem Boden aufnimmt und durch Evapotranspiration an die Atmosphäre zurückgibt. Im Herbst jedoch, wenn die meisten Niederschläge fallen, ist die Vegetation nicht mehr in der Lage, diese Prozesse auszuführen, was zu einer Übersättigung des Bodens, einer Verringerung der Bodenkohäsion und folglich zu einer erhöhten Anfälligkeit für Instabilitätsphänomene wie Oberflächenrutschungen oder Murgänge führt.

Die auslösenden Ursachen sind daher die starken Niederschläge, die in engem Zusammenhang mit der anthropogenen Bodennutzung stehen. In der Tat muss festgehalten werden, dass viele – auch kleinere – Ereignisse oft mit einem unzureichenden oder fehlenden Entwässerungssystem zusammenhängen, das die Ansammlung von Wasser im Boden und das Auftreten hydrostatischer Schübe im Boden begünstigt.

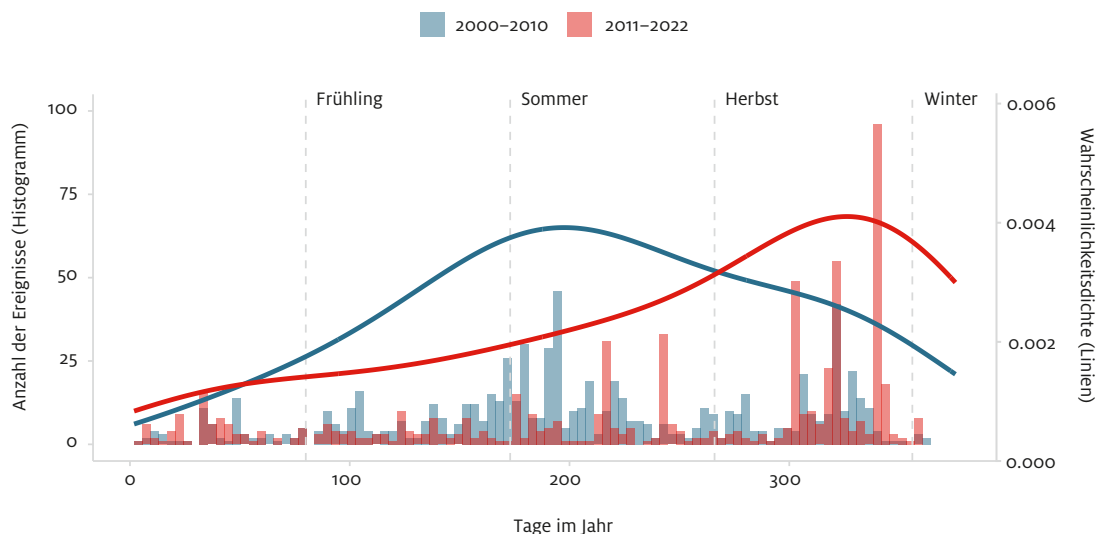


Abbildung 13: Balkendiagramm der täglich aufgezeichneten Rutschungen und Murgänge in den Jahrzehnten 2000 – 2010 (blau) und 2011 – 2022 (rot). Die Kurve der Wahrscheinlichkeitsdichte über dem Balkendiagramm zeigt im letzten Jahrzehnt einen deutlichen Anstieg der Anzahl der Phänomene im Spätherbst/Frühwinter im Vergleich zum späten Frühjahr/Sommer

Literatur

- Allamano, P., Claps, P., Laio, F., 2009. Global warming increases flood risk in mountainous areas. *Geophys. Res. Lett.* 36, L24404. <https://doi.org/10.1029/2009GL041395>
- Avanzi, F., Munerol, F., Milelli, M., Gabellani, S., Massari, C., Girotto, M., Cremonese, E., Galvagno, M., Bruno, G., Morra Di Cella, U., Rossi, L., Altamura, M., Ferraris, L., 2024. Winter snow deficit was a harbinger of summer 2022 socio-hydrologic drought in the Po Basin, Italy. *Commun. Earth Environ.* 5, 64. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01222-z>
- 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.-I., Magnusson, J., Marty, C., Morán-Tejeda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., Vincent, C., 2018. The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. *The Cryosphere* 12, 759–794. <https://doi.org/10.5194/tc-12-759-2018>
- Bertoldi, G., Bozzoli, M., Crespi, A., Matiu, M., Giovannini, L., Zardi, D., Majone, B., 2023. Diverging snowfall trends across months and elevation in the northeastern Italian Alps. *Int. J. Climatol.* 43, 2794–2819. <https://doi.org/10.1002/joc.8002>
- Cannon, A.J., Sobie, S.R., Murdock, T.Q., 2015. Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? *J. Clim.* 28, 6938–6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>
- 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. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.149>
- Crespi, A., Matiu, M., Bertoldi, G., Petitta, M., Zebisch, M., 2021. A high-resolution gridded dataset of daily temperature and precipitation records (1980–2018) for Trentino-South Tyrol (north-eastern Italian Alps). *Earth Syst. Sci. Data* 13, 2801–2818. <https://doi.org/10.5194/essd-13-2801-2021>
- Engel, M., Penna, D., Bertoldi, G., Dell’Agnese, A., Soulsby, C., Comiti, F., 2016. Identifying runoff contributions during melt-induced runoff events in a glacierized Alpine catchment. *Hydrological Processes* 343–364.
- Galos, S., Klug, C., Dinale, R., 2023. 20 YEARS OF GLACIER CHANGE: THE HOMOGENIZED GLACIER INVENTORIES FOR SOUTH TYROL 1997-2005-2017 45, 71–83. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2022.45.6>
- Haslinger, K., Schöner, W., Abermann, J., Laaha, G., Andre, K., Olefs, M., Koch, R., 2023. Apparent contradiction in the projected climatic water balance for Austria: wetter conditions on average versus higher probability of meteorological droughts. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 23, 2749–2768. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2749-2023>
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11, 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>

- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- 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. *Sci. Total Environ.* 543, 965–980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.009>
- Mallucci, S., Majone, B., Bellin, A., 2017. Driver detection of water availability changes in a large Alpine river basin. *Geophysical Research Abstracts*.
- Penna, D., Engel, M., Mao, L., Dell’Agnese, A., Bertoldi, G., Comiti, F., 2014. Tracer-based analysis of spatial and temporal variations of water sources in a glacierized catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18, 5271–5288. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5271-2014>
- Rauter, W., 1999. *Relazione sullo stato della falda freatica nella conca di Bolzano*. Bolzano
- Shrestha, S., Terzi, S., Zoccatelli, D., Zaramella, M., Borga, M., Callegari, M., Galletti, A., Dinale, R., Pittore, M., and Bertoldi, G. (2024, in preparation). Glacier Contributions to Hydrological Droughts in Mountainous Regions: insights from the Adige River Basin. *NHESS Journal*
- Steger, S., Moreno, M., Crespi, A., Gariano, S.L., Brunetti, M. T., Melillo, M., Peruaccacci S., Marra, F., de Vugt, L., Zieher, T., Rutzinger, M., Mair, C., Pittore, M., 2024: Adopting the margin of stability for space–time landslide prediction – A data-driven approach for generating spatial dynamic thresholds. *Geoscience Frontiers*, Vol. 15, Issue 5. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101822>

4 Klimarisikoanalyse und Anpassungsbedarf

Autor: Marc Zebisch

In diesem Kapitel werden für neun **Handlungsfelder** Schlüsselrisiken analysiert und Anpassungsoptionen identifiziert. Die Handlungsfelder wurden dabei in **Subsysteme** zerlegt (z.B. für Landwirtschaft: Grünlandwirtschaft und Tierhaltung, Obst- und Weinbau, Ackerbau), die jeweils unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren und spezifische Risiken und Risikofaktoren aufweisen.

Kernfragen für die Risikoanalyse der einzelnen Subsysteme waren:

- Welche Risikofaktoren (klimatische und nicht-klimatische Faktoren) führen zu Klimarisiken?
- Wie ist die aktuelle Situation? Welche Klimawirkungen sind bereits relevant? Welche anderen Trends, die die Vulnerabilität und die Exposition der Subsysteme beeinflussen, spielen eine Rolle?
- Was ist über die Entwicklung der Klimarisiken in Zukunft bekannt? Welche zusätzlichen Risiken könnten sich ergeben?
- Welche Anpassungsstrategien sind relevant? Welche Einschränkungen und Grenzen hat die Anpassung?

Aus dieser Risikoanalyse wurden für jedes Handlungsfeld Schlüsselrisiken erstellt.

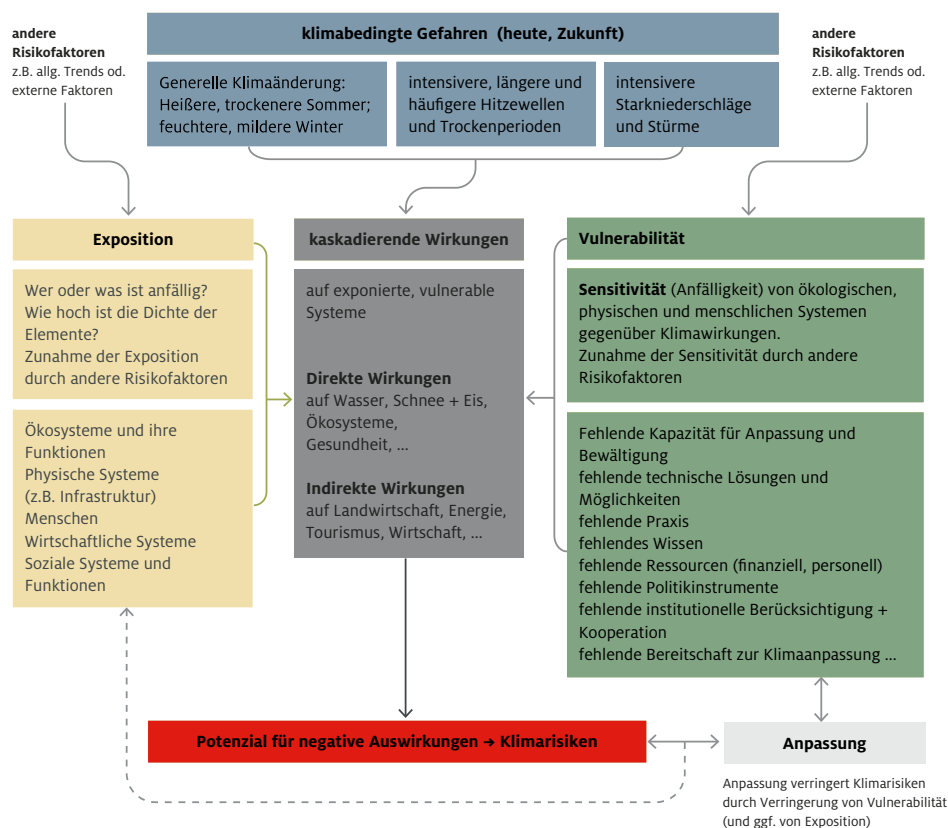


Abbildung 14: Konzept von Klimarisiken und Risikofaktoren und die Rolle von Anpassung

Kern des methodischen Rahmens ist das seit 2015 vom IPCC eingeführte Konzept der Klimarisiken.

Klimarisiken beschreiben das Potenzial für negative Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme. Klimarisiken entstehen nicht allein durch den Klimawandel oder Klimaextreme (Abbildung 14). Sie ergeben sich aus einer Wechselwirkung von:

- **Aktuellen oder möglichen klimabedingten Gefahren.** Klimabedingte Gefahren können sowohl Extremereignisse (z.B. Starkregen, Dürre, Sturm) sowie langfristige Trends (z.B. heißere, trockenere Sommer, wärmere, feuchtere Winter) umfassen.
- **Der Exposition** natürlicher und menschlicher Systeme. Exposition bedeutet zunächst, wer oder was dem Klimawandel ausgesetzt ist („exponierte Systeme“). Dies können z.B. Wälder oder Gewässer sein, physische Systeme wie Siedlungen oder kritische Infrastrukturen, der Mensch und seine Gesundheit, aber auch soziale Systeme wie der Tourismus oder die Finanzwirtschaft. Der Grad der Exposition beschreibt unter anderem, ob viele oder wenige Elemente exponiert sind. Beispielsweise ist ein dicht besiedeltes Stadtgebiet einer hohen Hitzebelastung ausgesetzt, während ein dünn besiedeltes ländliches Gebiet bei gleicher Hitzebelastung eine geringere Belastung aufweist.
- **Der Vulnerabilität** (Verletzbarkeit) der exponierten Systeme. Zur Vulnerabilität tragen Aspekte wie Empfindlichkeit (Fichten sind empfindlicher gegenüber Trockenheit als Eichen, alte oder kranke Menschen sind empfindlicher gegenüber Hitzewellen als junge, gesunde Menschen), aber auch die mangelnde Fähigkeit bei, sich an Klimafolgen anzupassen bzw. darauf zu reagieren. Vulnerabilität kann sich aus physischen Aspekten ergeben (siehe oben), aber auch aus sozialen Aspekten (z.B. höhere Vulnerabilität ärmerer oder marginalisierter Gesellschaftsschichten), institutionellen Aspekten (z.B. mangelnde Koordination zwischen Abteilungen, unklare Zuständigkeiten), Ressourcenaspekten (z.B. fehlendes Budget und Personal für die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen) oder politischen Aspekten (z.B. fehlende oder ungeeignete politische Instrumente für die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen).
- **Anderen Entwicklungen, die nicht auf den Klimawandel zurückzuführen sind („underlying risk-drivers“),** aber die Vulnerabilität und/oder Exposition erhöhen. Dazu gehören z.B. die Degradation und Fragmentierung von Ökosystemen, die Ausdehnung von Siedlungs- und Gewerbegebieten, die zunehmende Bodenversiegelung, die mangelnde Instandhaltung kritischer Infrastrukturen, die Alterung der Bevölkerung oder externe Schocks wie die Corona-Krise oder der Krieg in der Ukraine.

Klimaanpassung kann die direkten klimabedingten Gefahren nicht verringern, dies kann nur der Klimaschutz. Klimaanpassung kann jedoch Klimarisiken mindern, indem sie die Anfälligkeit und/oder Exposition natürlicher oder menschlicher Systeme gegenüber Klimagefahren verringert. Andere nicht-klimatische Risikofaktoren können z.B. durch politische Maßnahmen beeinflusst werden. Nur ein vorausschauendes Risikomanagement und eine Politik, die die systemischen Zusammenhänge erkennt und die nicht-klimatischen Risikofaktoren reduziert, kann zu klimaresilienten Systemen bzw. einem klimaresilienten Südtirol beitragen. Daher sind die Analyse und das Verständnis aller nicht-klimatischen Risikofaktoren entscheidend.

Das Zusammenwirken all dieser Risikofaktoren und die daraus resultierenden kaskadenartigen Folgen werden in diesem Bericht mit Hilfe sogenannter „**Wirkungsketten**“ dargestellt, die der Logik der Abbildung folgen.

Dieses methodische Instrument wurde von Eurac Research entwickelt und hat sich international als fester Bestandteil der Klimarisikoaanalyse etabliert. Wirkungsketten stellen die Zusammenhänge zwischen Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität grafisch dar und dienen als „Architektur“ der Risikoanalyse und -bewertung.

Ein weiteres wichtiges, vom IPCC eingeführtes Konzept ist das Konzept von **Schlüsselrisiken**. Schlüsselrisiken sind Klimarisiken, die ein System oder mehrere Systeme schwerwiegend treffen können. Schlüsselrisiken sind unter anderem gekennzeichnet durch

- schwere Schäden
- häufige Schäden
- irreversible Schäden

- Verlust von Systemfunktionalität
- kaskadierende Effekte über Systemgrenzen hinaus

Das Konzept der Schlüsselrisiken wurde in diesem Bericht konsequent verfolgt, für alle Handlungsfelder wurden Schlüsselrisiken identifiziert, analysiert und bewertet. In den Wirkungsketten auf den folgenden Seiten sind alle Schlüsselrisiken für die jeweiligen Handlungsfelder aufgeführt und grafisch (über die Farbintensität der Boxen) die Bewertung der Dringlichkeit zu Handeln (→ siehe Kapitel 6) vorweggenommen.

4.1 Wassermanagement

Autor und Autorin: Giacomo Bertoldi, Viola Ducati

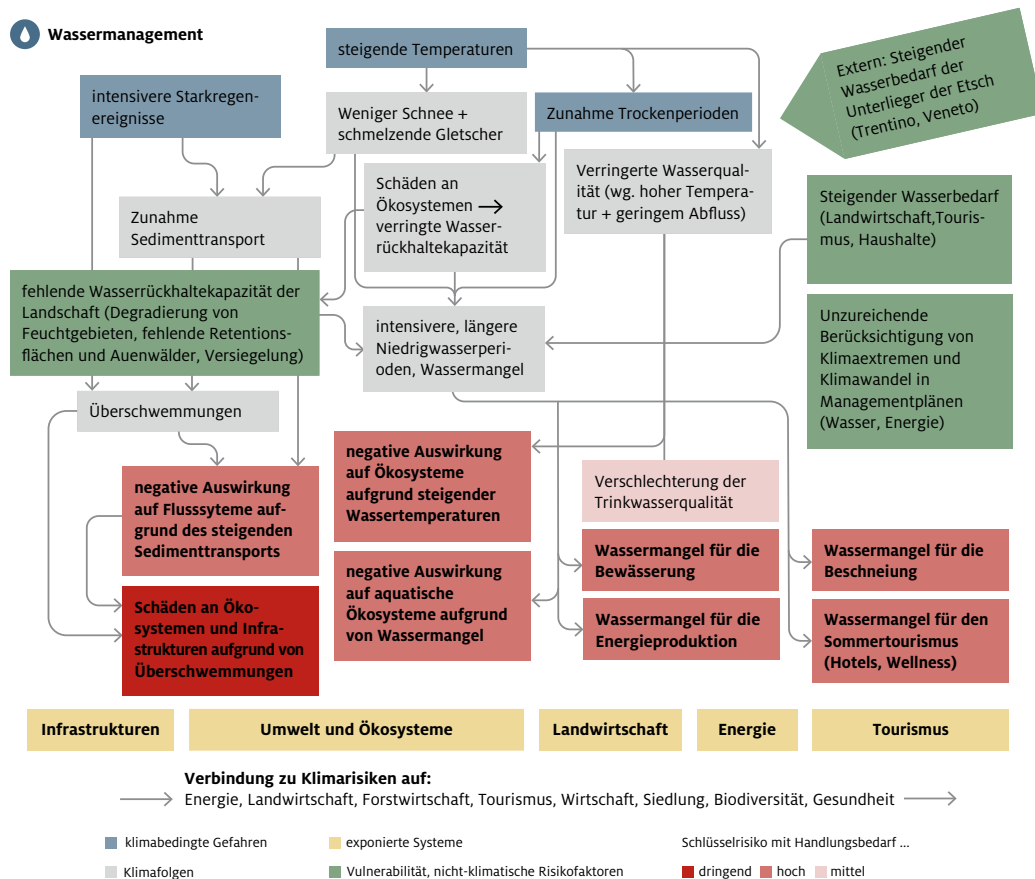


Abbildung 15: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität des Sektors Wassermanagement

Einleitung

Obwohl derzeit keine aktuellen, gesicherten Daten vorliegen, ist in Südtirol eine steigende Tendenz des Wasserbedarfs, insbesondere in der Landwirtschaft und im Tourismus, festzustellen. Steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und die zunehmende Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse wie Dürren, Überschwemmungen (Balistocchi et al., 2021) und Stürme beeinflussen die Menge und Qualität des verfügbaren Wassers. Der Wasserkreislauf verändert sich in den Bergen rapide. Die Anzahl der Tage, an denen der Boden mit Schnee bedeckt ist, die Schneefallmenge und das Schneewasseräquivalent nehmen ab (Matiu et al., 2021, Bertoldi et al., 2023). Das jahreszeitliche Verhalten des Abflusses verändert sich. Der Abfluss beginnt früher und der Beitrag von Schnee und Gletschern nimmt ab. Die Gletscherfläche ist in Südtirol von 121,9 km² im Jahr 1997 auf 84 km² im Jahr 2017 zurückgegangen (Galos et al., 2023). Das Auftauen des Permafrosts hat Auswirkungen auf Felssturzprozesse, die Dynamik von Blockgletschern, den Sedimenttransport und die Wasserqualität. Schließlich führt der Temperaturanstieg zu einem erhöhten natürlichen und anthropogenen Wasserbedarf, einschließlich des Bewässerungsbedarfs in der Landwirtschaft. Die saisonale Wasserverfügbarkeit verändert sich, während die Wassernachfrage sowohl durch den Klimawandel als auch durch wirtschaftliche Faktoren steigt.

Ohne eine an zukünftige Klimaszenarien angepasste Wasserbewirtschaftungspolitik besteht das Risiko, dass sich bestehende Konflikte verschärfen und neue Konflikte zwischen den verschiedenen Interessengruppen entstehen.

4.1.1 Umwelt und Ökosysteme

Ursachen für die Risiken

Der Klimawandel wirkt sich auf die Umwelt und die Ökosysteme aus: einerseits durch die Veränderung der jahreszeitlichen Abflussverteilung und des Wasserkreislaufs, was zu einem erhöhten Dürrierisiko führt, andererseits durch den Temperaturanstieg, der zu höheren Wassertemperaturen und damit zu direkten und indirekten Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna führt. Steigende Temperaturen führen auch zu einem beschleunigten Abschmelzen der Gletscher, was zu einem verstärkten Sedimenttransport und damit zu einer beschleunigten Verlandung der Einzugsgebiete und einer stärkeren Störung der Flusssysteme führt. Mit fortschreitender Gletscherschmelze und abnehmendem Neuschneezuwachs steigt auch die Gefahr von sommerlichen Wasserknappheit.

Aktuelle Situation

Im Vergleich zu vor 20 Jahren hat sich die Bewirtschaftung der Fließgewässer deutlich verbessert, vor allem in Bezug auf die Wasserqualität (Ruffini & Pollinger, 2017), aber auch in Bezug auf die Wassermenge, dank der Einführung eines Mindestabflusses, der die ökologische Funktionsfähigkeit der Fließgewässer gewährleistet. Dieser Vorgang wird allgemein als „Restwassermenge“ (RWM) oder genauer als „ökologische Abfluss“ (ÖA) bezeichnet. In bestimmten Trockengebieten kann die Erhaltung der Restwassermenge für die landwirtschaftliche Nutzung angepasst werden. Dies führt bei Wasserknappheit häufig zu lokalen und regionalen Wassernutzungskonflikten, vor allem zwischen Bewässerung und energetischer Nutzung.

Potenzielle Zukunftssituation

Geringere nivoglaziale Einträge und häufigere Trockenperioden und Hitzewellen können zu einer geringeren Wasserführung in den Fließgewässern führen, was sich wiederum auf die Gewässerökologie auswirkt. Risiken werden auch in Bezug auf die Verschlechterung der Wasserqualität erwartet, sowohl durch den Anstieg der mittleren Wassertemperatur als auch – bei Wasserknappheit – durch die geringere Verdünnung von Schadstoffen.

Anpassungspotenzial

Es wäre sinnvoll, mit einer dynamischen Mindestwasserführung in Raum und Zeit zu experimentieren, um die Wasserentnahme aus Seen und Flüssen zu regulieren und gleichzeitig die Gesundheit der Ökosysteme zu gewährleisten. Darüber hinaus wird es notwendig sein, den Wasserverbrauch und die Wasserverschmutzung zu reduzieren, um gesunde und artenreiche Ökosysteme zu erhalten, die auch unter sich ändernden Klimabedingungen widerstandsfähig sind und wasserbezogene Ökosystemdienstleistungen erbringen können.

4.1.2 Wassernutzung durch Haushalte und andere Endverbraucher

Ursachen für die Risiken

Wasserknappheit und extreme Wetterereignisse wie auch Überschwemmungen bedrohen die Wasserverfügbarkeit und -qualität für die Endverbraucher. Extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge können zu Überschwemmungen und damit zu Unterbrechungen der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung führen.

Aktuelle Situation

Da die Wasserverfügbarkeit von Gebiet zu Gebiet unterschiedlich ist, bedarf es einer detaillierten Untersuchung der einzelnen Landesteile Südtirols. Besonders gefährdet sind Hanglagen mit

oberflächennahen, Grundwasserleiter mit geringer Ergiebigkeit, sowie Gebiete, die von kleinen, nicht vernetzten Wasserversorgungsanlagen versorgt werden. Die hohen Wasserverluste im Leitungsnetz wirken sich ebenfalls auf die Wasserverfügbarkeit für die Endverbraucher aus.

Potenzielle Zukunftssituation

Es wird mit einer zunehmenden Wasserknappheit und damit mit einer geringeren Verfügbarkeit und schlechteren Qualität von Trinkwasser gerechnet. Der Temperaturanstieg kann sich sowohl quantitativ als auch qualitativ negativ auf das Grundwasser auswirken. Ebenso können extreme Wetterereignisse zu einer Verschlechterung der Trinkwasserqualität oder zu einer Unterbrechung der Wasserver- und Abwasserentsorgung führen.

Anpassungspotenzial

Die Wasserverteilungssysteme sollten zu einem integrierten und widerstandsfähigeren Gesamtsystem zusammengeführt werden, um die derzeitige Fragmentierung zu vermeiden. Darüber hinaus ist es notwendig, die Effizienz der Verteilungssysteme zu verbessern, die Rückgewinnung von Regenwasser zu fördern und die Möglichkeit einer verstärkten Nutzung von Grundwasserleitern durch die Überwachung der Quellen zu berücksichtigen. Zur besseren Bewältigung von Wasserknappheitssituationen und zur Gewährleistung einer langfristig nachhaltigen Wasserbewirtschaftung ist es notwendig, die Öffentlichkeit für einen sparsamen Umgang mit Wasser und einen bewussten Wasserverbrauch zu sensibilisieren.

4.1.3 Landwirtschaftliche Nutzung

Ursachen für die Risiken

Das Risiko von Wasserknappheit in der Landwirtschaft wird sowohl durch klimatische Faktoren – wie längere niederschlagsfreie Perioden, extrem trockene Hitzeperioden, steigende Temperaturen mit entsprechend höherer Evapotranspiration und längere Wachstums- und Bewässerungsperioden – als auch durch wirtschaftliche Faktoren bestimmt. Letztere umfassen die Ausdehnung landwirtschaftlicher Flächen in höhere Lagen und die Anwendung intensiver Anbautechniken, die einen erhöhten Bewässerungsbedarf mit sich bringen.

Aktuelle Situation

Mit der Zunahme des Bewässerungsbedarfs und der Anbauflächen steigt auch das Risiko, dass es in Trockenperioden zu Konflikten hinsichtlich der Einhaltung der Mindestwasserführung und der Wasserversorgung der Unterlieger kommt. Allerdings hat sich die Effizienz der Bewässerungssysteme in den letzten Jahren teilweise verbessert.

Potenzielle Zukunftssituation

Es wird erwartet, dass sowohl der Bewässerungsbedarf der Land- und Forstwirtschaft als auch die Wasserknappheit zunehmen werden, so dass die Gefahr besteht, dass nicht genügend Wasser für die Bewässerung von Acker- und Weideland zur Verfügung steht. Extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge, Überschwemmungen, Dürren und Hitzewellen können direkte negative Auswirkungen auf landwirtschaftliche Systeme haben.

Anpassungspotenzial

Zu den technischen Möglichkeiten zählen die Optimierung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Systeme und der Bewässerungssysteme, unter anderem durch den Einsatz präziser Überwachungstechnologien, die Förderung des Anbaus hitze- und trockenheitsresistenter Pflanzen sowie durch den Ausbau von Wasserspeichersystemen. Dieser Ausbau kann durch die kombinierte Nutzung bestimmter Stauseen für die Wasserkraft und den Bau neuer kleiner Stauseen für die Bewässerung erreicht werden. In Bezug auf das Management sollten ein konsortiales Management und ein genaues Monitoring des landwirtschaftlichen Wasserbedarfs gefördert werden. Darüber hinaus wird eine Zusammenarbeit und Koordination über die nationalen Grenzen hinaus erforderlich sein, um der Wasserknappheit zu begegnen.

4.1.4 Nutzung zur Stromerzeugung

Ursachen für die Risiken

Die jahreszeitliche Verschiebung der Niederschläge, die geringere Verfügbarkeit von langsam abfließendem, in Schnee und Gletschern gespeichertem Wasser, die früher einsetzende Schneeschmelze und extreme Wetterereignisse verringern die Nutzbarkeit der Ressource Wasser. Hochwasser, Murgänge und Überschwemmungen und der damit verbundene Sedimenttransport beeinträchtigen die Stromerzeugung und -umwandlung, sei es durch Schäden an Turbinen oder durch Verlandung von Stauseen. Der Klimawandel wirkt sich auch auf die Energienachfrage aus, die im Winter geringer und in sommerlichen Hitzeperioden höher ist.

Aktuelle Situation

Bei Wasserknappheit sinkt die Stromerzeugung aus Wasserkraft, während der Wasserbedarf für andere Zwecke steigt, was zu Konflikten mit anderen Sektoren, insbesondere der Landwirtschaft, führen kann. Bei Hochwasserereignissen müssen die Stauseen ggf. als Rückhaltebecken für den Hochwasserschutz genutzt werden.

Potenzielle Zukunftssituation

Das Risiko von Wasserknappheit für die Energieerzeugung nimmt zu, mit stärkeren Auswirkungen auf Wasserkraftwerke in höheren Lagen (Majone et al., 2016) und damit in stark vergletscherten Einzugsgebieten. Positiv auf die Erzeugung könnten sich hingegen die höheren Abflüsse im Winter auswirken, die durch die zunehmenden flüssigen Niederschläge verursacht werden. Angesichts der Dekarbonisierungsziele könnte die Nachfrage nach erneuerbaren Energien steigen, auch wenn der Spielraum für neue Anlagen begrenzt ist. Es wird erwartet, dass Pumpspeicherkraftwerke und die Mehrfachnutzung von Stauseen für Landwirtschaft, Wasserkraft und Hochwasserrückhalt zunehmen werden.

Anpassungspotenzial

Die derzeitige Bewirtschaftungsform, die sich an der Marktdynamik orientiert, gewährleistet eine gewisse Flexibilität des Wasserkraftsystems, muss aber angesichts der Klimadynamik überdacht werden. Dies geschieht durch eine Neuregelung der Wasserzuflüsse im Rahmen des jährlichen Wasserkreislaufs und durch Maßnahmen sowohl auf der Angebotsseite, z.B. durch Speicherung, als auch auf der Nachfrageseite der verschiedenen Sektoren.

Für den Umgang mit Wasserknappheit und die Planung von Anpassungsprozessen sind sowohl technische Maßnahmen – wie die Implementierung von Monitoringsystemen, Vorhersagemodellen und Entscheidungsunterstützungssystemen, die Entwicklung von Pumpspeichersystemen und die Schaffung von Wasserreserven für eine gemischte/gemeinsame Nutzung – als auch politisch-administrative Maßnahmen wie die gemeinsame Festlegung klarer Regeln und Prioritäten für die Nutzung durch die verschiedenen Interessengruppen notwendig.

Die Entwicklung neuer Anlagen, die durch die Dekarbonisierungsziele vorangetrieben wird, muss die Restriktionen in Bezug auf Umwelt, Landschaft und hydraulische Risiken berücksichtigen. Das Hauptpotenzial liegt in der Optimierung und Umrüstung bestehender Anlagen. Ebenso kann die Effizienz des Energietransports verbessert werden, z.B. durch die Erdverlegung von Leitungen.

4.1.5 Industrielle und touristische Nutzung

Ursachen für die Risiken

Die Wassernutzung für touristische Zwecke ist aufgrund klimatischer, aber auch wirtschaftlicher und sozialer Faktoren dem Risiko der Wasserknappheit ausgesetzt. Im Wintertourismus nimmt der natürliche Schneefall ab, während der Wasserbedarf für die künstliche Beschneigung steigt, um einerseits den Mangel an natürlichem Schnee auszugleichen und andererseits eine optimale Beschneigung der Pisten zu gewährleisten. Die Wassernutzung im Sommertourismus ist den Auswirkungen von Extremereignissen wie Überschwemmungen und Dürren ausgesetzt und nimmt zudem aufgrund der Zunahme von

Hotelunterkünften, des Wachstums des Wellness-Sektors und der sommerlichen Wassernutzung für Freizeitaktivitäten zu.

Aktuelle Situation

Während der Wasserbedarf der Industrie rückläufig ist, führt der steigende Bedarf des Tourismussektors zu Konflikten mit anderen Sektoren wie Landwirtschaft und Wasserkraft. Trotz der Nutzung von Stauseen und Speicherseen sind im Wintertourismus die verfügbaren Ressourcen bereits ausgeschöpft, so dass Druck auf den Bau neuer Hochgebirgsspeicher entsteht. Die zunehmende Freizeitnutzung von Seen und Flüssen führt dazu, dass der ökologischen und morphologischen Qualität der Gewässer mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, auch im Hinblick auf die Gefahr der Wasserverschmutzung durch extreme Wetterereignisse und den zunehmenden Druck des Tourismus auf die Wasserversorgung und -entsorgung.

Potenzielle Zukunftssituation

Der Wasserbedarf des Wintertourismus wird weiter steigen, wodurch die künstliche Beschneigung möglicherweise nicht mehr gewährleistet werden kann und mögliche Konflikte mit der Trinkwasserversorgung und dem ökologischen Wasserhaushalt zunehmen. Der Sommertourismus kann sowohl durch Wasserüberschuss als auch durch Wasserknappheit beeinträchtigt werden, wodurch möglicherweise nicht mehr das gesamte Dienstleistungsangebot in diesem Sektor gewährleistet werden kann.

Anpassungspotenzial

Der Wintertourismus wird auf die Speicherung von Wasser durch den Bau neuer Stauseen zurückgreifen müssen. Jede Maßnahme muss unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die verschiedenen Umweltbereiche sorgfältig geprüft werden. Es wird empfohlen, Stauseen so zu planen, dass sie auch für andere Zwecke wie Landwirtschaft, Trinkwasserversorgung, Brandschutz oder Energieerzeugung genutzt werden können. Künstliche Speicherbecken sind jedoch aufgrund ihrer Lage und der technischen und rechtlichen Anforderungen nicht immer für die Beschneigung geeignet. Es wird auch möglich sein, die Techniken des „Snow Farming“ zu nutzen. Es ist jedoch zu bedenken, dass bei einem ungebremsen Klimawandel ein radikales Umdenken im Wintertourismusmodell erforderlich sein wird.

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Wasserknappheit und damit unzureichender ökologischer Abfluss mit entsprechenden Auswirkungen auf die Gesundheit der aquatischen Ökosysteme und erhöhtem Risiko einer Verschlechterung der Wasserqualität durch geringere Verdünnung von Schadstoffen
- Anstieg der Wassertemperatur mit Auswirkungen auf die Gesundheit der Ökosysteme
- Zunahme des Sedimenttransports aufgrund der Gletscherschmelze, was zu Störungen in Einzugsgebieten und Flusssystemen führt
- Rückgang der Trinkwassermenge und -qualität
- Wassermangel für die Bewässerung von Feldfrüchten und Wiesen
- Wasserknappheit für die Stromerzeugung aufgrund von Veränderungen der saisonalen Niederschlagsverhältnisse und des Gletscherrückgangs
- Wassermangel und demnach mangelnde Sicherstellung der künstlichen Beschneigung, die notwendig ist, um einerseits den Mangel an natürlichem Schnee auszugleichen und andererseits eine optimale Beschneigung der Pisten zu gewährleisten
- Wasserknappheit für die Wassernutzung zu Freizeit Zwecken im Sommer (Schwimmbäder, Wellness) und Verschlechterung der Wasserqualität aufgrund der Zunahme extremer

Wetterphänomene mit entsprechenden Auswirkungen auf den mit dem Wasser verbundenen Freizeitsektor

- Schäden an Ökosystemen, Siedlungen und der Infrastruktur durch Überschwemmungen

Literatur

- Balistrocchi, M., Tomirotti, M., Muraca, A., Ranzi, R., 2021. Hydroclimatic Variability and Land Cover Transformations in the Central Italian Alps. *Water* 13, 963. <https://doi.org/10.3390/w13070963>
- Bertoldi, G., Bozzoli, M., Crespi, A., Matiu, M., Giovannini, L., Zardi, D., Majone, B., 2023. Diverging snowfall trends across months and elevation in the northeastern Italian Alps. *Intl Journal of Climatology* 43, 2794–2819. <https://doi.org/10.1002/joc.8002>
- Galos, S., Klug, C., Dinale, R., 2023. 20 YEARS OF GLACIER CHANGE: THE HOMOGENIZED GLACIER INVENTORIES FOR SOUTH TYROL 1997-2005-2017 45, 71–83. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2022.45.6>
- 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, 965–980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.009>
- Matiu, M., Crespi, A., Bertoldi, G., Carmagnola, C.M., Marty, C., Morin, S., Schöner, W., Berro, D.C., Chiogna, G., Gregorio, L.D., Kotlarski, S., Majone, B., Resch, G., Terzago, S., Valt, M., Beozzo, W., Cianfarra, P., Gouttevin, I., Marcolini, G., Notarnicola, C., Petitta, M., Scherrer, S.C., Strasser, U., Winkler, M., Zebisch, M., Cicogna, A., Cremonini, R., Debernardi, A., Faletto, M., Gaddo, M., Giovannini, L., Mercalli, L., Soubeyroux, J.-M., Sušnik, A., Trenti, A., Urbani, S., Weilguni, V., 2021. Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019. *The Cryosphere* 15, 1343–1382. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021>
- Ruffini, F., Pollinger, 2017. Gesamtplan für die Nutzung der öffentlichen Gewässer Teil 1 Aktuelle Situation (No. Teil 1 Aktuelle Situation). Autonome Provinz Südtirol, Italien.

4.2 Biodiversität

Autor: Andreas Hilpold

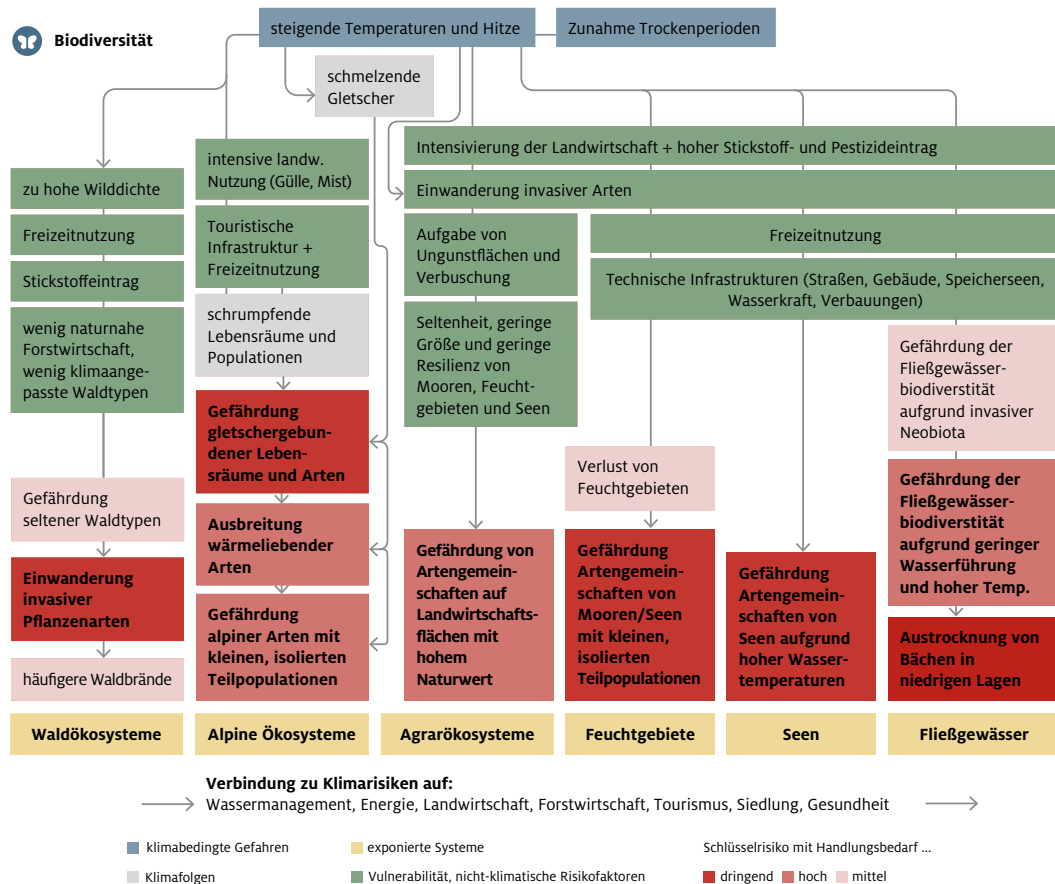


Abbildung 16: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität des Biodiversitätssektors

Einleitung

In den letzten 200 Jahren ist die Artenvielfalt in Südtirol stark zurückgegangen, wobei im 20. Jahrhundert etwa 3 % aller Pflanzenarten ausgestorben sind und derzeit ein Viertel der heutigen Flora als gefährdet gilt (Wilhelm & Hilpold, 2006). Wesentliche Faktoren waren Landnutzungsänderungen wie die Intensivierung in Gunstlagen und Nutzungsaufgabe in Ungunstlagen sowie Maßnahmen an Fließgewässern wie Flussbegradigungen und Wasserkraftnutzung. Diese Wirkfaktoren sind nach wie vor vorhanden und müssen bei der Bewertung der Klimafolgen berücksichtigt werden.

4.2.1 Wald

Ursachen für die Risiken

Südtirol ist ein seit Jahrtausenden besiedeltes Gebiet, in dem die Waldökosysteme vor allem durch Holznutzung, Weidewirtschaft und Streunutzung stark beeinflusst wurden. Urwälder, die in der Vergangenheit wenig oder gar nicht genutzt wurden, sind auf unzugängliche Gebiete beschränkt und zeichnen sich oft durch ein Mosaik verschiedener Altersklassen aus. Die steigenden Temperaturen führen zu längeren Trockenperioden und Hitzewellen, was eine steigende Waldbrandgefahr mit sich bringt. Zudem nehmen

Ziel- und Nutzungskonflikte für den Wald zwischen dem Ausbau erneuerbarer Energieträger (Nutzholz) und dem Wunsch des Erhalts der Biodiversität zu.

Aktuelle Situation

Südtirol verfügt über eine beträchtliche Waldfläche, die jedoch ungleichmäßig verteilt ist: Der Großteil der bewaldeten Flächen befindet sich in den höheren Lagen bis ca. 2.100 Meter, in den tieferen Lagen ist die Bewaldung lückenhaft; in den Talböden, wie z.B. im Etschtal, ist sie teilweise nicht vorhanden. Dies hat zur Folge, dass montane Waldtypen und ihre Artenvielfalt gut vertreten sind, während kollin-submontane Waldtypen, insbesondere in landwirtschaftlich oder für die Besiedlung attraktiven Lagen, seltener sind (z.B. Auwälder, Lindenwälder). In den letzten Jahrzehnten hat die Waldfläche vor allem in den höheren Lagen durch Nutzungsaufgabe (Beweidung und Mahd) zugenommen, wodurch mögliche Auswirkungen der Klimaerwärmung nicht klar ersichtlich waren. Gegenwärtig sind vor allem Arten, die auf Alterungs- und Zerfallsphasen in Wirtschaftswäldern und in wenig verbreiteten Waldtypen angewiesen sind, selten und oft gefährdet.

Potenzielle Zukunftssituation

Die potenzielle Höhenverbreitung der Waldtypen wird sich nach oben verschieben, da sich viele Baumarten bereits heute nicht mehr in ihrem ökologischen Optimum befinden. Auch wenn die tatsächliche Höhengrenze der Waldtypen hinter der potenziellen zurückbleibt, können meteorologische und geologische Extremereignisse in Verbindung mit biologischen Folgen wie der Zunahme von Borkenkäfern diesen Prozess erheblich beschleunigen. In vielen Tallagen werden sich die heute von Fichten dominierten Waldgebiete zunehmend in Laubmischwälder wandeln. Es ist davon auszugehen, dass dieser Prozess für die Biodiversität positiv zu bewerten ist, da gleichzeitig die Naturnähe zunimmt. Wärmebegünstigte Bereiche in tieferen Lagen könnten in Zukunft nach und nach von immergrünen, mediterranen Baumarten besiedelt werden. Da die bisher dominierenden Waldtypen mit Flaum- und Traubeneiche sowie Hopfenbuche ihrerseits ihr Verbreitungsgebiet klimawandelbedingt nach oben ausdehnen, dürfte dieser Prozess für die gesamte Biodiversität insgesamt unproblematisch sein. Hohe Wildbestände können allerdings die Verjüngung verzögern. Probleme könnten sich zudem für seltene, speziell angepasste Waldtypen und ihre Tiere ergeben, die aufgrund des Geländes nicht immer nach oben ausweichen können, z.B. in Schluchtwäldern. Extremereignisse wie Windwurf, Schneedruck und Rutschungen können die Anpassung des Waldes beschleunigen, aber auch standortfremde Pioniergehölze wie Götterbaum, Robinie und Schmetterlingsstrauch fördern, die zu Problemen für einheimische Arten führen können. Bei künftigen Hitzewellen oder Trockenperioden können größere Waldbrände, insbesondere in steilem Gelände, häufiger auftreten. Diese können das Ökosystem einschließlich des Bodens langfristig schädigen. Zudem werden dadurch Baumarten gefördert, die relativ resistent gegen Brände sind oder die Brandflächen schnell wieder besiedeln können, auf Kosten von Arten, die diese Anpassungsfähigkeit nicht besitzen.

Anpassungspotenzial

Der Lebensraum Wald sollte gestärkt und an den Klimawandel angepasst werden, indem die Biodiversität in bewirtschafteten Wäldern bewusst gefördert wird, z.B. durch das Belassen von Totholz, Zurückdrängung von Neobiota und die Erhöhung der Strukturvielfalt. Zudem sollten ausgewählte Bereiche der heimischen Wälder durch bewussten Nutzungsverzicht wieder naturnäher gestaltet werden. Um den Verlust von Lebensräumen und die damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Biodiversität zu vermeiden, sollten Waldinseln in den Tieflagen erhalten bleiben, und die Vernetzung sollte verbessert werden. Größere Waldbrände sind möglichst zu vermeiden (→ siehe *Kapitel Forstwirtschaft*).

4.2.2 Alpine Lebensräume

Ursachen für die Risiken

Die Erwärmung erhöht die Konkurrenz unter (hoch-)alpine Tier- und Pflanzenarten, da durch die steigenden Temperaturen und veränderten Niederschlagsmuster die Arealgrenzen von wärmeliebenderen Arten entlang von Höhen- und Feuchtgradienten nach oben verschoben werden. Darüber hinaus

erhöht der Klimawandel das Risiko von Naturkatastrophen wie Lawinen und Muren. Dies kann zum Verlust von einzelnen Populationen führen, was besonders bei seltenen Arten die Aussterbewahrscheinlichkeit erhöht. Zu den nicht-klimatischen Risikofaktoren zählen vor allem der Bau neuer Strukturen und die Nutzung wie z.B. für Freizeitaktivitäten, Energieerzeugung und Mobilität. Zu den negativen Auswirkungen kann auch die landwirtschaftliche Nutzung beitragen, insbesondere bei unsachgemäßer Bewirtschaftung, wie z.B. der Überweidung von Almen.

Aktuelle Situation

In der subalpinen bis nivalen Höhenstufe gibt es zahlreiche Arten mit weltweit isolierten Vorkommen. Bei vielen dieser Arten liegt ein bedeutender Anteil des globalen Areals in Südtirol und/oder Südtirol besitzt einen bedeutenden Anteil der weltweiten Populationen (Endemiten und Subendemiten). Aus diesem Grund trägt Südtirol für diese Arten eine hohe Verantwortung. Beobachtungen zu direkten Auswirkungen der Klimaerwärmung liegen für Südtirol bisher nur sehr bruchstückhaft vor (z.B. Projekt GLO-RIA: <https://gloria.ac.at/home>).

Potenzielle Zukunftssituation

Als Folge der Klimaerwärmung ist vor allem in den subnivalen und nivalen Lagen ein Rückgang kälteadaptierter Lebensräume und ihrer Arten zugunsten wärmebegünstigter Lebensräume zu erwarten. Extremereignisse wie schneearme/schneereiche Winter und Erosion führen zu zusätzlichen Störungen, die durch menschliche Aktivitäten verstärkt werden können. Aufgrund der landschaftlichen Begrenzungen nimmt die Gesamtfläche der alpinen Lebensräume stark ab. Zudem kommt es zu einer Verinselung von Lebensraumtypen, was die Vernetzung bestehender Populationen reduziert und mittel- bis langfristig zu einer Schwächung der Populationen (Ceresa et al., 2023) und einer erhöhten Aussterbewahrscheinlichkeit führt. Die Neubesiedlung neu geschaffener Lebensräume erfolgt hingegen nicht unmittelbar, z.B. kann es relativ lange dauern, bis sich an klimatisch günstigen Standorten ein alpiner Rasen ausbildet.

Anpassungspotenzial

Als Klimawandelanpassungsmaßnahmen sollten weitere Schutzgebiete ausgewiesen und gezielte Lenkungs- und Sensibilisierungsmaßnahmen für Erholungssuchende unterstützt werden. Insbesondere vor dem Hintergrund sich ändernder Umweltbedingungen ist auch in der alpinen Stufe (über 2.300 Metern) eine regelmäßige Neubewertung der landwirtschaftlichen Nutzung erforderlich. Die Beweidung durch Nutztiere erfüllt zwar eine wichtige Funktion für die Offenhaltung der Vegetation im Waldgrenzbereich, in höher gelegenen Lagen überwiegen aber oft die negativen ökologischen Auswirkungen. Im Waldgrenzbereich (subalpine Zone) ist es sinnvoll, die Mahd wertvoller Wiesenflächen weiterhin zu unterstützen, wobei der übermäßige Eintrag von Nährstoffen durch Wirtschaftsdünger für die Biodiversität der Flächen negativ ist, insbesondere für die Vielfalt der Gefäßpflanzen und der Insekten. Für Hochgebirgsarten, für die wir eine große Verantwortung tragen, empfiehlt sich zudem die Ex-situ-Erhaltung, z.B. in Botanischen Gärten.

4.2.3 Agrarökosysteme

Ursachen für die Risiken

Der Klimawandel verändert die Anbau- und Erntezeiten von Kulturpflanzen und damit auch deren Blütezeiten. Dabei kann es zu einer Verschiebung der Aktivität von Bestäuberinsekten führen. Dies wirkt sich auf die Artenvielfalt aus, kann darüber hinaus auch negative Wirkung für die Landwirtschaft haben. Zudem verändert sich die Wasserverfügbarkeit, was sich direkt auf die Lebewesen über und unter der Erde sowie die Bodenqualität auswirkt. Darüber hinaus nehmen extreme Wetterereignisse zu. Nicht alle diese Veränderungen sind negativ, da spezialisierte Arten davon profitieren können. Insgesamt verändert der Klimawandel die Ökosysteme. Neben dem Klimawandel spielen Landnutzungsänderungen eine entscheidende Rolle, darunter Intensivierung an agronomisch günstigen und Nutzungsaufgabe in ungünstigen Lagen mit nachfolgender Verbuschung und Wiederbewaldung. Die primären Auswirkungen der Klimaerwärmung dürften indirekter Natur sein, z.B. durch die Verlagerung bestimmter Kulturen in höhere Lagen mit ausreichender Wasserversorgung oder durch die Umwandlung von Waldflächen in

Wiesen und Weiden, wodurch ökologisch wertvolle Flächen verloren gehen. Zudem werden vermehrt spezielle Verbauungen wie Hagelnetze und Speicherseen installiert, um vor Extremereignissen zu schützen, was wiederum ökologische Auswirkungen hat.

Aktuelle Situation

Die heutige Agrarlandschaft Südtirols ist geprägt von überwiegend intensiv bis mäßig genutzten Wiesen, Maisfeldern, Obst- und Weingärten in den thermisch begünstigten Tallagen und weist über weite Strecken eine vergleichsweise geringe Artenvielfalt auf. Ein Großteil der Arten in landwirtschaftlich genutzten Flächen konzentriert sich auf extensiv genutzte Flächen, wie z.B. Mager-, Feucht- und artenreiche Bergwiesen, Weiden mit angepasster Beweidung, Streuobstwiesen und Kastanienhaine, Weinberghänge mit Trockenmauern und einem Mosaik aus Gehölzinseln und Hecken sowie kleinstrukturierte Getreidefelder. Diese Lebensräume werden auch als Flächen mit hohem Naturwert (HNV – High Nature Value Farmland) bezeichnet und sind seit der Industrialisierung stark zurückgegangen. Darüber hinaus haben die für die biologische Vielfalt wichtigen Kleinstrukturen in der Agrarlandschaft an Zahl und Vielfalt abgenommen, was sich z.B. im Verlust von Hecken, Einzelbäumen, Baumreihen, Tümpeln und Mooren widerspiegelt.

Veränderungen in der Agrarlandschaft und der damit verbundene Biodiversitätsverlust beeinflussen auch die verfügbaren Ökosystemleistungen (Zanini et al., 2024). Beispielsweise hat die Intensivierung des subalpinen Grünlands zu einer Verarmung der Pflanzenwelt geführt, was wiederum eine Abnahme der Insektenpopulationen zur Folge hatte und sich negativ auf die Bestäubungsleistung auswirken kann (Guariento et al., 2022).

Potenzielle Zukunftssituation

Ein großer Teil der Biodiversität konzentriert sich auf Flächen mit hohem Naturwert (HNV-Flächen), die jedoch oft isoliert und voneinander getrennt sind, weil Barrieren wie Infrastrukturen und intensive Kulturlandschaften den Austausch zwischen ihnen verhindern. Unklar ist auch, welche der heutigen HNV-Flächen unter veränderten Klimabedingungen überleben können. Eine erhöhte Verdunstung infolge höherer Temperaturen könnte vor allem für feuchteadaptierte Lebensräume wie feuchte bis nasse Wiesentypen problematisch werden, während Halbtrockenrasen begünstigt werden könnten. Allerdings könnte die Erwärmung die landwirtschaftliche Nutzung in schwer zugänglichen Gebieten mit geringem Wasserangebot noch schwieriger machen, insbesondere auf trockenen Weideflächen wie im Vinschgau. Indirekte Auswirkungen auf die Agrobiodiversität entstehen, wenn es aufgrund von Schneemangel im Winter zu Bewässerungsengpässen kommt oder die Wasserreserven in Gletschern gänzlich verschwunden sind. Extremereignisse wie Unwetter oder Dürreperioden können sich direkt auf die Biodiversität auswirken und lokal Aussterbeprozesse in Gang setzen oder indirekt über Nutzungsänderungen zur Aufgabe bestimmter Landnutzungen führen.

Anpassungspotenzial

Der Schwerpunkt der Anpassung liegt auf der Landnutzung. Es ist wichtig, dass Flächen mit hohem Naturwert (HNV-Flächen), insbesondere extensiv genutzte Wiesen, Streuobstwiesen, Kastanienhaine und ausgedehnte Weideflächen, weiterhin oder verstärkt finanziell unterstützt werden. Oft fehlt es in der öffentlichen Verwaltung an Kenntnissen über diese Flächen, weshalb eine flächendeckende Biotopkartierung unerlässlich ist. Die durch die Klimaerwärmung ermöglichten Kulturänderungen (z.B. Umwandlung Grünland in Obstanlage oder Grünland in Weinberg) sollte nur nach ökologischer Prüfung der Flächen erfolgen. Dabei wäre es wichtig, wertvolle Flächen wie Trockenrasen von der Umwandlung ganz auszuschließen.

4.2.4 Moore und Seen

Ursachen für die Risiken

Der Klimawandel mit steigenden Temperaturen und veränderten Niederschlagsmustern beeinflusst die hydrologischen Bedingungen von Mooren und Seen. Weniger Niederschlag bzw. längere Hitzeperioden im Sommer können die Wasserverfügbarkeit reduzieren und sogar zum Verlust von diesen

Lebensräumen führen. Extremereignisse haben das Potenzial, die durch den Klimawandel ausgelösten Prozesse zusätzlich zu beschleunigen. Langfristig kann sich dadurch auch die Artenzusammensetzung verändern. Darüber hinaus führen Landnutzungsänderungen wie die Entwässerung von Niedermooren und der Eintrag von Nährstoffen und Pestiziden durch die angrenzende Landwirtschaft, aber auch der Bau von Infrastruktur und direkte Störungen durch Freizeitaktivitäten zu Beeinträchtigungen.

Aktuelle Situation

Moore und Seen beherbergen eine sehr spezialisierte und oft stark gefährdete Flora und Fauna. Von den ursprünglich in Südtirol vorhandenen Feuchtgebieten sind nur noch kleine Reste vorhanden, die meist stark isoliert sind. Trotzdem beherbergen diese Restflächen eine hohe Artenvielfalt. Viele dieser Arten kommen in Europa nur in wenigen, stark isolierten Populationen vor. Daher tragen wir eine große Verantwortung für die Tier- und Pflanzenwelt der Feuchtlebensräume. Sie sind nicht nur sensible Lebensräume, sondern auch wichtige Kohlenstoffspeicher (v.a. torfhaltige Feuchtlebensräume wie Hochmoore). Ihre Erhaltung bzw. zukünftige Förderung ist daher für die Kohlenstoffbilanz Südtirols wesentlich.

Potenzielle Zukunftssituation

Moore und Seen sind vor allem im Talbereich durch zahlreiche Barrieren voneinander isoliert. Ein Ausweichen der Arten in höher gelegene Moore oder Seen wird dadurch häufig unmöglich. Darüber hinaus sind durch die Temperaturerhöhung negative Auswirkungen auf Torfmoore zu erwarten, denn die mikrobielle Aktivität und damit der Abbau von organischem Material nimmt dadurch zu, was in vielen Fällen eine weitere Torfbildung verhindert und mancherorts zudem zu einer Degradation bestehender Moore führen kann. Einen ähnlichen Effekt können auch Trockenperioden haben. Darüber hinaus können häufigere Hitzeperioden die Pflanzenzusammensetzung von Mooren verändern und für die Torfbildung wichtige Pflanzen durch hitze- und trockenheitstolerantere Arten ersetzen. Eine gezielte Raumordnungspolitik ist notwendig, um die direkte Bedrohung durch Landnutzungsänderungen abzuwenden.

Anpassungspotenzial

Die zentrale Strategie zur Minderung der Auswirkungen des Klimawandels ist die Vermeidung aller zusätzlichen negativen Einflussfaktoren, insbesondere im Bereich der Landwirtschaft. Besonders wichtig ist es, sofern nicht vorhanden, Pufferzonen um Feuchtgebiete in der Agrarlandschaft zu schaffen. Außerdem wäre es für die Biodiversität sehr positiv, Feuchtgebiete, insbesondere in Niederungsgebieten, wieder herzustellen. Darüber hinaus ist es sinnvoll, in den letzten 100 Jahren entwässerte Moore wieder zu vernässen. Eine bessere Vernetzung der wertvollen Lebensräume in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten ist von großer Bedeutung, wobei die zahlreichen Gräben als potenziell wertvolle Korridore dienen könnten, sofern sie qualitativ verbessert werden. Für besonders gefährdete Arten empfehlen sich Ex-situ-Erhaltungsmaßnahmen, z.B. in botanischen Gärten, vor allem dann, wenn gleichzeitig durchgeführte Renaturierungsmaßnahmen nicht rechtzeitig erfolgen oder greifen. Zusätzlich ist eine flächendeckende Kartierung und ein konstantes Monitoring der Feuchtgebiete essenziell, um den Wert und die Einzigartigkeit dieser Habitate hervorzuheben, denn die mangelhafte Datenlage wirkt sich ungünstig auf die Erhaltung und den Schutz dieser Lebensräume aus.

4.2.5 Fließgewässer

Ursachen für die Risiken

Zu den klimatischen Einflussfaktoren auf die Fließgewässer zählen steigende Wassertemperaturen, Veränderungen des Abflussregimes im Tages- und Jahresverlauf sowie die Zunahme von Extremereignissen wie Trockenheit und Starkniederschläge. Historische Flussbegradigungen, Wasserkraftnutzung, Wasserentnahmen für verschiedene Zwecke und die Vergabe von Wasserrechten haben die natürlichen Gewässer in Südtirol stark verändert und führen immer öfter zu Nutzungskonflikten. Schwankende Wasserstände, Einträge aus der Landwirtschaft und von Medikamenten, Hormonpräparaten, Mikroplastik und Streusalz wirken sich negativ auf die Wasserqualität aus. In Trockenperioden verringern sich die

Abflüsse in den meisten Fließgewässern, was zu einer höheren Konzentration punktueller oder diffuser Einträge führt, was wiederum verstärkte Auswirkungen auf die Wasserqualität haben kann. Begradigte Flussstrecken können bei Extremereignissen erhöhte Hochwasserrisiken mit sich bringen, weil in den meisten Fällen auch Auslaufzonen fehlen. Auwaldökosysteme sind in der Regel sehr dynamische Lebensraumkomplexe, die sich relativ rasch an veränderte Standortbedingungen anpassen können, vorausgesetzt sie besitzen genügend Platz – was in weiten Teilen Südtirols nicht der Fall ist. Veränderte abiotische Bedingungen spiegeln sich auch in einer veränderten Lebensgemeinschaft wider. Neobiota wie allochthone Krebsarten und verschiedene Fischarten breiten sich in und entlang von Fließgewässern aus und können das Gleichgewicht der Gewässerökosysteme nachhaltig verändern (Niedrist et al., 2022), (Niedrist, 2023).

Aktuelle Situation

Die biologische Vielfalt von Fließgewässern ist weltweit sehr stark vom Artenverlust betroffen. Als Folge der Klimaerwärmung erwärmen sich auch die Fließgewässer in Südtirol (Niedrist et al., 2022). Wassertemperaturen ab 20 °C führen bei Salmoniden bereits zu Hitzestress, längere Phasen mit Temperaturen über 25 °C sind sogar letal (Pankhurst & King, 2010); (Steinbauer, 2022). Nicht nur Fische werden unter den erhöhten Wassertemperaturen leiden. Auch Makroinvertebraten (kleine wirbellose Bodenbewohner) werden dadurch direkt und indirekt beeinflusst werden: Direkt, weil viele Arten an spezifische Temperaturspannen gebunden sind und somit nicht mehr gewisse Flussabschnitte besiedeln können. Indirekt, weil sich durch die Schnee- und Gletscherschmelze die Bedingungen in den Bächen stark ändern und somit einen direkten Einfluss auf den Lebenszyklus der Kleinlebewesen haben. Da diese für die Selbstreinigungskraft der Fließgewässer und als Fischnahrung eine wesentliche Rolle spielen, wird der Klimawandel substanzielle Anpassungen erfordern. Weiters können erhöhte Wassertemperaturen speziell in Kombination mit verringerten Wasserführungen während Dürreperioden das Wachstum von Algen fördern. Der Sauerstoffgehalt im Wasser verringert sich und kann sich wiederum negativ auf die Fischbestände und die Wasserqualität auswirken. Besonders dramatisch ist der Rückgang der Fischpopulationen in Südtirol infolge von Gewässerverbauungen und der Unterbrechung des natürlichen Kontinuums der Fließgewässer.

Potenzielle Zukunftssituation

Der Temperaturanstieg führt zu einer zeitlichen Veränderung des Abflussregimes, da weniger Wasser als Schnee gespeichert wird und die letzten Gletscherflächen abschmelzen. Diese Veränderungen der abiotischen Bedingungen werden sich auch in den Lebensgemeinschaften vor allem von gletschergespeisten Bächen widerspiegeln: Sehr spezialisierte Arten werden entweder höher gelegene Fließgewässerstrecken aufsuchen (aber das ist nicht immer möglich) oder ganz verschwinden. Mit veränderten Niederschlagsmustern und schmelzenden Gletschern ändern sich auch die Fließmuster der Flüsse. Dies kann zu unregelmäßigeren Abflussmengen und einer erhöhten Erosionsgefahr führen. Eine verringerte Wasserführung (weniger Niederschlag, höhere Wasserentnahmen) wird den chemischen Zustand der Gewässer verändern: Nährstoffkonzentrationen nehmen zu, Wassertemperaturen steigen, die Sauerstoffkonzentration im Wasser sinkt. Diese veränderten abiotischen Bedingungen werden sich auch auf die Lebensgemeinschaften auswirken. Maßnahmen zur Verbesserung der Vernetzung, im Wasserressourcenmanagement und im Umweltschutz sowie zur Reduktion nicht klimabedingter negativer Einflussfaktoren (z.B. Einträge, Entnahmen, Übernutzung) müssten ergriffen werden, um Änderungen in Niederschlagsmustern, Wasserhaushalt, Temperatur und ökologischen Bedingungen entgegenzuwirken.

Anpassungspotenzial

Den Folgen des Klimawandels auf die Fließgewässer entgegenzuwirken, erfordert eine Kombination aus ökologischen, technischen, politischen und gesellschaftlichen Maßnahmen. Die Fließgewässer sind über weite Strecken stark verändert. Darin liegt auch eine Möglichkeit: Durch Aufweitungen und schwallreduzierende Maßnahmen kann die Gewässerstruktur deutlich verbessert werden. Allerdings sind die Grundvoraussetzungen für mögliche Aufweitungen derzeit oft nicht ausreichend gegeben. Das Entfernen von Barrieren, wie Dämmen oder Wehren, die den natürlichen Fluss behindern, können sehr nützlich sein, um die ökologische Integrität zu bewahren bzw. wiederherzustellen. Um die aquatische Biodiversität

auch in Zukunft zu erhalten – insbesondere in Trockenperioden –, müssen Restwassermengen konsequent eingehalten bzw. erhöht werden. Außerdem ist es wichtig, die Vernetzung von Fließgewässern wiederherzustellen, um die Biodiversität und den Schutz der aquatischen Fauna zu fördern, da die Arten nur so in kühlere Bereiche ausweichen können. Eine dichte Gehölzvegetation entlang von Fließgewässern trägt ebenfalls dazu bei, die Erwärmung und diffuse Einträge zu reduzieren. Feuchtgebiete können als natürliche Puffer gegen Überschwemmungen und als Filtrationssysteme zur Verbesserung der Wasserqualität dienen. In diesem Sinne wäre z.B. die gezielte Wiederherstellung von Auwäldern sowohl für die Biodiversität als auch für den Hochwasserschutz von Vorteil. Wenn Flüssen z.B. mehr Platz eingeräumt wird, können vielfältige Lebensräume entstehen: Refugialräume wie Altarme oder Wurzelunterstände können eine Wiederbesiedlung mit Lebewesen nach Perioden mit stark schwankendem Wasserstand gewährleisten. Dies erfordert die Zusammenarbeit und Einsicht vieler Beteiligten, da die Talböden in der Regel landwirtschaftlich genutzt werden. Die Unterstützung von Initiativen, die nachhaltige Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei betreiben, um die Belastung der Fließgewässer zu reduzieren, sowie die Förderung der Beteiligung von Gemeinden an der Planung und Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz und zur Erhaltung der Fließgewässer können die Integrität der Fließgewässer fördern. Zudem können „gesunde“ Ökosysteme den Auswirkungen des Klimawandels besser entgegenwirken. Durch eine Kombination dieser Maßnahmen können die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Fließgewässer gemindert und die Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme und der menschlichen Gemeinschaften gestärkt werden.

Zusammenfassung der Schlüsselerisiken

- Risiko von Populationseinbußen in Wald- und Hochgebirgsökosystemen durch Extremereignisse wie Dürren, Starkregen und Fluten, Waldbrände, Windwürfe und Erdbeben
- Risiko des Verlusts von Lebensräumen und des Rückgangs von Arten in Wald-, Hochgebirgs- und Agrarökosystemen aufgrund der Unfähigkeit, sich an steigende Temperaturen anzupassen in Kombination mit begrenzten Migrationsmöglichkeiten aufgrund von Habitatfragmentierung und topographischen Barrieren
- Risiko des Verschwindens gletschergebundener Lebensräume und spezialisierter Arten aufgrund des Rückgangs und vorraussichtlichen Verschwindens von Gletschern und dauerhaft schneebedeckten Flächen
- Risiko des Verschwindens feuchtadaptierter Lebensgemeinschaften durch steigende Temperaturen
- Risiko des Rückgangs heimischer Arten durch eine Zunahme wärmeliebender invasiver Arten aufgrund höherer Temperaturen und Störungen aufgrund von Extremereignissen
- Risiko der Klimawandelanpassung: Veränderungen in der Landwirtschaft und ein höherer Bedarf an erneuerbarer Energie könnten Lebensräume gefährden und zu Konflikten um Wasser führen

Literatur

- Ceresa, F., Brambilla, M., Kvist, L., Vitulano, S., Pes, M., Tomasi, L., Pedrini, P., Bettega, C., Anderle, M., Hilpold, A., Kranebitter, P., 2023. Restricted dispersal and inbreeding in a high-elevation bird across the 'sky islands' of the European Alps. *J. Biogeogr.* <https://doi.org/10.1111/jbi.14787>
- Guariento, E., Rüdisser, J., Fiedler, K., Paniccia, C., Stifter, S., Tappeiner, U., Seeber, J., Hilpold, A., 2022. From diverse to simple: butterfly communities erode from extensive grasslands to intensively used farmland and urban areas. *Biodivers. Conserv.* <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02498-3>
- Niedrist, G.H., 2023. Substantial warming of Central European mountain rivers under climate change. *Reg. Environ. Change.* <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02037-y>
- Niedrist, G.H., Hilpold, A., Kranebitter, P., 2022. Fischbesatz in Südtirol während der letzten 30 Jahre: konstante Priorisierung nicht-heimischer Arten. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7215789>
- Pankhurst, N.W., King, H.R., 2010. Temperature and salmonid reproduction: implications for aquaculture. *J. Fish Biol.*
- Steinbauer, P., 2022. Negative Auswirkungen von sommerlichen Hitzeperioden und Wassermangel auf Fischhaltung und Fischzucht. Fachliche Beiträge des Tiergesundheitsdienstes Bayern e.v.
- Wilhaml, T., Hilpold, A., 2006. Rote Liste der gefährdeten Gefäßpflanzen Südtirols.
- Zanini, S., Dainese, M., Kopf, T., Leitinger, G., Tappeiner, U., 2024. Maintaining habitat diversity at small scales benefits wild bees and pollination services in mountain apple orchards. *Ecol. Solut. Evid.* 5, e12320. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12320>

4.3 Landwirtschaft

Autorinnen und Autor: Verena Kircher, Clara Horvath, Christian Hoffmann

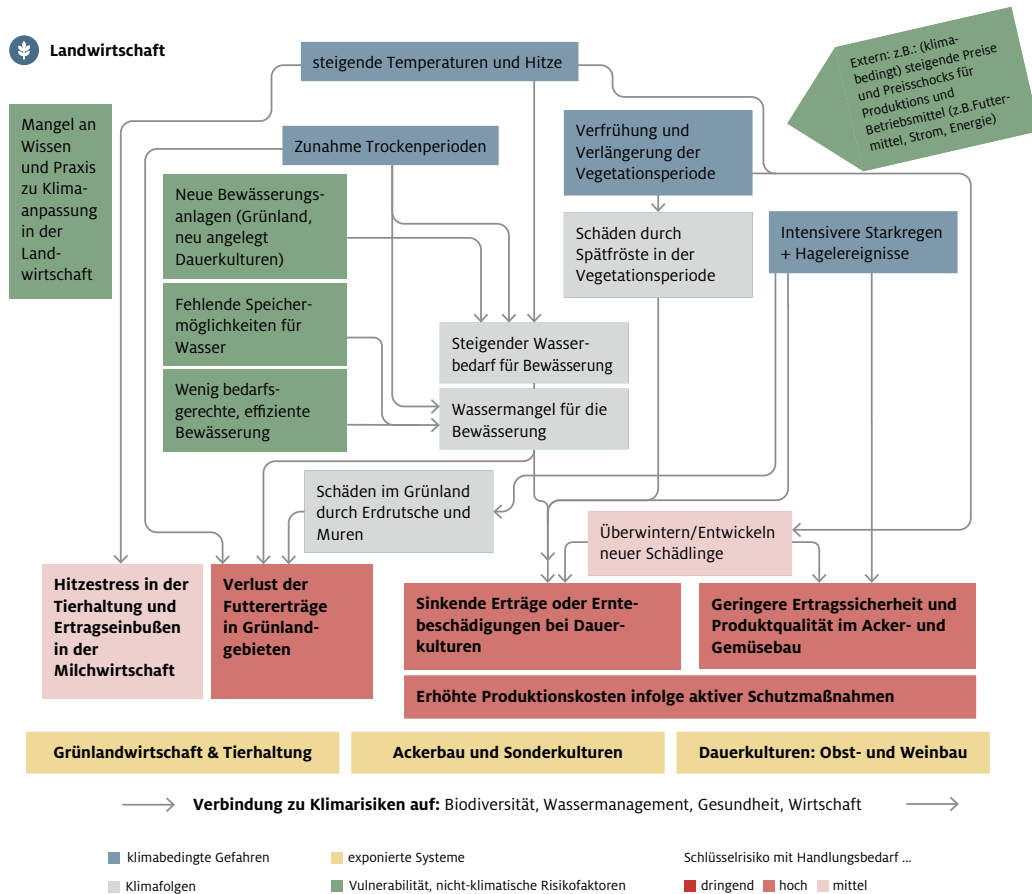


Abbildung 17: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität des Landwirtschaftssektors

Einleitung

Die Landwirtschaft gehört zu den am stärksten vom Klimawandel betroffenen Sektoren (MASE, 2023). In Südtirol werden ca. 28 % der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt, bestehend aus hauptsächlich Dauerpflanzen und Weiden (ca. 78,4 %), gefolgt von Gehölzkulturen (13,2 %) und Acker- und Gemüseanbau (8,3 %). Laut des Instituts für Wirtschaftsforschung in Südtirol WIFO (2021) beträgt der Anteil der Landwirtschaft am BIP 4,6 %. Die Höhenunterschiede und die dadurch entstehende klimatische Vielfalt in Südtirol ermöglichen den Anbau verschiedener Kulturen. Aufgrund der inneralpinen Lage, die Südtirol vor größeren Niederschlagsmengen abschirmt, ist die Landwirtschaft speziell im Süden und Westen des Landes auf zusätzliche Bewässerung angewiesen (Zebisch et al., 2018). Mit ca. 150 Millionen Kubikmeter pro Jahr sind ca. 57 % des gesamten Wasserverbrauchs Südtirols auf die Landwirtschaft zurückzuführen (Carmignola, 2017). Vor dem Hintergrund eines steigenden Bewässerungsbedarfs und einer klimabedingt abnehmenden Wasserverfügbarkeit rücken Strategien zur Wasserspeicherung und effizienten Wassernutzung in den Fokus. Darüber hinaus steht die Landwirtschaft vor der Herausforderung, Anpassungsmaßnahmen standortangepasst zu realisieren (BMEL, 2020).

Risikofaktoren und deren Auswirkungen

Steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster oder extreme Wetterereignisse (Spätfröste, Hagel, Sturm, Starkregen, Hitze, Dürre, etc.) wirken sich auf die Entwicklungsverläufe, Boden- und Wasserressourcen, Humusabbau oder Bodenerosion aus. Quantität, Qualität und Stabilität der Erträge

werden dadurch direkt beeinflusst (BMEL, 2020). Klimaänderungen können außerdem das Auftreten von etablierten und neuen Schadorganismen sowie Unkräuter verursachen, sowie die Tiergesundheit und das Tierwohl und die Produktivität in der Nutztierhaltung gefährden (BMEL, 2020). Dies hat Auswirkungen auf sozioökonomische Faktoren wie z.B. die Rentabilität, die Preise von Nahrungsmitteln sowie deren Qualität und Verfügbarkeit (del Pozo et al.; 2019; MASE; 2023; Weigel, 2011). Höhere Temperaturen und die damit verbundene Verlängerung der Vegetationsperiode können zwar bei ausreichender Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit die Produktivität einzelner Kulturen steigern (BAFU, 2013). Vereinzelt können veränderte Niederschlagsmuster zudem den Druck bestimmter Krankheiten und Schädlinge verringern. Jedoch haben die meisten klimatischen Veränderungen negative Folgen für den Agrarsektor (BMEL, 2020; MASE, 2023).

Übergeordnete Ziele und transversale Themen

Governance und Weiterentwicklung effizienter Bewässerungssysteme

Die Priorisierung der Wasserressourcen und die Umsetzung neuer Wasserbauprojekte stellen bereits heute gesellschaftliche Herausforderungen dar (Tagliavini & Niedrist, 2023; Tappeiner et al., 2020). Aufgrund der zukünftig zu erwartenden Wasserknappheit ist in Südtirol eine langfristige gemeinsame Strategie zur Wasserspeicherung und -bewirtschaftung mit einer Anpassung gemäß dem Wassernutzungsplan (Carmignola, 2017) dringend erforderlich. Dafür ist es wichtig, für die verschiedenen Standorte und Kulturen den Wasserbedarf zu ermitteln, den Verbrauch sowie die Qualität zu überwachen, die Menge und Zeit der Wasserverfügbarkeit zu bestimmen sowie eine transparente Kommunikation und Sensibilisierung aller beteiligten Interessensgruppen voranzutreiben, um eventuelle Sparmaßnahmen festzulegen. Oft ist ein Umbau des genossenschaftlich betriebenen Bewässerungssystems notwendig, um eine flexible und effiziente Bewässerung zu ermöglichen. Das erfordert Fördermittel und Investitionen in wassersparende, datengestützte Verfahren, technische Beratung und Forschung über effiziente Bewässerungsmethoden.

Förderung der Biodiversität, Bodengesundheit und nachhaltigen landwirtschaftlichen Praktiken

Um die landwirtschaftliche Produktion klima-resilienter zu machen, sind Strategien und Maßnahmen zum Aufbau, Erhalt und zur Stabilisierung des Humus- und Nährstoffgehalts der Böden sowie zur Wiederherstellung der natürlichen Bodengesundheit und Bodenfunktionen erforderlich. Darüber hinaus sollten Strategien zum Schutz ökologisch wertvoller Agrarlandschaften, zur Förderung agrarökologischer Praktiken und zur Stärkung der Ökosystemfunktionen entwickelt und umgesetzt werden.

4.3.1 Grünlandwirtschaft und Tierhaltung

Ursachen für die Risiken

Lange Hitze- und Trockenperioden stören den Wasserhaushalt des Grünlands, mit direkten Auswirkungen auf das Wachstum und die Qualität der Futterpflanzen und die damit verbundenen Futtererträge. Sie beeinflussen und schädigen außerdem die Zusammensetzung der Grasnarbe, was bei großen Niederschlagsmengen und extremen Witterungsereignissen die Erosionsgefahr steigert (Elsässer, 2018). Die Folgen des Klimawandels erhöhen das Risiko in der Nutztierhaltung. Hitzestress beeinträchtigt die Thermoregulation der Tiere und wirkt sich negativ auf die Immunabwehr, die Futteraufnahme und die Milchleistung aus (BMEL, 2020). Der Klimawandel begünstigt zum Teil einen erhöhten Infektionsdruck sowie das Wiederauftreten und Verbreiten von Tierseuchen und neuer Pathogene (z.B. Blauzungenkrankheit) (BMEL, 2020; Europäische Kommission, 2009). Extremwetterereignisse wie Starkregen können zudem das Risiko von Arbeitsunfällen erhöhen.

Aktuelle Situation

Die längeren Vegetationsperioden zeigen in der Grünlandwirtschaft in höheren Lagen positive Auswirkungen auf die Produktion (Tappeiner et al., 2020). Die bewirtschaftete Grünlandfläche in Südtirol ist zwischen 2010 und 2020 um 24,4 % auf 160.102 Hektar zurückgegangen. 5,4 % oder 640 Grünlandbetriebe haben in den letzten zehn Jahren die Bewirtschaftung aufgegeben (ASTAT, 2023), insbesondere extensiv bewirtschaftete Flächen im Alm- und Berggebiet (Tappeiner et al., 2020). Dies wirkt sich sowohl

auf die ökologische Artenvielfalt, das ästhetische Landschaftsbild und sozio-kulturelle Funktionen von Grünland aus (Zoller & Bischof, 1980). Aufgrund länger anhaltender Trockenperioden spielt für die Grünlandwirtschaft die Bewässerung zunehmend eine zentrale Rolle. Von den etwa 216.000 Hektar Grünlandfläche (inkl. Acker- und Gemüseanbau) werden etwa 15 – 20 % bereits bewässert. Das entspricht einem Anteil von ca. 45 % des gesamtlandwirtschaftlichen Wasserbedarfs (Tappeiner et al., 2020).

Potenzielle Zukunftssituation

Die Bewässerung von Grünland hat sich in Trockenperioden zur Stabilisierung der Futtererträge bewährt und wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen (Peratoner & Thalheimer, 2022), vor allem dort, wo bisher Bewässerung kaum für notwendig erachtet wurde (z.B. Pustertal) (Tappeiner et al., 2020). Bewässerungszeitpunkt und -menge hängen von den Pflanzen- und Bodeneigenschaften (wie Wurzeltiefe, Feldkapazität, Steinanteil) sowie der Witterung ab und ermöglicht keine pauschale Angabe (Peratoner & Thalheimer, 2022). Durch die Verlängerung der Vegetationsperiode kann sich die Weidedauer verlängern. Vor diesem Hintergrund werden angepasste Besatzdichten und ein geeignetes Weidemanagement für eine optimale Biomassenutzung in Zukunft immer wichtiger. Der Rückgang der Grünlandflächen und die Notwendigkeit der Bewässerung erhöhen den wirtschaftlichen Druck auf den derzeitigen Tierbestand. Wird der Futterbedarf der zulässigen Großvieheinheiten pro Hektar nicht mehr durch das verfügbare Grundfutter gedeckt, kann dies zum Futterzukauf oder zur Zupacht von Grünlandflächen und damit zu steigenden Pachtpreisen führen. Technische Anpassungen in der Tierhaltung (Stall, Bewässerung, Reduzierung des Tierbestandes) und die Zunahme von Krankheiten können die Betriebe zusätzlich finanziell belasten.

Anpassungspotenzial

Um Konflikte und Knappheit zu vermeiden, muss das vorhandene Wasser effizient genutzt werden (→ siehe Kapitel „Governance“ und „Weiterentwicklung effizienter Bewässerungssysteme“). Für die kontinuierliche und genaue Beobachtung der Saugspannungsentwicklung im Boden mit Hilfe von Tensiometern stehen verschiedene technische Lösungen zur Verfügung (Peratoner & Thalheimer, 2022). Projekte wie "Smart Land" setzen Messsensoren im Obst- und Weinbau ein und erforschen deren Einsatz auch im Grünland (Peratoner & Thalheimer, 2022; Prünster, 2020). Indexbasierte Versicherungssysteme (Wetterindex) ergänzen gezielt Schadenersatzversicherungen (Bucheli et al., 2023) und können die wirtschaftlichen Folgen von Trockenheit für die Grünlandwirtschaft in den Alpen mildern (Castelli et al., 2023). Verschiedene Indizes und innovative Datenquellen sollten für bessere Versicherungssysteme weiterentwickelt werden (Bucheli et al., 2023). Darüber hinaus ermöglichen satelliten- und modellgestützte Bewertungsmethoden ein vorausschauendes Management der Wasserressourcen. Wichtig sind optimierte Futterpflanzen und Sorten innerhalb der Arten sowie die Entwicklung und Prüfung von Dauergrünlandsaatgutmischungen, die auch bei längeren Trockenperioden gute Erträge liefern (Stanzel, 2019). Eine höhere Schnitthöhe, eine optimale Schnitthäufigkeit und ein geeigneter Zeitpunkt für den Grünlandschnitt können sich als landbauliche Maßnahmen gegen Hitzestress und für den Erhalt der Artenvielfalt erweisen (Elsäßer, 2018). Darüber hinaus sind technische Anpassungen wie die Neuanlage und Modernisierung bestehender Bewässerungssysteme notwendig, um den Anteil bewässerbarer Flächen zu erhöhen. Die Entwicklung und finanzielle Förderung von Stalltechnologien (klimatisierte Ställe, Durchlüftungssysteme, Berieselungsanlagen) können die Tiere gegen Überhitzung und vor der Ausbreitung von Krankheitserregern schützen. In Zukunft wird es notwendig sein, die Auswahl der Tierassen an die zu erwartenden Klimaveränderungen und neu auftretenden Krankheitserreger anzupassen. Als positive Folge des Klimawandels wird eventuell ein früherer Alauftrieb zur optimalen Nutzung der Weideflächen möglich sein. Um die lokalen Produkte besser zu vermarkten, sollten Verbraucherinnen und Verbraucher sowie die Gastronomie sensibilisiert werden. Es bedarf einer Transformation hin zu einer emissions-reduzierten Ernährung, welche sowohl das Tierwohl als auch den Klimaschutz berücksichtigt. Somit werden Anreize für extensiv wirtschaftende Betriebe geschaffen, was potenziell die Motivation der jüngeren Generation erhöht, die Höfe ihrer Eltern weiterzuführen.

4.3.2 Dauerkulturen: Obst- und Weinbau

Ursachen für die Risiken

Im Obst- und Weinbau wirkt sich das Klima unmittelbar auf den Reifeverlauf, die Ertragsmenge und die Qualität aus (del Pozo et al., 2019). Höhere Durchschnittstemperaturen können neue Chancen für den Obst- und Weinbau in bisher ungeeigneten Lagen sowie für wärmebedürftigere Sorten und Kulturen bieten (Dijk van et al., 2020; Tscholl et al., 2024; Tscholl & Egarter Vigl, 2024). Im Obstbau kann ein Anstieg der Temperatur, der Hitzetage und Sonnenstunden zu erheblichen Qualitätseinbußen (Sonnenbrand) führen (Dijk van et al., 2020). Milde Luft- und Bodentemperaturen im Frühjahr können die Winterruhe (Dormanz) unterbrechen und eine frühzeitige Entwicklung fördern, wodurch das Risiko für Spätfrostschäden steigt und die Fruchtentwicklung beschleunigt sowie die Fruchthaut (Berostung), die Fruchtform und die Fruchtfleischfestigkeit (Lagerfähigkeit) beeinträchtigt werden. Ein schnellerer Reifeverlauf im Sommer/Herbst kann die Deckfarbe, den Zuckergehalt sowie den Säure- und den Fruchtfleischfestigkeitsabbau beeinflussen und somit die Haltbarkeit der Früchte reduzieren (Stainer, 2011). Temperaturerhöhungen verstärken die Evapotranspiration und steigern das Risiko für Trockenstress. Insbesondere flachwurzelnende Obstsorten (z.B. Äpfel, Heidelbeeren) sind vulnerabler als Tiefwurzler wie Weinreben (Dijk van et al., 2020). Auch im Weinbau ist der Reifeverlauf und das Verhältnis von Zuckereinlagerung zu Säureabbau (Geschmack und Alkoholgehalt) entscheidend für die Qualität des Endproduktes (Schmid, 2018). Wassermangel und Hitzestress können für den Wein so wichtige Aromastoffe zerstören und die Zellstruktur sowie Kompaktheit der Trauben für die Weinbereitung negativ beeinflussen. Extreme Starkregen- oder Hagelereignisse können die Früchte und ganze Anlagen beschädigen oder die Produktqualität mindern, was die Vermarktung erschwert (Dijk van et al., 2020). Der Einfluss der Klimaänderung (mildere Winter, höhere Durchschnittstemperaturen, Perioden mit anhaltenden Niederschlägen) kann sich, je nach Schadorganismus, positiv wie negativ auf das Auftreten und Ausbreiten etablierter und neuer Schadorganismen auswirken. Zusätzlich steigt das Risiko der Etablierung neuer Schadorganismen. Die Entwicklungsbiologie von etablierten Schadorganismen kann durch mildere und feuchtere Winter begünstigt werden (Dijk van et al., 2020; Stainer, 2011; Zebisch et al., 2018).

Aktuelle Situation

Derzeit beansprucht der Weinbau etwa 3,3 % des landwirtschaftlichen Wasserbedarfs (Versuchszentrum Laimburg, 2024). Laut wissenschaftlichen Erkenntnissen sind ca. 80 - 90 % der Rebanlagen mit Bewässerungsanlagen ausgestattet, meist handelt es sich dabei um Tropfbewässerung (100 l/m²). Im Obstbau werden nahezu 100 % der Fläche bewässert (300 l/m²), hinzu kommt der Wasserbedarf zum Frostschutz (150 l/m²) (Prünster, 2020; Tappeiner et al., 2020). Wissenschaftlichen Aussagen zufolge verfügen ca. 70 % der Apfelanlagen neben der Oberkronenberegnung mittlerweile auch über Tropfbewässerungsanlagen. Die im Obstbau insgesamt benötigte Wassermenge entsprach 2019 etwa 51,7 % des gesamten Wasserverbrauchs in der Landwirtschaft (Tappeiner et al., 2020). Die Daten der Wasserentnahme basieren auf den erteilten Wasserkonzessionen, wobei die tatsächlich verbrauchte Wassermenge nicht bekannt ist.

Die Apfelblüte hat sich bereits um ca. zwei Wochen seit 1975 vorverlagert (Niedrist et al., 2022), und die Ernte erfolgt laut wissenschaftlichen Beobachtungen ca. eine Woche früher im Jahr. Die Weinlese beginnt wie wissenschaftlich festgehalten mancherorts bereits einen Monat früher als noch vor 30 Jahren (Zebisch et al., 2018). 85 bis 90 % der Reifeverfrühung im Weinbau sind klimabedingt, die anderen 10 bis 15 % sind auf gezielte Ertragsreduzierungen aus Qualitätsgründen zurückzuführen. Wissenschaftlichen Einschätzungen zufolge konnten bis heute die Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf die Qualität durch Anpassungsmaßnahmen im Weinanbau (reduzierte Entblätterung, Bewässerung, frühere Lese, Sortenanpassung, etc.) oder Maßnahmen beim Weinausbau (Aufsäuerung, Kühlung, etc.) weitgehend kompensiert werden.

Spätfröste im Obst- und Weinbau treten fast jedes Jahr in unterschiedlichem Ausmaß auf. Insbesondere in Europa kam es zwischen 1982 und 2012 zu einer deutlichen Zunahme an Frosttagen im Frühjahr (Liu et al., 2018). Bis auf das Jahr 2017 sind im Weinbau Schäden durch Spätfrost noch sehr gering. Der milde Winter 2024 und die nachfolgenden Kaltluftfronten haben nur knapp größere Frostschäden im Weinbau verhindert. Der Apfel ist aufgrund seiner früheren Entwicklung anfälliger sowohl für Spätfrostschäden als auch gegenüber Hitzestress (Flachwurzler). Die Anzahl der Sonnenstunden hat in den Jahren

von 1995 bis 2005 bereits um 25 % zugenommen, was zu Fruchtschäden (Sonnenbrand) führen kann. Agronomische und technische Maßnahmen (Bewässerung, Frostschutz, Hagelschutznetze, auch gegen Sonnenbrand) können diese Effekte abmildern (Zebisch et al., 2018) und sind im Obstbau bereits großflächig Standard. Die Ernte mit qualitativen Einbußen (Lagerfähigkeit, Geschmack, Optik) wird weiterverarbeitet. Für den Zeitraum 1950-2021 zeigen Monitorings eine erhebliche Zunahme von Blitzen und Hagel in den meisten Teilen Europas. Die stärkste Hagelzunahme findet in der Po-Ebene in Norditalien statt. Trends gehen hier mit einer dreimal so hohen Wahrscheinlichkeit von sehr großem Hagel aus wie noch in den 1950er Jahren (Battaglioli et al., 2023). Die Intensität einzelner Hagelereignisse hat in den letzten Jahren zugenommen, punktuell haben Extremhagelereignisse im Jahr 2023 zu enormen Schäden geführt (z.B. Tisens, Nals, Natz-Schabs). Eine flächendeckende Zunahme der Hagelschäden ist jedoch nicht erkennbar (Hagelschutzkonsortium, 2024). Der aktive Schutz durch Technik kann bei prognostizierter steigender Intensität (Hagel, Spätfrost insbesondere in hohen Lagen) an Wirksamkeit verlieren, beispielsweise hielten 2023 im Sarntal die Hagelschutznetze dem starken Hagel teils nicht mehr stand. Die Möglichkeiten für einen Passivschutz durch Versicherungen werden dadurch schwieriger. Neben dem zunehmenden Druck durch etablierte Phytopathogene und Schaderreger (Falscher und Echter Mehltau, Trauben-/Apfelwickler), bedrohen neue und teilweise invasive Schadorganismen den Obst- und Weinbau (z.B. Baumwanze, Kirschessig-, Walnuss-, Kirschfruchtfliege, Glomerella Leaf Spot, etc.). Hitzestress schwächt die meisten Kulturpflanzen und macht sie anfälliger für Schadorganismen (Zebisch et al., 2018) und führen laut wissenschaftlichen Einschätzungen zu einem lokal verstärkten Auftreten. Um das Risiko sinkender Erträge oder qualitativer Ernteeinbußen durch den Klimawandel zu minimieren, werden in der Sortenzüchtung Sorten mit Eigenschaften für eine entsprechende Standortanpassung, sowie Resistenz/Toleranz gegenüber Schadorganismen erforscht. Die höheren Temperaturen führten sowohl im Obst- als auch Weinbau bereits zu einer Verschiebung der Anbauggebiete in immer höhere Lagen (Tscholl, 2019). Apfelkulturen werden mittlerweile bis auf 1.000 Meter angebaut, der Weinbau in Gunstlagen bis ca. 1.200 Meter (Zebisch et al., 2018).

Potenzielle Zukunftssituation

Für die Zukunft werden zunehmende Witterungsextreme und veränderte agroklimatische Bedingungen erwartet, die sich auf den Reifeverlauf und den Hitzestress auswirken (Tappeiner et al., 2020; Trnka et al., 2011). In höheren Lagen ab 800 Metern könnte das Spätfrostisiko zunehmen, was wissenschaftlichen Einschätzungen zufolge auch den Versicherungsschutz erschweren könnte. Mit Temperaturen ab 40°C sind zunehmende Qualitätsverluste zu erwarten, sowie weitreichende Änderungen der Anbausysteme und Anbaumaßnahmen (z.B. Beschattungsfolien). Durch den Klimawandel ergibt sich das klimatische Potential zur Verschiebung des Weinbaus in höhere Lagen, wobei eine möglicherweise eingeschränkte Wasserverfügbarkeit berücksichtigt werden muss. Ebenso ergibt sich ein klimatisches Potential für eine Verschiebung von Weiß- zu Rotweinsorten sowie spätreifende Sorten (Moriondo et al., 2013; Tscholl & Egarter Vigl, 2024). Im Obstbau könnte es in tieferen Lagen zunehmend schwieriger werden, eine hohe Fruchtqualität zu gewährleisten, was eine Umstellung auf andere Sorten oder Pflanzen zur Folge haben kann (Zebisch et al., 2018). Bei anhaltend trockenem Witterungsverlauf in den Winter- und Frühjahrsmonaten könnte ein teilweise früherer Start der Bewässerung erforderlich werden, da Wassermangel, vor allem nach Reifebeginn, besonders qualitätsschädigend ist. Steigende Temperaturen erfordern eine zusätzliche Bewässerung. Der Ausbau der zusätzlichen Tröpfchenbewässerung wird laut Einschätzung aufgrund von Finanzierungen bis 2030 90–100 % erreicht haben. Ferner ist davon auszugehen, dass die Klimaerwärmung das Risiko etablierter sowie invasiver Schadorganismen weiter begünstigt (Skendžić et al., 2021; Tappeiner et al., 2020).

Anpassungspotenzial

Derzeit gibt es verschiedene Versuche, Wasser einzusparen: z.B. Regulated Deficit Irrigation (RDI), Versuche zur Bewässerung der halben Wurzelzone (Partial Rootzone Drying, PRD) oder die gezielte Ermittlung des Bewässerungsbedarfs und effiziente Bewässerung, wie im Projekt "Smart Land", welches Messsensoren im Obst- und Weinbau einsetzt (Prünster, 2020). Für eine angepasste Bewirtschaftung der Dauerkulturen ist es wichtig, zur Auswahl geeigneter Standorte zu forschen, sowie zu angepassten Sorten und Kulturen, um zur Ernährungs- und Ertragssicherung unter veränderten klimatischen Bedingungen beitragen zu können. Welche Sorten sich letztlich durchsetzen werden, hängt nicht nur von der

Züchtung ab, sondern auch von der Notwendigkeit, ressourcenschonendere Produkte auf den Markt zu bringen. Im Weinbau werden zwar pilzresistente Sorten gezüchtet, aber es bestehen noch Schwierigkeiten bei der Vermarktung, der Qualität und der Resistenz.

Forschungsbedarf besteht noch bei agronomischen Standardmaßnahmen, wie beispielsweise der maßvollen Entlaubung, sowie bei der Anpassung an veränderte Klimabedingungen. Technische Anpassungen wie Hagelschutz- und Insektenschutznetze werden immer wichtiger, um Ernteschäden und Schadorganismen zu bekämpfen. Als alternative Schädlingsbekämpfung werden Nützlinge wie die „Samurai-Wespe“ gegen die „Marmorierte Baumwanze“ eingesetzt. Die sachgerechten Dünge- bzw. Pflanzenschutzempfehlungen basierend auf Boden- und Wetterdaten werden bereits in der Praxis angewandt und sollten weiter ausgebaut werden. Zudem ist es wichtig, weiterhin umweltverträgliche Pflanzenschutzmaßnahmen gegen etablierte und invasive Schaderreger zu erforschen.

Der Einsatz von elektrisch angetriebenen, autonom fahrenden Kleingeräten zur Bodenpflege und zum Pflanzenschutz leisten einen emissionsparenden Beitrag. So lange dort noch keine E-Traktoren zur Verfügung stehen, sind im Obst- und Weinbau konkrete Übergangslösungen wie hydriertes Pflanzenöl (HVO, Pflanzenöle, Biodiesel etc. erforderlich. Forschung und Ausbildungen müssen verstärkt auf Klimaanpassung ausgerichtet werden, um den Wissenstransfer zwischen Forschung, Praxis und Beratungseinrichtungen zu schaffen.

4.3.3 Ackerbau und Sonderkulturen

Ursachen für die Risiken

Durch den Temperaturanstieg kann das Ertragspotenzial vieler Ackerkulturen bei ausreichender Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit verbessert werden. Ebenso können die Auswirkungen auf Schadorganismen positiv wie negativ sein (BAFU, 2013). Veränderte Jahreswetterverläufe (Frühjahrsstrockenheit, feuchte Frühjahre, Hagel, Sturm, lange Hitze- und Trockenperioden, etc.) erhöhen die Unsicherheit bei Anbau-, Ernteterminen und Entwicklungsverläufen und machen zusätzliche Bewässerung immer notwendiger. Hitzestress kann zu Wachstumseinbrüchen, Blütenabwurf und Wassermangel führen. Starkniederschläge erhöhen das Risiko von Auswaschung und Bodenerosion in vegetationsarmen Zeiten und nach langen Trockenphasen (BAFU, 2013). Auch Schutzeinrichtungen (Vliese, Netze, Folientunnel) können durch Extremwetterereignisse beschädigt oder zerstört werden. Robustere Arten wie Blumenkohl sind weniger anfällig als Fruchtgemüse (Tomate, Melanzane). Besonders kurz vor der Ernte ist das Risiko, zu Boden gedrückt zu werden, bei Getreide am höchsten.

Aktuelle Situation

Derzeit beträgt der Ackerbau in Südtirol, einschließlich der als Ackerfutterbau genutzten Wiesen, Flächen für Futtermais, Getreide und Gemüse, ca. 8,3 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (16.927 ha). Verglichen mit 2010 verzeichnet dieser Sektor einen Zuwachs um ca. 6,6 % (ASTAT, 2020). Dieser Zuwachs ergibt sich wissenschaftlichen Meinungen zufolge aus der Zunahme des Ackerfutterbaus in Grenzlagen, welcher durch verbesserte Sortenzüchtungen mit zufriedenstellenden Erträgen möglich wurde. Der Getreide- und Feldgemüseanbau nahm über die letzten Jahre leicht zu. Der Gemüseanbau zeichnet sich in Südtirol durch zwei Hauptstrukturen aus. Größere, auf weniger Kulturen spezialisierte Betriebe machen den flächenmäßig größten Anteil aus. Der Vertrieb ist meist genossenschaftlich organisiert. Ein kleinerer Anteil besteht aus oft direktvermarktenden Betrieben mit höherer Kulturvielfalt. Wissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge profitiert dieser Sektor in Südtirol von höheren Temperaturen, die Chancen für den Anbau zusätzlicher Sonderkulturen, Kräutern, etc. auch in Grenzlagen bieten. Bewässerung im Ackerbau findet derzeit nicht oder nur vereinzelt statt. Je nach Kultur benötigt der Gemüseanbau Bewässerung. Extreme Hitze- und lange Trockenzeiten stellen laut Südtiroler Expertinnen und Experten die größte Herausforderung im Acker-/Gemüsebau dar, besonders in Regionen wie dem Vinschgau und dem Raum Bozen. Zum Schutz vor Hitzestress wurden vereinzelt Folientunnel beschattet. Der Ackerfutterbau wird in der Regel nicht bewässert. Lange Trockenperioden jedoch belasten den Mais, vor allem während der Blüte, wenn der Wasserbedarf am höchsten ist (Mairhofer & Figl, 2023). Im Kartoffelanbau beeinträchtigen veränderte Witterungsverläufe die Aussaat, ein gleichmäßiges Wachstum und verstärkten zum Teil den Pilzbefall. Signifikante Qualitätsmängel und Ertragseinbußen konnten

jedoch bisher nicht festgestellt werden. Beim Getreide entstanden zum Teil starke Qualitätsprobleme aufgrund von Liege- (Wind und starker Regen) und Auswuchsschäden (viel Regen vor und während der Ernte). Starke Stürme ließen die Folientunnel im Raum Bozen umkippen. Punktuelle Hagelereignisse haben die Kulturen stark geschädigt, aber großflächige Schäden sind bisher ausgeblieben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf den meisten Flächen robustere Kulturen (bspw. Blumenkohl) angebaut wird, während Betriebe mit einer breiteren und empfindlicheren Kulturvielfalt (bspw. Salat, Tomaten) einem deutlich höheren Risiko ausgesetzt sind. Ein Versicherungsschutz für eine Vielzahl von Kulturen, der vor Schäden durch Extremwetterereignisse schützt, erweist sich derzeit aufgrund komplexer Bewertung und des hohen bürokratischen Aufwands als schwierig. Wärmere (Boden-)Temperaturen erhöhen den lokalen Schädlingsdruck, insbesondere bei bekannten Schädlingen wie Kohlschwärze, Kraut- und Braunfäule.

Potenzielle Zukunftssituation

Trockenphasen können zunehmend zu zusätzlichem Bewässerungsbedarf führen. Aufgrund von Mengen- und zeitlich begrenzter Verfügbarkeit erwägen Gemüsebetriebe Recycling- und Wiederaufbereitungssysteme für Wasser. Mit einer angepassten Nährstoff- und Wasserversorgung können Pflanzenschutzmaßnahmen unterstützt werden, wie z.B. keine Bewässerung am Abend, um das Wachstum von Pilzen und Schimmel zu verhindern. Insgesamt wird sich mit dem Klimawandel die Unsicherheit bei Aussaat- und Ernteterminen, Entwicklungsverlauf und Standorteignung erhöhen. Daher werden Anbauberatungen mit aktuellem Wissen benötigt. Bei Wintergetreide können milde Winter den Entwicklungsverlauf beschleunigen und das Überwintern negativ beeinflussen. Da mit einem tendenziellen Rückgang der Schneemenge/Dauer der Schneedecke in den kommenden Jahren gerechnet wird, kann sich das eventuell positiv auf Pilzkrankheiten (z.B. Schneeschimmel) auswirken. Extremwetterereignisse werden tendenziell weiter zunehmen und können Ernten beschädigen. Der Anbau neuer Kulturen und in zusätzlichen Lagen wird weiter zunehmen.

Anpassungspotenzial

Speziell im Gemüse- und Ackerbau wird die Bewässerung von bisher kaum bewässerten Kulturen und in Grenzlagen zunehmen. Weitere Forschung ist notwendig, um geeignete Pflanzen zu finden, die eine hohe Ertragssicherheit und Qualität garantieren, trotz sich ändernder Bedingungen. Dabei steht die Züchtung klimaangepasster Sorten, Pflanzenarten, und Saatgutmischungen, die resistenter gegenüber klimawandelbedingten Herausforderungen (Hitze, Trockenheit, Krankheiten oder Schadorganismen) im Vordergrund. Notwendig ist auch, neue Absatzmärkte für klimaangepasste Sorten zu erschließen und Anbauberatung anzubieten. Durch Diversifizierung des Anbaus und Sorten mit unterschiedlichen Reife- und Aussaatterminen, kann das Risiko gemindert werden. Natürliche Gegenspieler und Nützlinge sowie veränderte Fruchtfolgen (z. B. beim Maiswurzelbohrer) können den Schädlingsbefall eindämmen oder bekämpfen. Für Betriebe mit einer hohen Kulturvielfalt sollte der Versicherungsschutz erleichtert werden. Zur Wiederherstellung der Bodengesundheit sind Maßnahmen und Strategien zur nachhaltigen Entwicklung, Anreicherung und Stabilisierung der Ressource Boden von entscheidender Bedeutung. Das ist auch im Hinblick auf die verstärkte Wasserspeicherung des Bodens von großer Bedeutung. Den Anbau von Leguminosen zur natürlichen Stickstoffanreicherung anstelle von Mineraldüngern zu fördern kann darüber hinaus als Maßnahme zur Emissionsreduktion ergriffen werden. Darüber hinaus wird das Veredelungspotenzial von Leguminosen untersucht, das zur Anbaudiversifizierung und zur Deckung des steigenden Bedarfs an pflanzlichem Eiweiß beitragen könnte. Wissenstransfer und Weiterbildung sind von entscheidender Bedeutung. Neue praxistaugliche und erprobte Managementmethoden für Unternehmen sind erforderlich. Die Ausbildung an Fachhochschulen, Hochschulen und Universitäten muss stärker auf mögliche Klimaänderungen und Klimaanpassung ausgerichtet werden, um junge Menschen für diese Herausforderungen zu sensibilisieren.

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Risiko des Verlusts der Futtererträge in Grünlandgebieten aufgrund von Wetterextremereignissen, Temperaturanstieg und Trockenheit
- Risiko von Hitzestress in der Tierhaltung und Ertragseinbußen in der Milchwirtschaft aufgrund steigender Temperaturen
- Risiko geringerer Ertragssicherheit und Qualitätseinbußen bei Dauerkulturen durch klimatische Veränderungen und Extremwetterereignisse (höhere Temperaturen, Dürre, Hitzewellen, Hagel) durch nicht-effektive und kostenintensive Schutzmaßnahmen
- Risiko des erhöhten Auftretens etablierter Schadorganismen sowie der Ausbreitung invasiver Schadorganismen und die Veränderung der Biologie der Schadorganismen aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen
- Risiko sinkender Erträge, qualitativer Ernteeinbußen und Erntestabilität im Acker- und Gemüsebau aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen
- Risiko erhöhter Produktionskosten infolge aktiver Schutzmaßnahmen und Anpassungen aufgrund klimatischer Veränderungen

Literatur

- ASTAT, 2020. 7. Allgemeine Landwirtschaftszählung – 2020. Landesinstitut für Statistik. Autonome Provinz Bozen - Südtirol.
- BAFU, 2013. Faktenblatt zur Strategie des Bundesrates «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz». Anpassung an den Klimawandel: Sektor Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Klima.
- Battaglioli, F., Groenemeijer, P., Púčik, T., Taszarek, M., Ulbrich, U., Rust, H., 2023. Modeled Multidecadal Trends of Lightning and (Very) Large Hail in Europe and North America (1950–2021). J. Appl. Meteorol. Climatol. 62, 1627–1653. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-22-0195.1>
- BMEL, 2020. Dem Wandeln begegnen. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Berlin.
- Bucheli, J., Conrad, N., Wimmer, S., Dalhaus, T., Finger, R., 2023. Weather insurance in European crop and horticulture production. Clim. Risk Manag. 41, 100525. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100525>
- Carmignola, G., 2017. Gesamtplan für die Nutzung der öffentlichen Gewässer für die Autonome Provinz Bozen. Autonome Provinz Bozen - Südtirol.
- Castelli, M., Peratoner, G., Pasolli, L., Molisse, G., Dovas, A., Sicher, G., Crespi, A., Rossi, M., Alasawedah, M.H., Soini, E., Monsorno, R., Notarnicola, C., 2023. Insuring Alpine Grasslands against Drought-Related Yield Losses Using Sentinel-2 Satellite Data. Remote Sens. 15, 3542. <https://doi.org/10.3390/rs15143542>
- del Pozo, A., Brunel-Saldias, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G.A., Jara-Rojas, R., Molina-Montenegro, M.A., 2019. Climate Change Impacts and Adaptation Strategies of Agriculture in Mediterranean-Climate Regions (MCRs). Sustainability 11, 2769. <https://doi.org/10.3390/su11102769>
- Dijk van, S., Wippel, B., Weinreich, A., 2020. Landschaft im Klimawandel - neue Nutz- und Schutzkonzepte für den Naturpark Südschwarzwald. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg.
- Elsässer, M., 2018. Trockenheit und Hitzestress lassen Graserträge schrumpfen.
- Europäische Kommission, 2009. Viehbestand durch Klimawandel in ernsthafter Gefahr [WWW Document]. URL <https://cordis.europa.eu/article/id/30723-livestock-face-climate-change-quagmire/de> (accessed 9.8.23).
- Liu, Q., Piao, S., Janssens, I.A., Fu, Y., Peng, S., Lian, X., Ciais, P., Myneni, R.B., Peñuelas, J., Wang, T., 2018. Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. Nat. Commun. 9, 426. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02690-y>
- Mairhofer, F., Figl, U., 2023. Trockenheit setzt Mais zu. Südtiroler Landwirt 77(5), 53–54.
- MASE, 2023. PNACC. Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica.

- Moriondo, M., Jones, G.V., Bois, B., Dibari, C., Ferrise, R., Trombi, G., Bindi, M., 2013. Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Clim. Change* 119, 825–839. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0739-y>
- Niedrist, G., Zebisch, M., Crespi, A., Iacopino, T., Fritsch, U., Baradun, M., Bertoldi, G., Bottarin, R., Hoffmann, C., Jacob, A., Marin, C., Mariz, C., Notarnicola, C., Obojes, N., Premier, V., Renner, K., Sparber, W., Vaccaro, R., Ventura, B., 2022. Climate Change Monitoring South Tyrol (Data in Action). Eurac Research, Bolzano/Bozen.
- Peratoner, G., Thalheimer, M. (Eds.), 2022. Erfahrungen zur Bewässerung von Grünland im Alpenraum. In: HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Hg.): 22. Alpenländisches Expertenforum - Trockenheit als neue Herausforderung der Grünlandbewirtschaftung. Irdning-Donnersbachtal: HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 39–42. Presented at the Alpenländisches Expertenforum, HBLFA, Irdning-Donnersbachtal.
- Prünster, T., 2020. Bewässerung der Berglandwirtschaft in Südtirol [WWW Document]. URL https://raumberg-gumpenstein.at/downloads/Tagungen/Viehwirtschaftstagung/Viehwirtschaftstagung%202020/1v_2020_pruenster.pdf (accessed 10.31.23).
- Schmid, A., 2018. Projekt REBECKA - Weinbau in einem sich wandelnden Klima. *Obstbau Weinbau - Fachmag. Südtiroler Beratungsrings* Vol.55(9), pp.5-9 2018.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V., Lemić, D., 2021. The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects* 12, 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Stainer, R., 2011. Klimawandel und Auswirkungen auf den Südtiroler Obstbau. *Obstbau*Weinbau* 13–16.
- Stanzel, K., 2019. Stall oder Weide?: Wie sich Milchkühe entscheiden, wenn sie die Wahl haben. *Grünlandzentrum Niedersachsen Bremen e. V.*
- Tagliavini, M., Niedrist, G., 2023. Crossroads. *EURAC Res.*
- Tappeiner, U., Marsoner, T., Niedrist, G., 2020. Landwirtschaftsreport zur Nachhaltigkeit Südtirol. Eurac Research, Bozen, Italien.
- Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias, A., Orlandini, S., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Balek, J., Eckersten, H., Cloppet, E., Calanca, P., Gobin, A., Vučetić, V., Nejedlik, P., Kumar, S., Lalic, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, V., Semerádová, D., Žalud, Z., 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change: AGROCLIMATIC CONDITIONS IN EUROPE UNDER CC. *Glob. Change Biol.* 17, 2298–2318. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x>
- Tscholl, S. et al, 2019. Die geländeklimatische Standortbewertung von Weinbauflächen in Südtirol (Technical Report), Laimburg Journal. Laimburg.
- Tscholl, S., Candiago, S., Marsoner, T., Fraga, H., Giupponi, C., Egarter Vigl, L., 2024. Climate resilience of European wine regions. *Nat. Commun.* 15, 6254. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50549-w>
- Tscholl, S., Egarter Vigl, L., 2024. The changing geography of wine climates and its implications on adaptation in the Italian Alps. *Clim. Resil. Sustain.* 3, e70000. <https://doi.org/10.1002/cli2.70000>
- Versuchszentrum Laimburg, 2024. Beginn der Vollblüte des Apfels - Climate Change Monitoring South Tyrol [WWW Document]. EURAC Res. URL <https://www.eurac.edu/de/data-in-action/klimawandel-monitoring/beginn-der-vollbluete-des-apfels> (accessed 7.17.24).
- Weigel, H.-J., 2011. Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. In G.Rahmann & Schumacher, Ulrich (Hrsg.), *Praxis trifft Forschung Neues aus dem Ökologischen Ackerbau und der Ökologischen Tierhaltung 2011*. Braunschweig: vTI [WWW Document]. URL https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn049422.pdf (accessed 3.22.24).
- WIFO, 2021. Economy in Figure - Die Südtiroler Wirtschaft - aktuelle Daten, Indikatoren und Entwicklung.
- Zebisch, M., Vaccaro, R., Niedrist, G., Schneiderbauer, S., Streifeneder, T., Weiß, M.L., Troi, A., Renner, K., Pedoth, L., Baumgartner, B., Bergonzi, V., 2018. Klimareport Südtirol 2018. Bozen: Eurac Research, Bozen.
- Zoller, H., Bischof, N., 1980. *Stufen der Kultrintensität und ihr Einfluss auf Artenzahl und Artengefüge der Vegetation*. Basel.

4.4 Forstwirtschaft

Autoren: Christian Hoffmann, Felix Thaler, Nikolaus Obojes

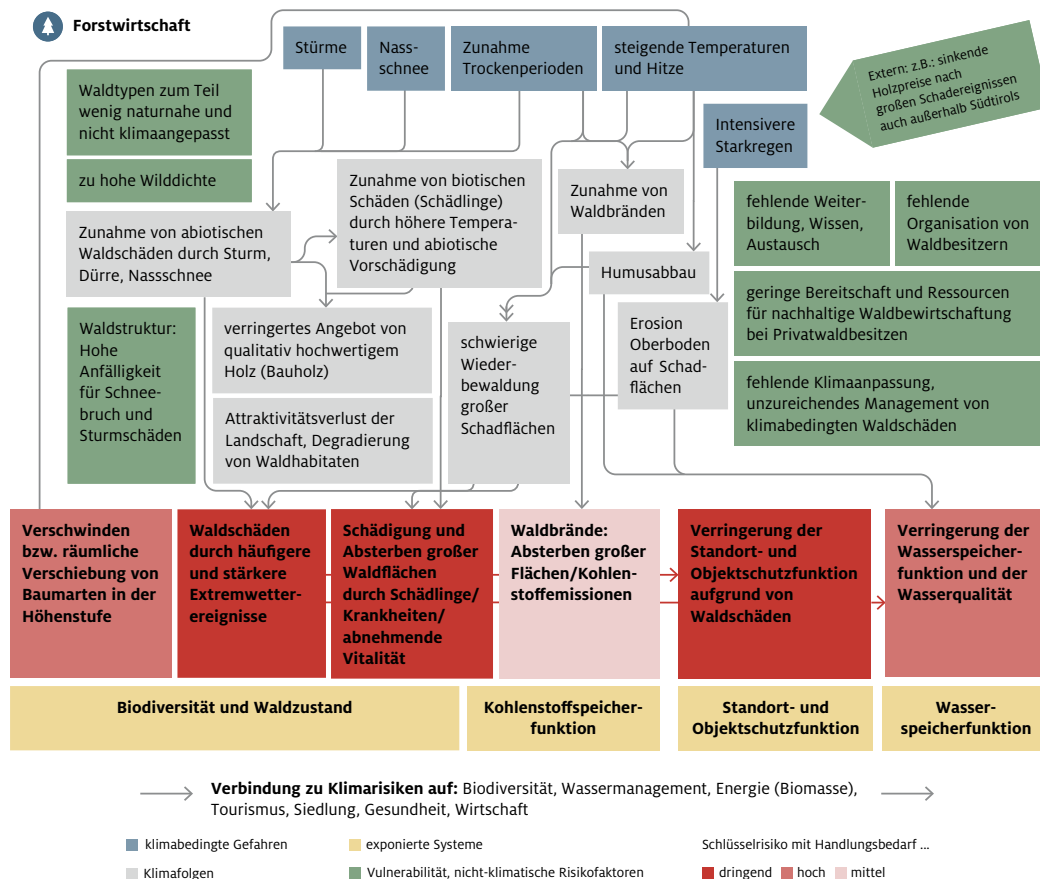


Abbildung 18: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität des Forstwirtschaftssektors

Einleitung

Südtirol ist zu einem großen Teil mit Wald bedeckt (Autonome Provinz Bozen, 2023a), wobei die Fichte die vorherrschende Baumart ist. Der Großteil der Wälder befindet sich in Privatbesitz. Viele Eigentümerinnen und Eigentümer bewirtschaften aber weniger als fünf Hektar (Autonome Provinz Bozen, 2023b). Neben ihrer wirtschaftlichen Nutzung erfüllen die Wälder wichtige Funktionen für das Gemeinwohl, den Erhalt der biologischen Vielfalt, die Reinigung von Wasser und Luft und die Schaffung von Naturerlebnisräumen. Für die Gesellschaft besonders wichtig ist die Schutzfunktion der Wälder. Aufgrund der topografischen Standortbedingungen liegt der Schutzwaldanteil in Südtirol bei 58 % (Autonome Provinz Bozen, 2023b). Diese Wälder schützen Gebäude und Infrastruktureinrichtungen gegen Naturgefahren wie Lawinen, Steinschlag und Hangrutschungen. Da Wälder von allen terrestrischen Ökosystemen das meiste CO₂ sequestrieren, kommt ihnen aber auch im Kampf gegen den Klimawandel eine wichtige Rolle zu. Und obwohl Waldökosysteme infolge der Klimaänderung vermehrt an biotischen und abiotischen Schäden leiden, wird beim Klimaschutz stark auf die Sinkkapazitäten unserer Wälder gesetzt.

4.4.1 Abiotische Schäden

Ursachen für die Risiken

Der Zustand des Waldes ist entscheidend für die Anfälligkeit gegenüber Unwetterschäden. Ein wichtiger Parameter, der das Windwurfrisiko vor allem in einschichtigen Beständen und bei Fehlen eines schützenden Waldrandes deutlich erhöht, ist ein Verhältnis von der Baumhöhe zum Baumdurchmesser von 80 oder weniger. Wärmere Temperaturen im Winter beeinflussen die Schneezusammensetzung und können zu schwerem und nassem Schnee führen, der an Nadeln und bereits frisch ausgetriebenen Laubbaumkronen haften bleibt und bei breitkronigen Bäumen mit ungünstigem Höhen-Durchmesser-Verhältnis zu Schneebruch führen kann. Im Gegensatz zu Sturmschäden treten Schneebrüche lokal und kleinräumig auf, was die Aufarbeitung des Schadholzes entsprechend erschwert.

Aktuelle Situation

Auch in der Südtiroler Forstwirtschaft haben rasch aufeinander folgende Schadereignisse eine noch nie dagewesene Krise ausgelöst. Den Anfang kennzeichnet der Sturm „Vaia“ im Jahr 2018, bei dem rund 1,5 Millionen Festmeter Holz geworfen wurden. Rund 6.000 Hektar Wald waren von „Vaia“ betroffen. Das entspricht 1,7 % der gesamten Waldfläche Südtirols. Die Schadholzmenge überstieg den normalen jährlichen Hiebsatz um nahezu das Dreifache (Niedrist *et al.*, 2022). Hinzu kamen in den Folgejahren die Schneedruckschäden nach Nassschneee Ereignissen vor allem im Pustertal (Autonome Provinz Bozen, 2023a). Mit dem Anstieg der Schadholzmengen am Holzmarkt gingen auch die Preise für Rundholz signifikant zurück. Die geringe Rentabilität, kaum noch positive Deckungsbeiträge und der immer größere Anteil an waldfernen Eigentümerinnen und Eigentümern führen dann möglicherweise dazu, dass jene, die Wald besitzen, in Zukunft resignieren, Schadholz nicht mehr aufarbeiten und vielleicht auch keine normalen Holznutzungen mehr durchführen. Dies hätte entsprechend negative Folgen auf die Waldgesinnung und die Flächenverantwortung, Wälder nachhaltig zu bewirtschaften. Neben der zunehmenden Häufigkeit von Sturm- und Schneebruchereignissen hat aber auch das Ausbleiben von Niederschlägen gravierende Folgen für den Wald. Wassermangel und Trockenheit schwächen die Bäume und führen zu Trockenschäden. Sind die Schäden so stark, dass die Kronen licht werden, die Blätter oder Nadeln welken und das Wachstum fast zum Erliegen kommt, spricht man von Dürrlingen.

Potenzielle Zukunftssituation

Beim Klimaschutz kommt dem Ökosystem Wald und seinem Potenzial, Kohlenstoff zu speichern, eine zentrale Rolle zu. Dies ist jedoch nur realistisch möglich, wenn die Wälder durch nachhaltige Nutzungseingriffe nach einem Struktur- und Altersverteilungskonzept zu einem Dauerwaldmodell erzogen werden, das sie gegenüber möglichen Schadereignissen widerstandsfähiger macht. Obwohl der derzeitige Wissensstand über das Klimarisiko für Wälder in Mittel- und Westeuropa noch sehr unsicher ist, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die klimabedingten Waldschäden in Zukunft zunehmen werden (Anderegg *et al.*, 2022), was an eine Abnahme des gespeicherten Kohlenstoffs und eine Veränderung der heute prägenden Arten gekoppelt sein könnte (Mette, Brandl & Kölling, 2021).

Anpassungspotenzial

Regelmäßige waldbauliche Eingriffe und Pflegemaßnahmen sind also für die Stabilität der Bestandsstruktur von entscheidender Bedeutung. Der Aufbau vertikal strukturierter Mischbestände kann das Schadensrisiko (Vulnerabilität) verringern und die Anpassungsfähigkeit (Resilienz) an sich ändernde Klimabedingungen verbessern. Dennoch verbleiben Restrisiken durch Witterungsextreme und Schädlingsschäden: Die Kleinstrukturiertheit des Waldbesitzes und die teilweise fehlende Erschließung der Waldstandorte können erschwerend auf die Umsetzung entsprechender Behandlungsmaßnahmen wirken. Auch die als standortgerechte Altbestände identifizierten Samenbäume sind von Kalamitäten nicht ausgenommen. Um ausreichend Saatgut für eventuelle Aufforstungsmaßnahmen zu sichern, wird empfohlen, die Bestände von Samenbäumen breiter zu diversifizieren. Aber auch wenn mehr Klarheit darüber herrschen sollte, welche Baumarten an den Klimawandel angepasst sein werden, besteht dennoch die Gefahr, dass deren Potenzial aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus nicht genutzt wird. Diese wirtschaftlich getriebene Fehleinschätzung würde sich negativ auf die Vielfalt der Wälder und deren Funktionen auswirken. Aus dem Grund ist es so wichtig, alle, die Wald besitzen, über die Dynamik

des Klimawandels zu informieren und für die Herausforderungen zu sensibilisieren. Um negative Auswirkungen auf die Wiederbewaldung und Waldumbaumaßnahmen zu minimieren, ist die Einbindung der Jägerschaft in die Wildregulierung ebenso wichtig wie die Aufklärungsarbeit bei allen anderen sektörübergreifenden Akteuren (Tourismus, Erholungssuchende, Landwirtschaft, Umweltschutz, etc.), damit sie die Folgen ihres Tuns auf die Dynamiken des Ökosystems Wald besser einschätzen. Mit der abnehmenden Kultur Wald zu bewirtschaften (fehlende Waldgesinnung) nimmt die Zahl der "waldfernen" Eigentümerinnen und Eigentümer zu und damit die forstliche Flächenverantwortung weiter ab. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen braucht es bei den rechtlich verbindlichen Bürokratievorgaben Ausnahmebestimmungen für kleinstrukturierten Waldbesitz. Allerdings sind sich die lokalen und regionalen Forstbehörden oft nicht bewusst, wie wichtig es wäre, ihre Erfahrungen und Expertise in den europäischen Beteiligungsprozess zur Ausarbeitung forstlicher EU-Bestimmungen einzubringen, um einem Unverständnis entgegenzuwirken, wenn es um die praktische Umsetzung der Bestimmungen geht.

4.4.2 Biodiversität und Verschiebung der Waldtypen

Ursachen für die Risiken

Die zunehmende Klimaerwärmung setzt die heimischen Baumarten unter Druck und zwingt sie, sich an die veränderten Umweltbedingungen anzupassen. Dies könnte in Südtirol zu einer Verschiebung der Baumartenkonstellation und deren Verteilung auf die Höhenstufen führen, da die einzelnen Arten unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren. Baumarten aus den tieferen, kollinen Lagen werden im Höhenprofil nach oben abwandern. Und sie ersetzen dann dort die eher kälteangepassten Nadelbaumarten, die sich in noch größere Höhenlagen zurückziehen oder verschwinden werden. Die Anpassungsgeschwindigkeit der Arten ist jedoch begrenzt. Der momentane Geschwindigkeitsverlauf des Klimawandels ist aber nicht kongruent mit der ökologischen Anpassungsgeschwindigkeit von Ökosystemen. Gekoppelt an die Stresssituation einzelner Baumarten, die sich bereits am Rande ihrer ökologischen Amplitude befinden, eröffnen sich für Schadinsekten wie Borkenkäfer, Rüsselkäfer, Maikäfer, Prozessions- oder Schwammspinner, aber auch die Nonne und den Frostspanner, optimale Bedingungen, um sich exponentiell zu vermehren. Daraus entstehende Insekten-Kalamitäten können schließlich ganze Waldbestände zum Absterben bringen.

Aktuelle Situation

Das Teilsystem Wald im Kapitel "Biodiversität" bietet detaillierte Informationen zur Biodiversität im Südtiroler Wald. Trotz des großen Waldanteils von 50,3 % gibt es vor allem in den Tallagen seltene Baumarten und Waldtypen, die sich bereits in einer gefährdeten Altersphase befinden. Die Hauptbaumarten in Südtirol sind Fichte (61 %), Lärche (19 %), Weißkiefer (10 %), Zirbe (6 %) und Tanne (3 %). Demgegenüber machen die Laubbaumarten weniger als zwei % des gesamten Holzvorrates aus (Autonome Provinz Bozen, 2023b). Es wird aber erwartet, dass die Bedeutung der Laubbaumarten in Zukunft zunehmen und die Baumarten-vielfalt steigen wird. Wichtige Hotspots für die Biodiversität sind die Auen- und Bruchwälder, die in den Talböden stark zurückgedrängt worden sind. Diese Waldtypen leiden heute stärker als früher unter den länger anhaltenden Trockenperioden im Sommer und den veränderten Niederschlagsmustern. Mit dem Verlust der Auwälder verschwinden auch viele Tier- und Pflanzenarten (Institut für Alpine Umwelt, Eurac Research, 2023). Schon bei einem Temperaturanstieg von 2 °C könnten nach den Modellen des IPCC bis zu sechs Prozent der Insektenarten, acht Prozent der Pflanzenarten und vier Prozent der Wirbeltierarten mehr als die Hälfte ihrer Population durch den Verlust ihres Lebensraums verlieren (IPCC, 2022).

Potenzielle Zukunftssituation

Obwohl Südtirol seit den 2000er Jahren über eine Kartierung der aktuellen potenziellen Waldgesellschaften verfügt, fehlt noch eine detaillierte Vorhersage mit einer dynamischen Walddtypisierung (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2022a, 2022b), an der derzeit am Institut für Alpine Umwelt von Eurac Research im Rahmen des Projektes REINFORCE für einzelne Regionen wie den Obervinschgau und das Eggental gearbeitet wird. Generell ist mit einer weiteren Verschiebung der Waldgesellschaften nach

oben und in tieferen Lagen mit einem Rückgang der Nadelhölzer zugunsten der Laubhölzer zu rechnen. Eine weitere Ausbreitung invasiver Arten, die zu einer Gefährdung einheimischer Baumarten und Waldtypen bzw. zu einem Rückgang der Biodiversität führen kann, ist je nach Stärke der Verdrängung zu erwarten.

Anpassungspotenzial

Die dynamische Walddtypisierung ermöglicht Prognosen über die Entwicklung und räumliche Verschiebung der Waldtypen und die damit verbundene Veränderung der Baumarten-zusammensetzung auf Basis von Klimaszenarien und zeitlichen Dynamiken. Wo die natürliche Anpassung mit dem Klimawandel nicht Schritt halten kann, sind standortsangepasste Waldumbaumaßnahmen erforderlich. Diese umfassen die Sicherung standortgerechter Herkünfte, den Schutz gefährdeter Arten, die Verbesserung des Lebensraums durch Struktur-anpassung und Baumartenmischung sowie die Bekämpfung von Neophyten. Aber auch das Zulassen einer kontrollierten Einwanderung gebietsfremder Arten, insbesondere von Baumarten, ist Teil der Strategie.

4.4.3 Biotische Einflussfaktoren/Schädlingsbefall

Ursachen für die Risiken

Klimatische Extremereignisse schwächen nicht nur die Physiologie der Bäume, sondern begünstigen das Auftreten von Schadinsekten und die Anfälligkeit gegenüber Pilzkrankheiten. Steigende Temperaturen verbessern aber auch die Lebensbedingungen für die wechselwarmen Insekten. Die rascheren Entwicklungszyklen heimischer und invasiver Schadinsekten ermöglichen eine exponentielle Vermehrung der Population durch die Ausbildung mehrerer Generationen und Geschwistergenerationen. Der massenhaften Ausbreitung fallen nicht nur geschwächte Baumindividuen zum Opfer, sondern es werden auch gesunde Bäume und im Extremfall andere Wirtsbaumarten befallen. Die Immobilität der Bäume und die viel zu rasch verlaufende Klimaveränderung lässt ein räumliches Ausweichen in nördlichere Gebiete kaum zu. Selbst bei moderaten Klimaszenarien (RCP 4.5) wird bis 2100 ein deutlicher Temperaturanstieg erwartet, der das Waldbild in Südtirol signifikant verändern wird. Wärmeverträglichere Laubbaumarten oder exotische fremdländische Baumarten werden die heute dominierenden Nadelbaumarten vor allem in den tieferen submontanen, montanen Lagen ersetzen, und in der Folge möglicherweise das Auftreten neuer Schädlinge und Krankheiten begünstigen.

Aktuelle Situation

In den letzten Jahren kam es in Südtirol und anderen Teilen des Südalpenraumes zu vermehrtem Schadholzanfall durch den Fichtenborkenkäfer (*Ips typographus*, Buchdrucker), insbesondere nach Ereignissen wie Vaia 2018 und Schneedruckereignissen in den Jahren 2019 und 2020. Zusätzlich führten günstige Umweltbedingungen im Jahr 2020 zu einer starken Borkenkäferpopulation, die sich zunächst auf liegendes Holz beschränkte, ab Juni 2021 aber auch auf stehendes Holz übergriff. Dies führte zu erheblichen Schäden und Gefahren in den stark befallenen Schutzwaldbeständen. Weitere Borkenkäferarten, die in Südtirol vorkommen, sind der Große Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*) und verschiedene Kiefern-borkenkäferarten. Diese sind in den letzten Jahren jedoch nur lokal aufgetreten (Autonome Provinz Bozen, 2023a).

Aufgrund der trockenen und warmen Witterung hat sich der Kiefernprozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa*) in den letzten Jahren vor allem im Vinschgau immer wieder massenhaft vermehrt. Auch wenn der Massenbefall für Bäume nicht unmittelbar tödlich ist, wird die Vitalität der Bestände doch massiv beeinträchtigt. Gekoppelt mit Trockenheit und sekundär auftretenden Schädlingen oder Pilzen kann es aber dennoch zum Absterben der Bestände kommen. Zu achten ist auf die Brennhaare der Larven, die bei Menschen und Tieren zu gesundheitlichen Problemen führen können.

Holzeretzende Pilze spielen als Krankheitserreger im Wald eine wichtige Rolle. Sie befallen vor allem geschwächte oder abgestorbene Bäume. Feuchte Witterung begünstigt ihre Ausbreitung. Beispielsweise verursacht der Pilz *Sphaeropsis sapinea* im Vinschgau das Diplodia-Triebsterben an Schwarzkiefern, insbesondere an Bäumen, die durch Trockenheit und den Kiefernprozessionsspinner vorgeschädigt sind. Auch die Rotstreifigkeit, verursacht durch den Pilz *Dothistroma septosporum*, führt zu Nadelschütte und

Bestandsverlusten bei Zirben und Latschen. Das Eschentriebsterben, verursacht durch den Pilz *Hymenoscyphus fraxineus* (Lexer et al., 2014), hat in den letzten zehn Jahren in Südtirol zu erheblichen Schäden an der Gemeinen Esche geführt. Invasive Baumarten wie der Götterbaum, der seit 2018 in Südtirol Welkeerscheinungen zeigt, können ebenfalls von eingeschleppten Pilzen wie *Verticillium* befallen werden (Tratter, 2019).

Wildverbiss und Fegeschäden, vor allem bei Laubhölzern und Weißtanne, führen zu erheblichen Ausfällen bei der Naturverjüngung und erfordern bei Aufforstungen oft aufwändige und teure Zäunungen. Der angestrebte Waldumbau zu "klimafitteren" Mischwäldern wird dadurch erheblich erschwert.

Potenzielle Zukunftssituation

Waldschäden durch abiotische und biotische Faktoren sind oft eng miteinander verknüpft, so dass eine Zunahme abiotischer Schäden infolge klimatischer Extremereignisse auch zu einer Zunahme biotischer Folgeschäden führen kann. Die aktuellen Ausbrüche des Fichtenborkenkäfers deuten darauf hin, dass dieser durch den Klimawandel auch in höhere Gebirgslagen vorgedrungen ist, was in Zukunft nach entsprechenden Ereignissen wie Wind- oder Schneebruch zu weiteren Ausbrüchen führen könnte (Jakoby et al., 2015). Auch bei anderen Schadinsekten und Pilzkrankheiten ist aufgrund des Klimawandels mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Massenvermehrungen zu rechnen (Köncz et al., 2022). Allerdings können einige Schädlinge, wie z.B. der Graue Lärchenwickler, bei steigenden Temperaturen asynchron zu ihrer Wirtspflanze werden, was zu einem Rückgang der Population und zum Ausbleiben von Massenvermehrungen führen kann (Wermelinger, et. al 2018). Steigende Wintertemperaturen und weniger Frosttage begünstigen auch die Etablierung nicht heimischer Arten, sowohl von Bäumen als auch von Krankheitserregern (Köncz et al., 2022), die über den globalen Handel nach Europa gelangen. Wenig diversifizierte Baumbestände sind besonders anfällig für die schnelle und weiträumige Ausbreitung von Schädlingen (Bauhus, 2022). Zudem fehlt oft das Wissen über die Dynamik des Schädlingsbefalls, insbesondere bei neuen invasiven Arten.

Die zukünftige Entwicklung der Verbiss-Problematik wird weniger durch die klimatischen Entwicklungen als vielmehr durch waldbauliche Maßnahmen beeinflusst. Häufig sind jedoch gerade jene Baumarten stark von Verbiss betroffen, die unter den zukünftigen Klimabedingungen besonders gut gedeihen würden (Reif et al., 2010). Eine Zunahme der Waldschäden wirkt sich vor allem negativ auf die Schutzfunktion des Waldes sowie auf die Holzproduktion und die Rundholzpreise aus.

Anpassungspotenzial

Neben der Verbesserung der "Klimafitness" wird auch die Resistenz und Widerstandsfähigkeit gegenüber Schadinsekten und Krankheitserregern durch den Umbau von Reinbeständen in Mischwäldern erhöht. Dies geschieht dadurch, dass die Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten erschwert wird. Viele Waldfunktionen und -leistungen bleiben auch bei Ausfall einzelner Baumarten erhalten. Dies betrifft vor allem höhere Lagen, wo das Angebot an geeigneten Baumarten für Mischwälder oft begrenzt ist. Eine verbesserte großräumige Früherkennung von Schäden, beispielsweise durch Fernerkundung, könnte helfen, größere Schäden zu erkennen, erfordert aber entsprechende personelle und technische Ressourcen, um Schadholz zeitnah aufzuarbeiten und Befallsherde zu beseitigen. Die effektivste Anpassungsstrategie an die direkten und indirekten Folgen des Klimawandels ist daher eine aktive Waldbewirtschaftung (Milad, Schaich & Konold, 2012; Autonome Provinz Bozen - Südtirol, 2023).

4.4.4 Kohlenstoffzyklus des Waldes

Ursachen für die Risiken

Wälder zählen zu den wichtigsten Kohlenstoffsinken, einerseits durch die Speicherung von Kohlenstoff im Holz der Bäume (ca. 25 % in frischem Holz, bzw. ca. 50 % vom Trockengewicht besteht auf Kohlenstoff), andererseits durch den in der Regel hohen Anteil an organischer Substanz in den Waldböden (Schulze et al., 2021). Langfristig könnten steigende Temperaturen die Kohlenstoffsinke Wald beeinträchtigen. Letztendlich wird der im Baum gespeicherte Kohlenstoff nach dem Absterben durch den Zersetzungsprozess langsam freigesetzt, während er bei der Verbrennung schnell freigesetzt wird (Peh et al., 2015).

Aktuelle Situation

Südtirol weist für das Jahr 2022 eine Gesamtwaldfläche von 375.551 Hektar aus, was einem Bewaldungsanteil von 51 % entspricht. Der Gesamtvorrat beläuft auf 116 Millionen Kubikmeter mit einem jährlichen Zuwachs von knapp zwei Millionen Kubikmeter (Autonome Provinz Bozen, 2023a). Die Messungen an der Eddy-Covariance Messstation am Rittner Horn zeigen eine Zunahme der Bruttoprimärproduktion und der CO₂-Atmung mit einer durchschnittlichen Kohlenstoffaufnahme von drei Tonnen pro Jahr (Badraghi *et al.*, 2021).

Die Waldgrenze verschiebt sich aufgrund der Erwärmung nach oben, gleichzeitig werden aufgegeben landwirtschaftliche Flächen wieder aufgeforstet. Aufgrund der strengen Bodenschutzaufgaben sind Umwidmungen eher selten, was insgesamt zu einer Zunahme der Waldfläche in Südtirol führen dürfte. Die letzte Landesforstinventur von 2015 liegt fast zehn Jahre zurück und ist angesichts der Ereignisse von Vaia, den Schneedruckereignissen und der Borkenkäferkalamität zu relativieren, wobei jedoch genaue Inventurdaten zur Ausdehnung des Waldes und seiner CO₂-Speicherkapazität fehlen.

Potenzielle Zukunftssituation

Steigende Temperaturen und vermehrte Trockenperioden erhöhen das Risiko von Schadholz im Wald, was wiederum die Waldbrandgefahr erhöht und zu einer potenziell schnelleren und massiveren Freisetzung von Kohlendioxid aus den mitteleuropäischen Wäldern führt (Peh, Corlett & Bergeron, 2015). Auch abiotische und biotische Waldschäden verringern den Kohlenstoffvorrat im Wald, insbesondere wenn das anfallende Holz als Brennholz genutzt und damit CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt wird. Langfristig werden höhere Temperaturen die Atmung der Pflanzen und den Abbau organischer Substanzen im Boden beschleunigen. Die Aktivität der Bodenorganismen, die für den Abbau verantwortlich sind, hängt mitunter auch von der Bodenfeuchte ab. Bei steigenden Temperaturen und mehr Bodenfeuchte wird mehr CO₂ aus dem Boden freigesetzt (Powlson, 2005; Heimann & Reichstein, 2008), was die CO₂-Senkenfunktion des Waldes entscheidend einschränkt.

Anpassungspotenzial

Die Umwandlung von Waldflächen in andere Nutzungsformen sollte möglichst vermieden werden, da der im Waldboden gespeicherte Kohlenstoff durch die Atmung von Mikroorganismen wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Bis in eine Tiefe von bis zu 1,50 Metern wirkt der organische Kohlenstoff als Kohlenstoffspeicher (Schubert, 2010; Schulz & Klein, 2011). Der organische Kohlenstoffvorrat im Waldboden reagiert nur langsam auf kurzfristige Veränderungen, während Totholz als kleinster Kohlenstoffspeicher im Wald etwa 2,3 Tonnen pro Hektar enthält (Klein & Schulz, 2011). Durch die Nutzung von Holz wird Kohlenstoff für die Lebensdauer des Holzprodukts gespeichert, wobei die Gesamtmenge des in Holzprodukten gespeicherten Kohlenstoffs schwer abzuschätzen ist. Etwa 75 % davon sind in Wohngebäuden gebunden. Für den Klimaschutz ist die Nutzungsdauer entscheidend. Die bewirtschafteten Wälder entlasten die Atmosphäre durch die Speicherung von Kohlenstoff im Wald und in Holzprodukten sowie durch ihre Substitutionsleistung stärker (Schulz, 2020). Damit dieses Potenzial Kohlenstoff im Wald und in Holzprodukten zu speichern nicht verpufft, wird es in Zukunft, und das betrifft auch den Alpenraum, immer wichtiger, das Risiko der Waldbrandgefahr so weit als möglich einzudämmen, um einen weiteren Anstieg des atmosphärischen Kohlenstoffgehaltes durch das kurzfristige Freisetzen großer CO₂-Mengen infolge von Waldbränden zu verhindern.

4.4.5 Wasserspeicherfunktion

Ursachen für die Risiken

Der Kronenschutz im Wald reduziert insbesondere bei Starkniederschlägen die Menge und die Geschwindigkeit des Wasserabflusses zur Bodenoberfläche. Dadurch wird die Versickerung verbessert und der Oberflächenabfluss und die damit verbundene Erosion vermindert. Humusreiche und gut durchwurzelte Waldböden haben eine hohe Speicherkapazität für Wasser aus Schneeschmelze und Niederschlägen (Weinmeister, 2003). Zudem wirken sie als Filter für Schmutz- und Schadstoffe im Niederschlagswasser. In den tieferen, nur langsam Wasser abgebenden Schichten des Waldbodens bilden sich

saubere Grund- und Trinkwasserreserven, die die Quellschüttung und den Wassernachschub für unterirdische Wasserläufe sichern (Zirlewagen & Wilpert, 2001).

Aktuelle Situation

Die Folgen der abiotischen Schadereignisse der letzten fünf Jahre und der aktuellen Borkenkäfermassenvermehrung sind im Detail noch nicht abschätzbar. In den betroffenen Gebieten ist jedoch in den nächsten Jahren mit erhöhtem Oberflächenabfluss, verminderter Wasserspeicherung und erhöhtem Nährstoffaustrag zu rechnen (Klößing et al., 2005).

Potenzielle Zukunftssituation

Bei großflächigen Waldschäden kann es vor allem in Steillagen nach Starkniederschlägen zu verstärkter Bodenerosion und Stickstoffauswaschung kommen, wodurch auch die Wasserspeicher- und Filterfunktion des Waldbodens beeinträchtigt wird (Kruse, 2010). Zu beachten ist auch, dass insbesondere die maschinelle Waldbewirtschaftung zu einer Störung und Verdichtung des Waldbodens führen kann, was sich negativ auf dessen Wasserspeichervermögen auswirkt (Seitz, 2022; Puhlmann, 2023).

Anpassungspotenzial

Dauerwaldstrukturen und eine entsprechende Waldpflege erhalten die Wasserspeicherkapazität langfristig und sind daher anzustreben. Ein nachhaltiger Umgang mit den Wasserressourcen und eine im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten möglichst schonende Waldbewirtschaftung tragen zusätzlich dazu bei (Puhlmann, 2023).

4.4.6 Standort- und Objektschutzfunktion

Ursachen für die Risiken

Die Wälder im Berggebiet spielen eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung der Schutzfunktionen gegen Naturgefahren und Erosion. Rund 58 % der Wälder Südtirols bieten Schutz vor Naturgefahren wie Lawinen, Steinschlag und Erdbeben. Darüber hinaus sind rund 24 % der Wälder Objektschutzwälder, sie schützen also Siedlungen und Verkehrsinfrastrukturen vor den Auswirkungen von Naturgefahren wie Erdbeben und Lawinen (Amt für Forstplanung, 2023).

Aktuelle Situation

Die Ereignisse der letzten fünf Jahre, insbesondere der Sturm Vaia und die darauffolgende Borkenkäferepidemie, haben die Bedeutung der Schutzfunktion des Waldes, aber auch seine Gefährdung deutlich gemacht. Insbesondere in Objektschutzwäldern waren neben Aufforstungen auch technische Schutzmaßnahmen notwendig. Der Verlust des Waldes beschränkt sich aber nicht nur auf die Abwehr von Naturgefahren. Mit dem Fehlen des Waldes geht auch der Schutz vor Feinstaub und Lärm sowie das angenehme mikroklimatische Umfeld verloren (Jay et al., 2016). Diese Wirkungen werden jedoch oft erst dann wahrgenommen, wenn der Wald bereits nicht mehr vorhanden ist.

Potenzielle Zukunftssituation

Wenn Schutzwälder durch abiotische und/oder biotische Faktoren geschwächt oder abgestorben sind, können Lawinen, Muren, Überschwemmungen oder Hangrutschungen bei entsprechenden Schnee- oder Niederschlagsereignissen Infrastrukturen und Siedlungen direkt beeinträchtigen und zerstören. Modellbasierte Prognosen zur zukünftigen Schutzfunktion des Waldes zeigen, dass diese vor allem in tieferen Lagen durch Trockenheit negativ beeinflusst wird, während sie in höheren Lagen konstant bleibt oder sich sogar verbessert (Hillebrand et al., 2023; Moos et al., 2023).

Unerwartet ist jedoch, dass die Häufung von Schadereignissen in den letzten Jahren die Bevölkerung für die Beseitigung von Bäumen in der Nähe von Infrastrukturen und Gebäuden sensibilisiert hat. Nach den Erfahrungen der Grundeigentümer mit diesen Schadereignissen müssen diese dennoch die Verantwortung für Schadens- und Haftungsfälle übernehmen (Zivilgesetzbuch, 1942).

Anpassungspotenzial

Dauerwaldstrukturen können die Störanfälligkeit und Schutzfunktion bei Schadereignissen besser erhalten als Reinbestände (Puhlmann, 2023). Notfalls werden auch in Zukunft Wiederaufforstungen nach Waldschäden notwendig sein.

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Risiko von Waldschäden durch häufigere und stärkere Extremwetterereignisse (Stürme, Starkniederschläge, Trockenheit) und steigende Temperaturen (Schneebruch durch Nassschnee), die weitere biotische Folgeschäden auslösen und damit auch sozioökonomische Auswirkungen haben können
- Risiko des Verschwindens oder der räumlichen Verschiebung von Baumarten in der Höhenstufe, Unsicherheit bei der Verwendung standortfremder Baumarten und die noch kaum absehbaren Folgen für die Baumartenvielfalt, die Waldbodenvegetation und die Waldfauna, Verlust von Waldflächen durch Veränderung der naturräumlichen Verhältnisse oder durch Umwidmung in andere Nutzungsformen
- Risiko der Schädigung und des Absterbens großer Waldflächen durch Schädlinge/Krankheiten als Folge der abnehmenden Vitalität der Wälder
- Risiko hoher Kohlenstoffemissionen bei Waldbränden oder Absterben großer Waldflächen, langfristig auch schleichende Verringerung der Kohlenstoffspeicherung im Wald durch verstärkten Abbau organischer Substanz im Waldboden bei höheren Temperaturen
- Risiko der Beeinträchtigung der Wasserrückhaltefunktion und der Wasserqualität als Folge von Waldschäden auf diesen Waldflächen und eine nicht angepasste oder fehlende Waldbewirtschaftung
- Risiko der Verringerung/des Verlusts der Schutzfunktion des Waldes durch Schädigung und Rückgang der Waldbestände und das Fehlen von aktiven Waldeigentümerinnen und -eigentümern

Literatur

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2022a) *Dynamische Walddtypisierung - Standörtliche Grundlagen und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel*. Band 1. Graz: ABT10 Land- und Forstwirtschaft, Landesforstdirektion.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2022b) *Dynamische Walddtypisierung - Standörtliche Grundlagen und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel*. Band 2. ABT10 Land- und Forstwirtschaft, Landesforstdirektion.
- Amt für Forstplanung (2023) *Schutzwald*. Available at: <https://naturgefahren.provinz.bz.it/de/schutzwald> (Accessed: 24 January 2024).
- Anderegg, W.R.L. *et al.* (2022) 'A climate risk analysis of Earth's forests in the 21st century', pp. 1099-1103 DOI:
- Autonome Provinz Bozen (2023a) *Abteilung Forstwirtschaft, Agrar- und Forstbericht 2022*. Available at: https://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/wald-holz-almen/interaktive-karte.asp?publ_action=4&publ_article_id=481628 (Accessed: 24 January 2024).
- Autonome Provinz Bozen (2023b) *Eigentumsverhältnisse - Wem gehört der Wald in Südtirol*. Available at: <https://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/wald-holz-almen/wald-in-suedtirol/eigentumsverhaeltnisse.asp> (Accessed: 24 April 2024).
- Autonome Provinz Bozen - Südtirol (2023) *Waldagenda 2030 - Strategiepapier für die Südtiroler Forstwirtschaft*. Autonome Provinz Bozen - Südtirol.
- Badraghi, A. *et al.* (2021) 'Soil respiration variation along an altitudinal gradient in the Italian Alps: Disentangling forest structure and temperature effects.', *PLOS One* [Preprint], (16(8)).

- Bauhus, J. (2022) Die Anpassung der Wälder an den Klimawandel-eine waldwirtschaftliche Perspektive.
- Heimann, M. and Reichstein, M. (2008) 'Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks.', *Nature*, 451, pp. 289–292.
- Hillebrand, L. et al. (2023) 'Contrasting impacts of climate change on protection forests of the Italian Alps', *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, p. 1240235. Available at: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1240235>.
- Institut für Alpine Umwelt, Eurac Research (2023) *Biodiversity Monitoring*. Available at: <https://biodiversity.eurac.edu/de/woerheben-wir/waelder/> (Accessed: 24 January 2024).
- Ipcc (2022) Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. 1st edn. Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/9781009157940>.
- Jakoby, O. et al. (2015) *Borkenkäfer im Klimawandel - Modellierung des künftigen Befallsrisikos durch den Buchdrucker (Ips typographus)*. Birmendorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL., p. 45. Available at: Borkenkäfer im Klimawandel - waldwissen.net.
- Jay, M. et al. (2016) Urbaner Wald, urbane Lebensqualität-Die vielfältigen Ökosystemleistungen urbaner Wälder sichtbar machen. IFP, Arbeitsberichte.
- Klein, D. and Schulz, C. (2011) 'Kohlenstoffspeicherung von Bäumen', *LWF Merkblatt* [Preprint], (27). Available at: <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-27-kohlenstoffspeicherung-2.pdf> (Accessed: 24 January 2024).
- Klöcking, B. et al. (2005) Auswirkungen des Borkenkäferbefalls auf den Wasser-und Stoffhaushalt zweier Gewässereinzugsgebiete im Nationalpark Bayerischer Wald. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald.
- Känz, G. et al. (2022) 'Ausbreitung von Schadorganismen im Wald unter Einfluss des Klimawandels', *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 173(2), pp. 88-91.
- Kruse, S. (2010) Vorsorgendes Hochwassermanagement im Wandel: ein sozial-ökologisches Raumkonzept für den Umgang mit Hochwasser. Springer-Verlag.
- Lexer, M.J. et al. (2014) 'Der Einfluss des Klimawandels auf die Biosphäre und Ökosystemleistungen', in *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)*. Austrian Panel on Climate Change (APCC). Wien, Österreich: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, p. S. 467-556. Available at: <https://cca.ac.at/en/wissenstransfer/apcc/apcc-aar14/downloads/figures/b2k3> (Accessed: 8 October 2024).
- Mette, T., Brandl, S. and Kölling, C. (2021) 'Climate analogues for temperate European forests to raise silvicultural evidence using twin regions.', *Sustainability*, p. 6522.
- Milad, M., Schaich, H. and Konold, W. (2012) 'Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel—eine Analyse von Vorschlägen aus Forstwirtschaft und Naturschutz.', *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* [Preprint].
- Moos, C. et al. (2023) 'Mountain protective forests under threat? an in-depth review of global change impacts on their protective effect against natural hazards', *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, p. 1223934. Available at: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1223934>.
- Niedrist, G. et al. (2022) *Climate Change Monitoring South Tyrol*. Data in Action. Bolzano/Bozen: Eurac Research. Available at: <https://doi.org/10.57749/8ZPX-HM12>.
- Peh, K.S.H., Corlett, R. and Bergeron, Y. (2015) *Routledge handbook of forest ecology*. Routledge Taylor & Francis Group.
- Powlson, D. (2005) 'Will soil amplify climate change?', *Nature*, 433, pp. 204–205.
- Puhlmann, H. (2023) 'Waldböden und ihre Wirkung auf den Wasserhaushalt', *Praxis Wasserwirtschaft*, 11. Available at: www.springerprofessional.d/wawi.
- Reif, A. et al. (2010) Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes: Abschlussbericht eines F+ E-Vorhabens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz; FKZ 3508-84-0200. Deutschland: Bundesamt für Naturschutz.
- Schubert, A. (2010) 'Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden', *LWF aktuell* [Preprint], (78). Available at: <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a78-organisch-gebundener-kohlenstoff-im-waldboden.pdf> (Accessed: 24 January 2024).
- Schulz, C. (2020) *Kohlenstoffbindung in Bayerns Wäldern*. Available at: [https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/kohlenstoffbindung/266779/index.php#:~:text=In%20den%20Waldb%C3%B6den%20Bayerns%20sind,organischen%20Auflage%20\(12%20t\).](https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/kohlenstoffbindung/266779/index.php#:~:text=In%20den%20Waldb%C3%B6den%20Bayerns%20sind,organischen%20Auflage%20(12%20t).) (Accessed: 24 January 2024).
- Schulz, C. and Klein, D. (2011) 'Der kräftige Atem der Waldböden', *LWF aktuell* [Preprint], (82). Available at: <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a82-der-kraeftige-atem-der-waldboeden.pdf> (Accessed: 24 January 2024).

- Schulze, E.D. *et al.* (2021) 'Speicherung von Kohlenstoff im Ökosystem und Substitution fossiler Brennstoffe-Klimaschutz mit Wald.', in *Biologie in unserer Zeit*, pp. 51, 46–54. Available at: https://pure.mpg.de/rest/items/item_3286029/component/file_3286045/content.
- Seitz, S. (2022) 'Wald in der Vielfalt möglicher Perspektiven: Von der Pluralität lebensweltlicher Bezüge und wissenschaftlicher Thematisierungen', in *Wald und Boden*. Wiesbaden, Deutschland: Springer Fachmedien, pp. 181–199.
- Tratter, L. (2019) Bekämpfungsmaßnahmen des Götterbaumes in Südtirol.
- Weinmeister, W. (2003) Fähigkeiten des Waldes zur Verminderung von Hochwasser und Erosionsschäden: Hochwasserschutz im Wald. 40. Deutschland: LWF Freising, pp. 15–29.
- Wermelinger, B., Nievergelt, D. and Forster, B. (2018) 'Zyklen und Bedeutung des Lärchenwicklers.'
- Zirlewagen, D. and Wilpert, K. (2001) *Was hat Waldbau mit Trinkwasservorsorge zu tun*. Available at: http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/wasserschutz/fva_trinkwasservorsorge.
- *Zivilgesetzbuch* (1942). (Stand Oktober 2023).

4.5 Gesundheit

Autorin und Autoren: Giulia Roveri; Frederik Eisendle; Giacomo Strapazzon

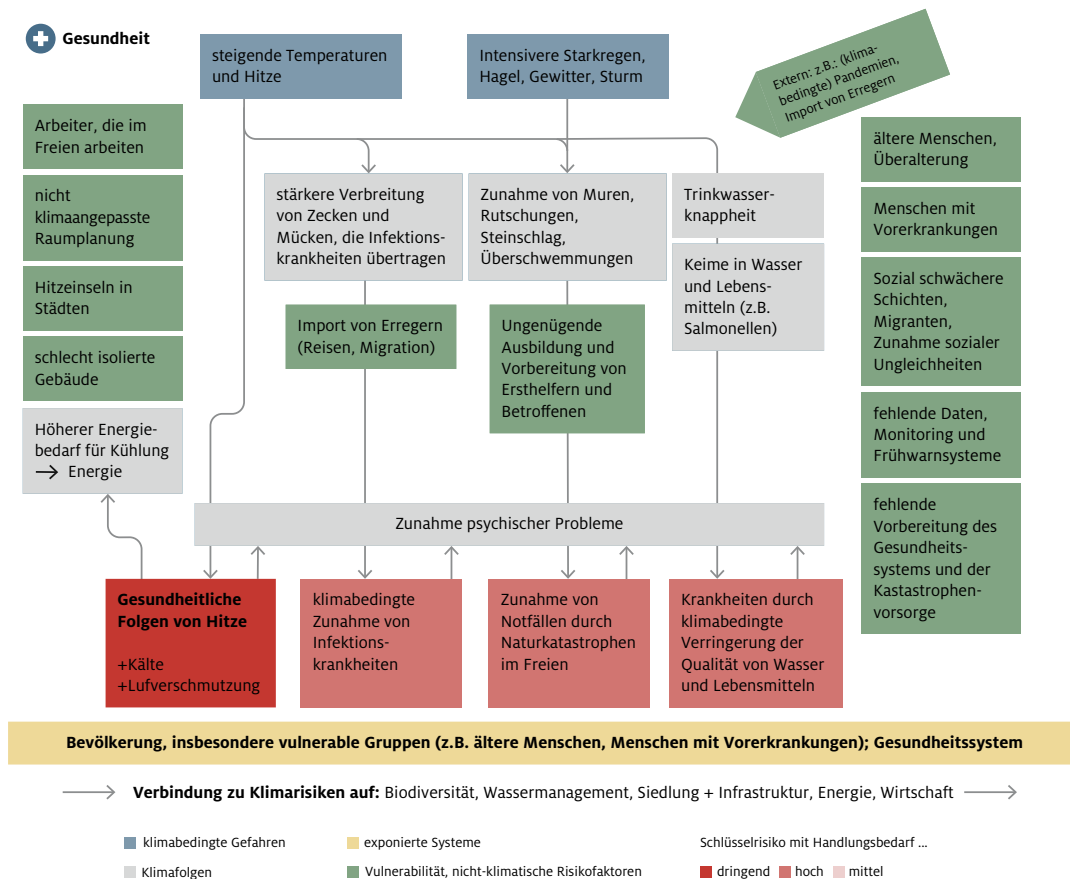


Abbildung 19: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität des Gesundheitssektors

Einleitung

Der Klimawandel beeinflusst Südtirol stark und hat direkte Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier. Steigende Durchschnittstemperaturen und der Rückgang der Schneedecke führen zu Problemen wie vermehrten Erdrutschen, Überschwemmungen und Lawinen, die das Verletzungs- und Todesrisiko erhöhen. Klimawandelbedingte Ereignisse wie der Anstieg des Meeresspiegels, extreme Wetterereignisse und Ressourcenverknappung können zur Vertreibung und Migration von Menschen führen, die mit unzureichenden Lebensbedingungen konfrontiert sind (Barrett et al., 2015). In überfüllten Flüchtlingsunterkünften mit unzureichender medizinischer Infrastruktur kann es zu Krankheitsausbrüchen kommen. Zudem breiten sich durch die globale Erwärmung Krankheiten wie Borreliose durch Zecken und Dengue-Fieber durch Moskitos aus. Veränderte Wetterbedingungen bedrohen auch die Landwirtschaft und die Nahrungsmittelversorgung und gefährden so die lokale Ernährungssicherheit. Gemeinden in Bergregionen sind sehr von der Natur abhängig und leiden unter den Auswirkungen des Klimawandels. Das wirkt sich negativ auf die Wirtschaft und das psychische Wohlbefinden der Menschen aus. Um die Gesundheit der Bevölkerung zu schützen, sind daher Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen wie Frühwarnsysteme, verbesserte Gesundheitsdienste und Bildungsinitiativen zum Klimawandel unerlässlich.

4.5.1 Hitze- und Kältestress sowie Luftverschmutzung

Ursachen für die Risiken

Der Klimawandel führt zu immer höheren Temperaturen und verstärkt die Hitzebelastung vor allem in Städten, wo Flächenversiegelung und Bebauung die Hitze speichern. Insbesondere während der Hitzeperioden werden extrem hohe Temperaturen erreicht, und die Anzahl der Tropennächte nimmt zu. Das belastet die Gesundheit der ansässigen Bevölkerung, allen voran der vulnerablen Personen, und erhöht die Mortalität für Risikogruppen (Lemery & Auerbach, 2017). Besonders betroffen sind ältere und kranke Menschen sowie Kinder (Leffers, 2022), aber auch Erwachsene und Jugendliche können unter hitzebedingten Gesundheitsproblemen leiden, insbesondere wenn sie Alkohol oder Drogen konsumieren. Außerdem beeinträchtigt die Hitze die Arbeitsgesundheit und die Leistungsfähigkeit und betrifft vor allem Beschäftigte in Risikoberufen wie dem Baugewerbe und der Landwirtschaft.

Darüber hinaus können extreme Wetterereignisse zu kältebedingten Erkrankungen wie Erfrierungen (Cramer et al., 2022) und Unterkühlung (Paal et al., 2016) führen, insbesondere bei armen Bevölkerungsgruppen ohne angemessene Heizung oder Unterkunft.

Aktuelle Situation

Die aktuelle Hitzestressbelastung in Südtirol ist nicht dokumentiert, jedoch nehmen hitzebedingte Erkrankungen wie Hitzschlag, Hitzeerschöpfung und Dehydrierung weltweit zu (Cramer et al., 2022). Verschärft wird die Situation durch unzureichende gesundheitspolitische Maßnahmen und mangelndes Bewusstsein. Erfrierungen und Unterkühlungen bei Freizeitsportlern im Freien sind heute noch selten, aber oft lebensbedrohlich (Ströhle et al., 2018). Obdachlose, die in unzureichenden Unterkünften leben, sind Unterkühlungsrisiken und der Entwicklung von Erfrierungsverletzungen besonders ausgesetzt. Im Dezember 2022 erfror ein obdachloser Mann in Südtirol (RAI-Südtirol Meldung vom 9.12.2022). Atemwegserkrankungen wie Asthma und chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) sind auch eine Folge der Luftverschmutzung (Ray & Ming, 2020) welche vor allem in Städten, Industriegebieten und entlang der Autobahn immer wieder die von der WHO empfohlenen Grenzwerte überschreiten. Dies führt zu einer Verschlechterung der Lungengesundheit und belastet die Gesundheitssysteme (Romanello et al., 2022). Die Verwaltung überwacht die Luftqualität in Südtirol sehr genau und gibt Warnungen heraus (<https://umwelt.provinz.bz.it/luft/aktuelle-luftmessdaten.asp>), da die empfohlenen Grenzwerte bereits während längerer Trockenperioden oder bei Inversionswetterlagen überschritten werden.

Potenzielle Zukunftssituation

Hitzebedingte Krankheiten werden als direkte Folge des Klimawandels unweigerlich zunehmen. Häufigere und intensivere Hitzewellen stellen ein globales Gesundheitsrisiko dar und werden die lokalen Gesundheitssysteme belasten (Romanello et al., 2022). Menschen, die nicht auf extreme Hitzeereignisse vorbereitet sind, könnten einer erhöhten Morbidität und Mortalität ausgesetzt sein. Die künftige Erwärmung wird die gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung insbesondere durch Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) und Ozon verstärken. Das erhöht das Risiko von Lungenerkrankungen insbesondere bei Menschen mit Vorerkrankungen (Lemery & Auerbach, 2017).

Trotz der im Mittel zu erwartenden mildereren Winter können vor allem die Alpenregionen aufgrund von atmosphärischen Instabilitäten teils härtere Winter erleben. Diese daraus resultierenden teilweise stärkeren Luftverschmutzungen sowie zunehmender Verkehr gefährdet den aktuellen Trend hin zu besserer Luftqualität in Südtirol, was mit einem entsprechenden Anstieg von Atemwegserkrankungen verbunden wäre (Hiatt und Beyeler, 2020). Dies hätte Auswirkungen auf die globale öffentliche Gesundheit (Ebi et al., 2021) und würde die medizinischen Ressourcen belasten.

Anpassungspotenzial

Zu den Anpassungsmaßnahmen gehören strengere Umweltauflagen in der Stadtplanung, einschließlich Grünflächen und widerstandsfähiger und/oder grüner Infrastruktur. Mit Hilfe von Aufklärungskampagnen und Frühwarnsystemen ist es wichtig, die Bevölkerung rechtzeitig über präventive Maßnahmen wie den Zugang für vulnerable Gruppen zu kühlen Tagesräumen zu informieren und den Gesundheitssektor rechtzeitig vorzuwarnen. Die Anpassung an die Winterkälte erfordert eine bessere Verfügbarkeit von

angemessenen Unterkünften für gefährdete Bevölkerungsgruppen, die Förderung des Bewusstseins für kalte Wetterbedingungen, insbesondere bei Freizeitaktivitäten im Freien, und eine bessere Gesundheitserziehung. Zum Schutz der Luftqualität und der Atemwegsgesundheit sollte die verwendete Energie für die Kühlung bzw. Heizung der Gebäude sowie für die Mobilität möglichst sauber sein.

4.5.2 Klimaabhängige Infektionskrankheiten

Ursachen für die Risiken

Durch den Klimawandel verändern sich die Ausbreitungs- und Übertragungsbedingungen von Vektoren (Insekten) und Krankheitserregern. Der Klimawandel vergrößert den Lebensraum von Krankheitsüberträgern wie Zecken, Stechmücken und Sandmücken und begünstigt ihre Verbreitung und ihr Verhalten, was das Risiko vektorübertragener Krankheiten insbesondere für Kinder und ältere Menschen erhöht (Ogden, 2017). Eine unzureichende Gesundheitsinfrastruktur verschärft die möglichen Risiken, die sich durch diese Krankheiten für die betroffene Bevölkerung ergeben können.

Aktuelle Situation

In Gebieten mit ausgedehnten Zeckenhabitaten nehmen durch Zecken übertragene Krankheiten stark zu. Zecken können Borreliose (Hu, 2016) und Meningoenzephalitis übertragen. Stechmücken, insbesondere *Aedes albopictus*, auch Tigermücke genannt, können Dengue-, Chikungunya-, Malaria- und Zika-Viren übertragen. Im Jahr 2023 wurden in Südtirol sieben Fälle von durch Zecken übertragener Meningitis gemeldet, von denen vier nachweislich autochthon waren (SISP, 2024) (Überetsch, Meran/Naiftal, Kurtatsch, Gais). Weiters sind sieben Fälle von Lyme-Borreliose dokumentiert.

Obwohl in Südtirol bisher keine autochthonen Infektionen aufgetreten sind, besteht die Möglichkeit, dass die Hausmücke (*Culex pipiens*) das West-Nil-Fieber-Virus und das Usutu-Virus überträgt. Die Gefahr geht derzeit hauptsächlich von Importfällen durch Reisen aus. Im Jahr 2023 wurden in Südtirol sechs importierte Fälle von Dengue-Fieber und zwei Fälle von West-Nil-Fieber registriert. Im vergangenen Jahr wurden keine Fälle von Zika, Chikungunya oder Usutu registriert. Im Jahr 2022 wurden nur fünf importierte Malariafälle nach Italien gemeldet (SISP, 2024).

Die verschiedenen Sandmückenarten *Phlebotomus perniciosus*, *Phlebotomus perfiliewi* und *Phlebotomus papatasi* können entweder Leishmaniose-Erreger oder das Toskanavirus übertragen (Semenza et al., 2022). Im Jahr 2023 gab es nur einen Fall einer durch Sandmücken übertragenen Krankheit, die aus einer anderen Region eingeschleppt wurde.

Viele dieser Krankheiten werden nicht gemeldet, so dass ihre tatsächliche Verbreitung unterschätzt wird.

Potenzielle Zukunftssituation

Mit fortschreitendem Klimawandel könnte sich das Verbreitungsgebiet von Zecken ausdehnen, was zu einer Zunahme von Borreliose und anderen Infektionen führen könnte. Auch das Verbreitungsgebiet von Malaria könnte sich verschieben und neue Bevölkerungsgruppen der Krankheit aussetzen. Diese Veränderungen könnten eine Herausforderung für begrenzte Ressourcen und geschwächte Gesundheitssysteme darstellen. Die Projektionen des Klimawandels für Europa zeigen unterschiedliche Auswirkungen auf durch Vektoren übertragene Krankheiten wie Chikungunya-Fieber, Dengue-Fieber, West-Nil-Fieber, Malaria, durch Zecken übertragene Krankheiten wie Lyme-Borreliose und Leishmaniose. Die Übertragungszeiten für Dengue-Fieber könnten sich in Südosteuropa um 1-2 Monate verlängern. Auch das Risiko für West-Nil-Fieber könnte im Nordosten steigen. Die Übertragungszeiten für Malaria könnten sich in Südosteuropa ebenfalls um 1-2 Monate verlängern. Diese Schätzungen sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Aufgrund der verbesserten klimatischen Bedingungen für Sandmücken könnte sich die Leishmaniose ausbreiten und ihr Verbreitungsgebiet wahrscheinlich nach Mitteleuropa ausdehnen.

Migration könnte zu einem dominierenden Trend werden, wenn sich der Klimawandel verstärkt.

Massenvertreibungen könnten die Gesundheitsinfrastruktur der Aufnahmeländer überfordern und zur Übertragung von Krankheiten und zur Verknappung medizinischer Ressourcen führen. Ohne angemessene Unterstützungssysteme könnten psychische Probleme unter Migrantinnen und Migranten zunehmen.

Anpassungspotenzial

Maßnahmen zur Anpassung erfordern internationale Zusammenarbeit, verbesserte Katastrophenvorsorge und integrierte Maßnahmen für die Gesundheitsbedürfnisse von einwandernden Menschen. Knappe Ressourcen, politische Hindernisse und soziokulturelle Spannungen behindern jedoch eine wirkungsvolle Anpassung. Die Interessen der lokalen und der einwandernden Bevölkerung in Einklang zu bringen, ist eine schwierige Aufgabe. Globale Zusammenarbeit ist notwendig, um nachhaltige Lösungen zu finden.

Zu Strategien der Klimawandelanpassung gehören Überwachung, Frühwarnsysteme und gezielte Kontrolle der Krankheitsüberträger (Vektoren). Ressourcenknappheit, fehlende Infrastruktur und finanzielle Restriktionen stellen jedoch eine Herausforderung dar. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Maßnahmen zur Vektorkontrolle wie das Vermeiden von Brutstätten und der Schutz der Umwelt ist entscheidend.

4.5.3 Naturgefahren und Freizeitaktivitäten

Ursachen für die Risiken

Veränderte Niederschlagsmuster infolge des Klimawandels beeinflussen die Stabilität der Schneedecke und erhöhen die Lawinengefahr (Strapazzon et al., 2021; Brugger et al., 2012), insbesondere in Gebirgsregionen, was die Sicherheit von Freizeitaktivitäten in der Natur beeinträchtigen kann. Außerdem haben veränderte Klimamuster (Ebi et al., 2021) eine Zunahme von extremen Wetterereignissen wie Erdbeben, Steinschlägen und Überschwemmungen zur Folge, die erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit haben und das Risiko von kältebedingten Gesundheitsproblemen wie Erfrierungen oder Unterkühlungen erhöhen (Brugger et al., 2012).

Aktuelle Situation

In Regionen, die durch starke Schneefälle und Temperaturschwankungen gefährdet sind, treten immer häufiger Lawinen auf. Diese Ereignisse beeinträchtigen den Wintersport und die Infrastruktur, gefährden das Menschenleben und belasten die territorialen Notfallsysteme.

Bereits heute sind alpine Gebiete betroffen, wie beispielsweise die Marmolada im Sommer 2022 (Bondesan & Francese, 2023) mit Schäden und Beeinträchtigungen der Infrastruktur sowie einer steigenden Zahl von Toten und Verletzten.

Potenzielle Zukunftssituation

Mit dem fortschreitenden Klimawandel könnten Lawinen häufiger auftreten und unvorhersehbarer auftreten (Brugger et al., 2012), was zu einer Zunahme von Notfällen im Freien in gefährdeten Gebieten sowohl für Einheimische als auch für Touristinnen und Touristen führen könnte. Begrenzte Ressourcen für Rettungseinsätze könnten die Auswirkungen weiter verschärfen. Diese Katastrophen verursachen nicht nur direkte Verletzungen und Todesfälle, sondern belasten auch das Gesundheitssystem, insbesondere im Falle von Massenunfällen mit vielen Verletzten. Das Such- und Rettungspersonal (SAR) steht vor der Herausforderung, unter schwierigen (Umwelt)Bedingungen schnelle medizinische Hilfe zu leisten und wichtige Ressourcen bereitzustellen (Brugger et al., 2012; Milani et al., 2023), was sich auch negativ auf das psychische Wohlbefinden auswirken kann (Sørvold et al., 2021).

Anpassungspotenzial

Strategien zur Klimawandelanpassung in lawinengefährdeten Gebieten erfordern eine bessere Ausbildung im Freizeitsport und des SAR-Personals sowie die Forschung und Entwicklung neuer Schutzausrüstungen (Procter et al., 2016; Rauch et al., 2021; Semenza et al., 2022; Strapazzon et al., 2017; Strapazzon & Brugger, 2018). Abgelegenes Gelände und eingeschränkter Zugang stellen jedoch eine Herausforderung für wirksame Anpassungsmaßnahmen dar. Lokale Anstrengungen sind entscheidend, um der wachsenden Bedrohung durch klimabedingte Katastrophen und deren Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit zu begegnen. Frühwarnsysteme für Extremwetterereignisse sollten kontinuierlich implementiert und in lokale Katastrophenschutzpläne integriert werden. Internationale Register (<https://www.mountain-registries.org>) ermöglichen eine systematische Datenerhebung über Strategien

der medizinischen Erstversorgung vor Ort und in Krankenhäusern. Eine spezielle Ausbildung des SAR-Personals für den Umgang mit Massenunfällen kann dazu beitragen, psychischen Erkrankungen vorzubeugen und die Widerstandsfähigkeit zu erhöhen (Søvold et al., 2021).

4.5.4 Wasser und lebensmittelbedingte Krankheiten

Ursachen für die Risiken

Der Klimawandel beeinflusst durch veränderte Niederschlagsmuster die Schneeschmelze und die Wasserquellen in alpinen Regionen (<https://ipccitalia.cmcc.it>), was sich auf die verfügbare Menge für die Trinkwasserversorgung und die Landwirtschaft auswirken kann. Zudem kann die Trinkwasserqualität bakteriologisch beeinträchtigt werden, da sich Mikroorganismen bei höheren Temperaturen vermehren. Dies betrifft auch Lebensmittel und kann zu einer Zunahme von lebensmittelbedingten Infektionen (z.B. Salmonellen) führen. Extreme Hitze und geringe Niederschläge können die Nahrungsmittelproduktion erheblich beeinträchtigen, die Preise für Obst und Gemüse in die Höhe treiben und so eine gesunde und nahrhafte Ernährung erschweren (Lemery & Auerbach, 2017).

Aktuelle Situation

Bisher kam es in Südtirol während längeren Trockenperioden zu einer moderaten Wasserknappheit, die bisher nicht existenziell bedrohlich war. Weder Trinkwasser noch die Nahrungsmittelversorgung waren knapp. Trotzdem besteht ein Nutzungskonflikt zwischen Landwirtschaft, Tourismus, Wirtschaft etc. um die Ressource Trinkwasser.

Potenzielle Zukunftssituation

Im Zuge des Klimawandels ist mit einer zunehmenden Wasserknappheit zu rechnen, von der auch die Alpenregionen betroffen sein werden. Sowohl die Bevölkerung als auch die vom Tourismus abhängige Wirtschaft können von einer geringeren Verfügbarkeit von Gletscherwasser betroffen sein. Veränderte Vegetationsperioden und geringere Erträge können die Ernährungssicherheit gefährden.

Anpassungspotenzial

Zur Klimawandelanpassung gehört ein effizientes Wassermanagement in der Landwirtschaft und im Tourismus. Verderbliche Lebensmittel müssen fachgerecht gelagert und gekühlt werden.

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Risiko von Hitze- und Kältestress sowie Luftverschmutzung durch extreme Hitze und Kälte
- Risiko klimaabhängiger Infektionskrankheiten durch steigende Temperaturen
- Risiko zunehmender Naturkatastrophen und Notfälle im Freien aufgrund von Extremwetterereignissen
- Risiko von Wasser- und lebensmittelbedingter Krankheiten infolge von zunehmenden Temperaturen

Literatur

- Barrett, B., Charles, J.W., Temte, J.L., 2015. Climate change, human health, and epidemiological transition. *Prev. Med.* 70, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.11.013>
- Bondesan, A., Francese, R.G., 2023. The climate-driven disaster of the Marmolada Glacier (Italy). *Geomorphology* 431, 108687. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108687>
- Brugger, H., Zafren, K., Festi, L., Paal, P., Strapazzon, G., 2012. *Mountain Emergency Medicine (1st Edition)*. Edra.

- Cramer, M.N., Gagnon, D., Laitano, O., Crandall, C.G., 2022. Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. *Physiol. Rev.* 102, 1907–1989. <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.2021>
- Ebi, K.L., Vanos, J., Baldwin, J.W., Bell, J.E., Hondula, D.M., Errett, N.A., Hayes, K., Reid, C.E., Saha, S., Spector, J., Berry, P., 2021. Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications. *Annu. Rev. Public Health* 42, 293–315. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026>
- Hiatt, R.A., Beyeler, N., 2020. Cancer and climate change. *Lancet Oncol.* 21, e519–e527. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(20\)30448-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(20)30448-4)
- <https://ipccitalia.cmcc.it>, n.d.
- <https://www.mountain-registries.org>, n.d.
- Hu, L.T., 2016. Lyme Disease. *Ann. Intern. Med.* 164, ITC65. <https://doi.org/10.7326/AITC201605030>
- IPCC, 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report of the IPCC 6th Assessment Report (AR6) (Longer Report). IPCC.
- Leffers, J.M., 2022. Climate Change and Health of Children: Our Borrowed Future. *J. Pediatr. Health Care* 36, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.pedhc.2021.09.002>
- Lemery, J., Auerbach, P., 2017. *Enviromedics: The impact of Climate Change on Human Health*. Rowman & Littlefield.
- Lemery Jay, Auerbach PAul, 2017. *ENVIROMEDICS - The impacrc of climate change on human health*. Rowman & Littlefield.
- Milani, M., Roveri, G., Falla, M., Dal Cappello, T., Strapazzon, G., 2023. Occupational Accidents Among Search and Rescue Providers During Mountain Rescue Operations and Training Events. *Ann. Emerg. Med.* 81, 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2022.12.015>
- Ogden, N.H., 2017. Climate change and vector-borne diseases of public health significance. *FEMS Microbiol. Lett.* 364. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx186>
- Paal, P., Gordon, L., Strapazzon, G., Brodmann Maeder, M., Putzer, G., Walpoth, B., Wanscher, M., Brown, D., Holzer, M., Broessner, G., Brugger, H., 2016. Accidental hypothermia—an update: The content of this review is endorsed by the International Commission for Mountain Emergency Medicine (ICAR MEDCOM). *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.* 24, 111. <https://doi.org/10.1186/s13049-016-0303-7>
- Procter, E., Strapazzon, G., Dal Cappello, T., Zweifel, B., Würtele, A., Renner, A., Falk, M., Brugger, H., 2016. Burial duration, depth and air pocket explain avalanche survival patterns in Austria and Switzerland. *Resuscitation* 105, 173–176. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.06.001>
- Rauch, S., Strapazzon, G., Brugger, H., 2021. On-Site Medical Management of Avalanche Victims—A Narrative Review. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 18, 10234. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910234>
- Ray, C., Ming, X., 2020. Climate Change and Human Health: A Review of Allergies, Autoimmunity and the Microbiome. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 17, 4814. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134814>
- Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Ford, L.B., Belesova, K., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., Van Daalen, K.R., Dalin, C., Dasandi, N., Dasgupta, S., Davies, M., Dominguez-Salas, P., Dubrow, R., Ebi, K.L., Eckelman, M., Ekins, P., Escobar, L.E., George-son, L., Graham, H., Gunther, S.H., Hamilton, I., Hang, Y., Hänninen, R., Hartinger, S., He, K., Hess, J.J., Hsu, S.-C., Jankin, S., Jamart, L., Jay, O., Kelman, I., Kiesewetter, G., Kinney, P., Kjellstrom, T., Kniveton, D., Lee, J.K.W., Lemke, B., Liu, Y., Liu, Z., Lott, M., Batista, M.L., Lowe, R., MacGuire, F., Sewe, M.O., Martinez-Urtaza, J., Maslin, M., McAllister, L., McGushin, A., McMichael, C., Mi, Z., Milner, J., Minor, K., Minx, J.C., Mohajeri, N., Moradi-Lakeh, M., Morrissey, K., Munzert, S., Murray, K.A., Neville, T., Nilsson, M., Obradovich, N., O'Hare, M.B., Oreszczyn, T., Otto, M., Owfi, F., Pearman, O., Rabbaniha, M., Robinson, E.J.Z., Rocklöv, J., Salas, R.N., Semenza, J.C., Sherman, J.D., Shi, L., Shumake-Guillemot, J., Silbert, G., Sofiev, M., Springmann, M., Stowell, J., Tabatabaei, M., Taylor, J., Triñanes, J., Wagner, F., Wilkinson, P., Winning, M., Yglesias-González, M., Zhang, S., Gong, P., Montgomery, H., Costello, A., 2022. The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet* 400, 1619–1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)
- Semenza, J.C., Rocklöv, J., Ebi, K.L., 2022. Climate Change and Cascading Risks from Infectious Disease. *Infect. Dis. Ther.* 11, 1371–1390. <https://doi.org/10.1007/s40121-022-00647-3>
- SISP, D. für H. und öffentliche G., 2024. Betrieblicher Jahresbericht zu den Vektorübertragenen Krankheiten: Zecken, Mücken, Sandmücken für das Jahr 2023. Südtiroler Sanitätsbetrieb, Bozen, Italien.
- Søvold, L.E., Naslund, J.A., Kousoulis, A.A., Saxena, S., Qoronfleh, M.W., Grobler, C., Münter, L., 2021. Prioritizing the Mental Health and Well-Being of Healthcare Workers: An Urgent Global Public Health Priority. *Front. Public Health* 9, 679397. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.679397>
- Strapazzon, G., Brugger, H., 2018. On-Site Treatment of Snow Avalanche Victims: From Bench to Mountainside. *High Alt. Med. Biol.* 19, 307–315. <https://doi.org/10.1089/ham.2018.0036>

- Strapazzon, G., Paal, P., Schweizer, J., Falk, M., Reuter, B., Schenk, K., Gatterer, H., Grasegger, K., Dal Cappello, T., Malacrida, S., Riess, L., Brugger, H., 2017. Effects of snow properties on humans breathing into an artificial air pocket – an experimental field study. *Sci. Rep.* 7, 17675. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17960-4>
- Strapazzon, G., Schweizer, J., Chiambretti, I., Brodmann Maeder, M., Brugger, H., Zafren, K., 2021. Effects of Climate Change on Avalanche Accidents and Survival. *Front. Physiol.* 12, 639433. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.639433>
- Ströhle, M., Rauch, S., Lastei, P., Brodmann Maeder, M., Brugger, H., Paal, P., 2018. Frostbite Injuries in the Austrian Alps: A Retrospective 11-Year National Registry Study. *High Alt. Med. Biol.* 19, 316–320. <https://doi.org/10.1089/ham.2018.0060>
- Südtiroler Sanitätsbetrieb, 2024: Betrieblicher Jahresbericht zu den Vektorübertragenen Krankheiten: Zecken, Mücken, Sandmücken für das Jahr 2023

4.6 Tourismus

Autor: Philipp Corradini

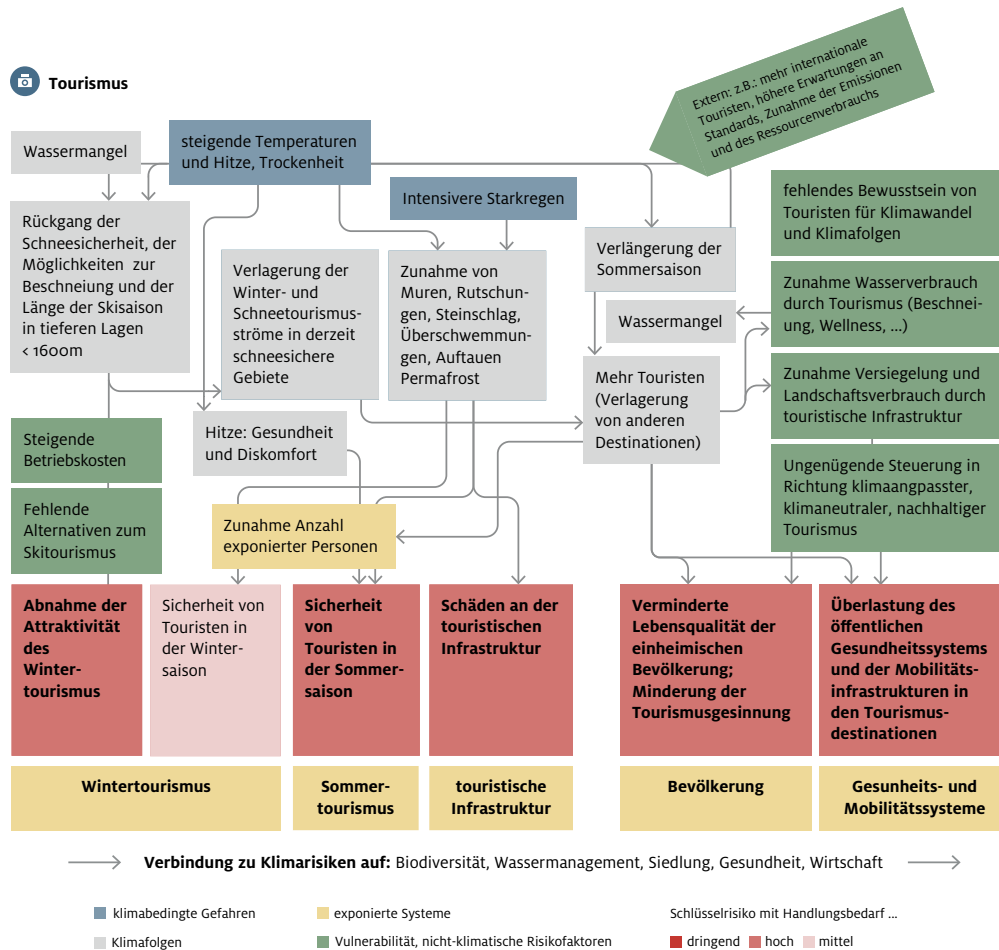


Abbildung 20: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität des Tourismussektors

Einleitung

Der Tourismus ist von zentraler Bedeutung für die Wirtschaft in Südtirol und zeigt im Vergleich zu anderen Alpenregionen die höchste Dichte an Beherbergungsbetrieben und Intensität im Tourismussektor (ASTAT, 2023). Bisher sind in Südtirol die Auswirkungen des Klimawandels in der Wintersaison spürbarer als im Sommer. Verglichen mit den nördlichen Alpenregionen ist der Schneefall bereits heute geringer und nimmt temperaturbedingt weiter ab. Diese Entwicklung wirkt sich negativ sowohl auf die Möglichkeiten der technischen Beschneigung als auch auf das Erscheinungsbild der natürlichen Winterlandschaft aus. Trotz der Auswirkungen des Klimawandels auf den Ski- und Wintertourismus könnte die Rentabilität der Seilbahnen in Zukunft durch den Sommertourismus teilweise aufrechterhalten werden. Die klimatisch günstigen Monate könnten sich für die Sommersaison verlängern, während die Wintersaison verkürzt wird. Jedoch können geologische Risiken wie Erdbeben und Felsstürze als Folge des Klimawandels zunehmen, was sowohl für die Gäste als auch für die Infrastruktur ein erhöhtes Risiko darstellt.

4.6.1 Wintertourismus

Ursachen für die Risiken

Sowohl alpen- als auch südtirolweit wirkt sich der Klimawandel besonders auf das touristische Winterangebot aus (Steiger et al., 2019). Temperaturanstieg und Niederschlagsvariabilität schlagen sich negativ auf die Schneebedeckung und damit auf die Ausübung des Wintersports nieder. Dessen Attraktivität hängt vorwiegend von der technischen Beschneigungsmöglichkeit jedoch teilweise auch von einer natürlich verschneiten Winterlandschaft ab.

Aktuelle Situation

Bereits heute sind einige Auswirkungen des Klimawandels sichtbar, wie ein Temperaturanstieg in den Tourismusdestinationen bis 1.500 Meter und eine allgemeine Veränderung der Winterniederschläge, so wie beispielsweise in der Wintersaison 2022/23. Im Winter 2022 wurde in den Regionen unter 1.000 Metern die zweitniedrigste und in den Regionen zwischen 1.000 und 2.000 Metern die viertniedrigste Schneebedeckung der Periode 2003 bis 2022 registriert (Eurac Research, 2023b) (→ siehe Kapitel 3). Zudem hat die Anzahl der Frosttage seit 1980 in allen Höhenlagen abgenommen (Eurac Research, 2023a) (→ siehe Kapitel 3). Die technische Beschneigung stellt den Schneeaktivitätsbetrieb derzeit weitgehend sicher. Die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels auf den Skibetrieb können anhand der "100-Tage-Regel" abgeschätzt werden, die besagt, dass ein schneesicheres Skigebiet in sieben von zehn Wintern an mindestens 100 Tagen pro Saison eine ausreichende Schneesicherheit aufweisen sollte (Abegg, 1996; Witmer, 1986). Derzeit beträgt der Anteil der Pistenflächen, auf denen technisch beschneit wird, in Deutschland 25 %, in Frankreich 39 %, in der Schweiz 54 %, in Österreich 70 % und in Italien (Provinz Bozen) 90 % (ASTAT, 2022; Seilbahnen Schweiz, 2022). Darüber hinaus hat die Lawinengefahr in den Alpen aufgrund einer klimawandelverstärkten Instabilität erheblich zugenommen (Zgheib et al., 2022).

Potenzielle Zukunftssituation

In Zukunft wird mit einer Verstärkung dieser Effekte gerechnet, einschließlich einer Zunahme der Niederschlagsvariabilität, die nicht zwangsläufig zu Niederschlagsmangel, sondern auch zu niederschlagsreichen Wintern führen kann. Dies kann sich negativ auf die Planbarkeit von Wintertourismusaktivitäten auswirken, z.B. durch unzureichende Schneebedeckung der Skipisten zu Saisonbeginn, Schwierigkeiten bei der Schneeproduktion aufgrund höherer Temperaturen und weniger Frosttage (Eurac Research, 2023a, 2023b) (→ siehe Kapitel 3). Die Genauigkeit der Wettervorhersagen kann ebenfalls beeinträchtigt werden. Dies kann zu kurzfristigen Buchungsänderungen und Stornierungen führen, was sich wiederum negativ auf die Tourismusflüsse auswirken kann (Scott et al., 2012).

Anpassungspotenzial

Tourismusdestinationen, die heute weitgehend schneesicher sind, könnten zusätzliche Touristen aus weniger schneesicheren Destinationen anziehen, was den Verkehr erhöhen, das Unfallrisiko auf den Pisten steigern und das lokale Gesundheits- und ökologische System belasten kann.

Tourismusdestinationen, die bereits heute über eine geringe Schneesicherheit verfügen, sollten riskante Investitionen in Beschneigungsanlagen vermeiden. Eine Anpassungsmaßnahme könnte die Diversifizierung des Angebots sein, beispielsweise durch den Ausbau weniger infrastruktur- und ressourcenintensiver Aktivitäten wie Langlauf und Winterwandern. Auch beim Ausbau wetterunabhängiger Aktivitäten wie Wellness sollte auf den Ressourcenverbrauch geachtet werden. Tourismusdestinationen, die keine schneesicheren Bedingungen bieten können, sind gefordert, eine Neuausrichtung des touristischen Angebots in Richtung Sommer- und Nebensaison Tourismus zu fördern und entsprechende Aktivitäten und Produkte zu entwickeln und zu bewerben. Dies reduziert die Abhängigkeit vom Wintertourismus und sollte günstigstenfalls mit einer Umorientierung auf andere, weniger wetterabhängige Wirtschaftszweige verbunden werden.

4.6.2 Sommertourismus

Ursachen für die Risiken

Der Sommertourismus in Berg- und Talgebieten wird durch die Auswirkungen des Klimawandels mit steigenden Temperaturen, einer Zunahme der Niederschlagsvariabilität sowie einer Zunahme von Wetterextremen und Naturgefahren konfrontiert sein.

Aktuelle Situation

Die Auswirkungen des Klimawandels durch steigende Temperaturen in Berggebieten werden häufig mit positiven Effekten für den Sommertourismus in Verbindung gebracht, beispielsweise durch eine mögliche Verlängerung der klimatisch günstigen Jahreszeiten für Sommeraktivitäten wie Wandern, Klettern, Radfahren und Camping (Endler & Matzarakis, 2011; Pröbstl-Haider et al., 2021). Ein weiterer Faktor, der für eine mögliche temperaturbedingte Zunahme der Tourismusströme in Bergregionen im Sommer spricht, kann mit der „Hitzevlucht“ aus urbanen Räumen und dem Wiederaufleben des traditionellen Konzeptes der „Sommerfrische“ in Verbindung gebracht werden (Juschten et al., 2019; Siegrist & Gessner, 2011).

Potenzielle Zukunftssituation

Ein wesentliches Risiko im Sommer in Berggebieten, vor allem in höheren Lagen, wird durch die Zunahme von Naturgefahren und die Veränderung der Zugänglichkeit beeinflusst. Der Rückzug der Gletscher und das Auftauen des Permafrosts können dazu führen, dass Eis- und Felshänge steiler und Moränen destabilisiert werden. In der Folge steigt das Risiko von Murgängen sowie Felsstürzen mit einer zusätzlichen Zunahme von Schuttansammlungen auf Gletscheroberflächen (Mourey et al., 2019) (→ siehe Kapitel 3). Gäste, die Sommeraktivitäten wie Bergsteigen und Klettern ausüben, sind deshalb einem erhöhten Risiko ausgesetzt. Auch die Wahrscheinlichkeit von Schäden an Freizeitinfrastrukturen wie Wanderwegen und Zufahrtsstraßen nimmt in diesem Zusammenhang zu (Gruber et al., 2004).

Anpassungspotenzial

Die Variierung der Hauptöffnungszeiten in Bergregionen, sei es durch Verschiebung, Reduzierung oder Verlängerung, ist eine wichtige Anpassungsmaßnahme in Bezug auf die sich verändernden Bedingungen und Besucherströme. Schulungen der Gäste im Bereich der Risikobeurteilung und Verhaltensregeln im Gebirge können Unfälle minimieren. Ein Monitoring der Tourismusströme ermöglicht es, auf saisonale Schwankungen zu reagieren und entsprechende Strategien und Kommunikationsmaßnahmen zu entwickeln. Die Integration dieser Informationen in Katastrophenschutzpläne und in das Gesundheitssystem ist entscheidend, um die Sicherheit der Gäste sowie der lokalen Bevölkerung zu gewährleisten und Überlastungen zu vermeiden, insbesondere während der touristischen Hochsaison.

4.6.3 Unterstützende- und Tourismusinfrastruktur und Beherbergung

Ursachen für die Risiken

Die Auswirkungen und Risiken sind unter anderem auf den Temperaturanstieg zurückzuführen. Ebenso trägt die Zunahme der Niederschlagsvariabilität dazu bei, dass Niederschlagsmenge und -verteilung weniger vorhersehbar werden, was wiederum die Wasserverfügbarkeit beeinträchtigen kann. Die Zunahme extremer Wetterereignisse und Naturgefahren wie Stürme, Überschwemmungen und Erdbeben birgt zudem erhebliche Risiken für die betroffenen Regionen.

Aktuelle Situation

Die touristische Infrastruktur umfasst Elemente, die sowohl von Gästen als auch von der einheimischen Bevölkerung genutzt werden, einschließlich Freizeitinfrastruktur (Indoor und Outdoor) und Verkehrsinfrastruktur. Beherbergungsbetriebe stehen vor ähnlichen Herausforderungen wie nicht-touristische Infrastrukturen und Siedlungen: Sie müssen sowohl im Winter als auch im Sommer ein angemessenes Raumklima bieten und vor Naturgefahren schützen. Südtirol hat im Vergleich zu den benachbarten Alpenregionen traditionell die höchste Beherbergungsdichte.

Der Klimawandel kann direkte Schäden an Infrastrukturen verursachen, z.B. durch extreme Wetterereignisse und Naturgefahren wie Erdbeben und Hagel, oder die Erreichbarkeit von Infrastrukturen durch zunehmende geologische Instabilität der Zugangswege erschweren. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass touristische Infrastrukturen je nach geographischer Lage und Höhenlage einer erhöhten Gefährdung ausgesetzt sind, wie z.B. Almhütten. Indirekte Effekte können sich negativ auf das Tagesgeschäft auswirken, z.B. durch eine variable Verfügbarkeit von Wasserressourcen. Sie können auch die Wirtschaftlichkeit der Betriebe beeinträchtigen, indem sie die Ressourcenkosten und die steuerliche Belastung durch Klima- und Ressourcenbesteuerung erhöhen.

Die direkte Betroffenheit von Freizeitinfrastrukturen durch den Klimawandel variiert je nach Aktivität und Standort. Outdoor-Aktivitätsinfrastrukturen, wie beispielsweise Bergbahnen, sind in der Regel stärker betroffen als Indoor-Aktivitäten. Ihre Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel kann sowohl infrastruktureller als auch ökonomisch-betrieblicher Natur sein. Beispiele sind Hangrutschungen und Lawinen oder Rentabilitätseinbußen durch abnehmende Schneesicherheit. Indoor-Aktivitäten sind zwar wetterunabhängig, aber oft ressourcenintensiv.

Potenzielle Zukunftssituation

In Zukunft wird das Risiko von Schäden an der Infrastruktur durch extreme Wetterereignisse und Naturgefahren deutlich zunehmen. Diese Ereignisse können nicht nur die menschliche Sicherheit, sondern auch die touristische Attraktivität beeinträchtigen. Insbesondere in Verbindung mit den potenziell steigenden Tourismusflüssen und der zunehmenden Belastung des Verkehrsnetzes könnten Infrastrukturschäden die touristische Mobilität in Südtirol erheblich einschränken. Darüber hinaus könnte die Erreichbarkeit einzelner Tourismusdestinationen beeinträchtigt werden. Zudem müssen mögliche Veränderungen der zukünftigen Gästebedürfnisse, wie beispielsweise eine steigende Nachfrage nach Klimatisierung im Sommer, Zukunft bedacht werden (Gössling & Lund-Durlacher, 2021).

Anpassungspotenzial

Zur Anpassung an den Klimawandel gehören Maßnahmen zur energetischen Optimierung von Beherbergungs- und Gastronomiebetrieben, um deren Umweltbilanz zu verbessern. Eine vereinfachte und verpflichtende Klimabilanzierung auf Betriebsebene kann helfen, die CO₂-Emissionen zu kontrollieren und zu reduzieren. Finanzielle Restriktionen sowie mangelndes Bewusstsein und Engagement der Betriebe könnten jedoch Hindernisse bei der Umsetzung darstellen (Pechlaner et al., 2022).

Um den Herausforderungen des Klimawandels im Tourismus zu begegnen, werden die Schneesicherheit in den Skigebieten und die Transportkapazität der Aufstiegsanlagen erhöht, sowie neue Schneesicherungsmaßnahmen wie Gletscherabdeckungen und Schneedepots eingeführt. Sommeraktivitäten für Seilbahnen, wie etwa Mountainbiketransport, werden gefördert. Der Ausbau der Indoor- und Outdoor-Freizeitinfrastruktur sowie des Ganzjahrestourismus wird vorangetrieben. Neben der Berücksichtigung ihrer ökologischen Auswirkungen, müssen zukünftige Infrastrukturplanungen zudem die erhöhte Gefährdung durch Naturgefahren berücksichtigen. Zur Sicherung der Mobilitätsinfrastruktur und Erreichbarkeit der Tourismusorte sind weitere Maßnahmen erforderlich.

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Risiko der Abnahme der Attraktivität des Wintertourismus aufgrund steigender Temperaturen, Extremwetterereignisse und erhöhter Niederschlagsvariabilität
- Risiko der Verringerung der menschlichen Sicherheit hinsichtlich des Sommertourismus durch Extremwetterereignisse
- Risiko der Verringerung der menschlichen Sicherheit hinsichtlich des Wintertourismus durch Extremwetterereignisse
- Risiko von Schäden an der touristischen Infrastruktur aufgrund von Extremwetterereignissen
- Risiko der Verminderung der Lebensqualität der einheimischen Bevölkerung in touristischen Zielgebieten durch Verlagerung von Tourismusströmen
- Risiko der Minderung der Tourismusgesinnung bei der einheimischen Bevölkerung durch die Verlagerung von Tourismusströmen als Folge der Abnahme/Zunahme der touristischen Attraktivität und Tourismusintensität
- Risiko der Überlastung des öffentlichen Gesundheitssystems und der Mobilitätsinfrastruktur in den Tourismusdestinationen aufgrund von Verlagerungen der Tourismusströme

Literatur

- Abegg, B. (1996). Klimaänderung und Tourismus: Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. [Nationales Forschungsprogramm 31 "Klimaänderungen und Naturkatastrophen"]; Schlussbericht NFP 31. vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH.
- ASTAT. (2022). Seilbahnen in Südtirol 2021 (236). https://astat.provinz.bz.it/de/aktuelles-publikationen-info.asp?news_action=4&news_article_id=671687
- ASTAT. (2023). Tourismus in einigen Alpengebieten 2022. Landesinstitut für Statistik ASTAT. https://astat.provinz.bz.it/de/aktuelles-publikationen-info.asp?news_action=4&news_article_id=677713
- Endler, C., & Matzarakis, A. (2011). Climate and tourism in the Black Forest during the warm season. *International Journal of Biometeorology*, 55(2), 173–186. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0323-3>
- Eurac Research. (2023a). Frosttage. Climate Change Monitoring South Tyrol. <https://www.eurac.edu/de/data-in-action/klimawandel-monitoring/frosttage>
- Eurac Research. (2023b). Schneebedeckung. Climate Change Monitoring South Tyrol. <https://www.eurac.edu/de/data-in-action/klimawandel-monitoring/schneebedeckung>
- Gössling, S., & Lund-Durlacher, D. (2021). Tourist accommodation, climate change and mitigation: An assessment for Austria. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 34, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100367>
- 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). <https://doi.org/10.1029/2004GL020051>
- Juschten, M., Brandenburg, C., Hössinger, R., Liebl, U., Offenzeller, M., Prutsch, A., Unbehaun, W., Weber, F., & Jiricka-Pürner, A. (2019). Out of the City Heat—Way to Less or More Sustainable Futures? *Sustainability*, 11(1), 214. <https://doi.org/10.3390/su11010214>
- Mourey, J., Ravanel, L., Lambiel, C., Strecker, J., & Piccardi, M. (2019). Access routes to high mountain huts facing climate-induced environmental changes and adaptive strategies in the Western Alps since the 1990s. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 73(4), 215–228. <https://doi.org/10.1080/00291951.2019.1689163>
- Pechlaner, H., Innerhofer, E., Gruber, M., Scuttari, A., Walder, M., Habicher, D., Gigante, S., Volgger, M., Corradini, P., Laner, P., & von der Gracht, H. (2022). Ambition Lebensraum Südtirol. Auf dem Weg zu einer neuen Tourismuskultur. Landestourismusentwicklungskonzept 2030+. Eurac Research. <https://www.eurac.edu/de/institutes-centers/center-for-advanced-studies/projects/itek2030plus>
- Pröbstl-Haider, U., Hödl, C., Ginner, K., & Borgwardt, F. (2021). Climate change: Impacts on outdoor activities in the summer and shoulder seasons. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 34, 100344. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100344>
- Scott, D., Hall, C. M., & Gössling, S. (2012). *Tourism and climate change: Impacts, adaptation and mitigation*. Routledge.

- Seilbahnen Schweiz. (2022). Fakten & Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche (p. 40).
- Siegrist, D., & Gessner, S. (2011). Klimawandel: Anpassungsstrategien im Alpentourismus. Ergebnisse einer alpenweiten Delphi-Befragung. *Zeitschrift Für Tourismuswissenschaft*, 3(2), 179–194. <https://doi.org/10.1515/tw-2011-0207>
- Steiger, R., Scott, D., Abegg, B., Pons, M., & Aall, C. (2019). A critical review of climate change risk for ski tourism. *Current Issues in Tourism*, 22(11), 1343–1379. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1410110>
- Witmer, U. (1986). Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. (Bern: Institute of Geography, University of Bern.). <https://doi.org/10.48350/180417>
- Zgheib, T., Giacona, F., Granet-Abisset, A.-M., Morin, S., Lavigne, A., & Eckert, N. (2022). Spatio-temporal variability of avalanche risk in the French Alps. *Regional Environmental Change*, 22. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01838-3>

4.7 Siedlungen, Infrastruktur, Kulturerbe

Autor: Andrea Omizzolo

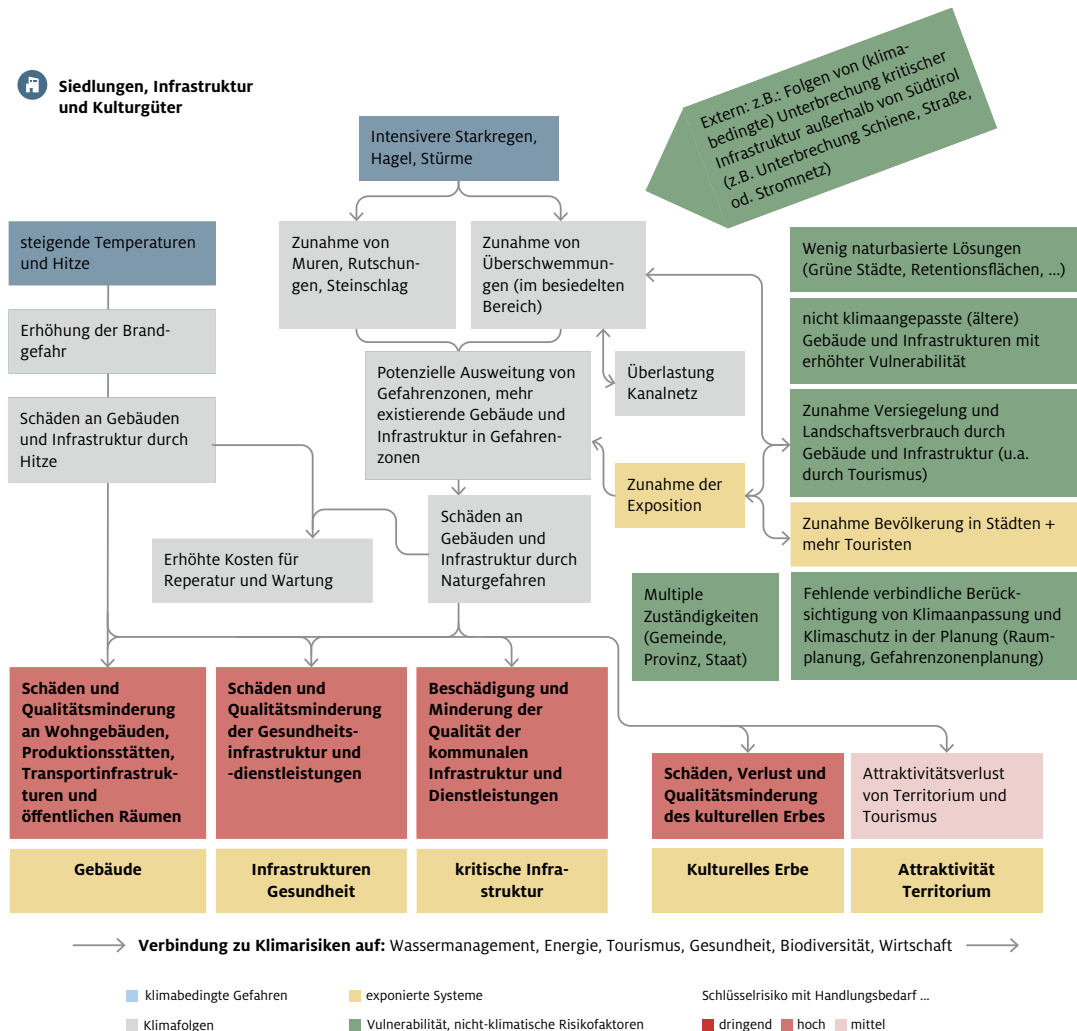


Abbildung 21: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität von Siedlungen, Infrastruktur und Kulturerbe

Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels betreffen die Siedlungen – sowohl die Gebäude als auch die öffentlichen Räume, die wichtigsten Infrastrukturkomponenten und die materiellen und immateriellen Elemente des kulturellen Erbes (Vallejo & Mullan, 2017).

Die derzeitige Situation in Südtirol zeigt eine steigende Tendenz nicht nur in der Häufigkeit, sondern auch in der Intensität extremer Wetterereignisse, die sich – wie es bereits in ganz Italien der Fall ist – auf diese Systeme auswirken (ISPRA, 2022). Um die Widerstandsfähigkeit der Siedlungen und Infrastrukturen zu verbessern, ist es notwendig, die verschiedenen öffentlichen Planungsinstrumente zu nutzen und entsprechend anzupassen. Dazu zählen beispielsweise der „Gemeindeplan für Raum und Landschaft“ (Autonome Provinz Bozen - Südtirol, 2023a), der die Flächen und Trassen für die wichtigsten Erschließungsanlagen sowie Grün- und Freiräume ausweist, und der „Gefahrenzonenplan“ (GZP), der die Gebiete mit hydrogeologischen Gefahren (Massenbewegungen, Überschwemmungen, Murgänge und Lawinen) identifiziert (Autonome Provinz Bozen - Südtirol, 2023b) und deren Nutzungen regelt. Die

klimaresiliente Gestaltung der Infrastruktur ist zunächst mit erheblichen Kosten verbunden, bringt aber mittel- und langfristig deutliche Vorteile mit sich (Global Commission on Adaptation, 2019).

4.7.1 Siedlungen

Dieses Teilsystem betrifft Gebäude und die Wohninfrastruktur, Produktionsgebäude und -infrastruktur, öffentliche Gemeinschaftsbereiche und die Flächennutzung. Es umfasst die ansässige Bevölkerung sowie die vorübergehend anwesenden Personen, wie beispielsweise Touristinnen und Touristen.

Ursachen für die Risiken

Das Risiko für Siedlungen und öffentliche Räume nimmt aufgrund der zunehmenden Intensität und Häufigkeit von Hitzewellen, Dürreperioden und extremen Wetterereignissen ständig zu. Der Klimawandel verändert die Umweltbedingungen, für die viele Gebäude – insbesondere historische oder ältere Gebäude – ausgelegt sind, radikal. Sie wurden mit Materialien und Konstruktionsstandards errichtet, die lediglich den damaligen lokalen Klimabedingungen sowie den zu erwartenden Temperaturschwankungen, Niederschlägen, Schnee- und Windverhältnissen standhalten konnten.

Höhere Temperaturen und andere Feuchtigkeitsgrade können das Mikroklima in den Gebäuden verändern und die Ausbreitung von potenziell schädlichen Insekten, Parasiten, Schimmel und Pilzen begünstigen, was sich wiederum auf das menschliche Wohlbefinden auswirkt. Das Fehlen einer angemessenen Wärmedämmung und Klimatisierung kann weitere negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Bewohner dieser Gebäude haben, insbesondere für besonders vulnerable Gruppen.

Die öffentlichen Räume sind von zahlreichen Risiken betroffen, darunter Überschwemmungen durch sintflutartige Regenfälle und Schäden durch heftige Unwetter, die den Bodenbelag schädigen und damit bestimmte Bereiche für längere Zeit unzugänglich machen. Diese Extremereignisse können die Sicherheit von Menschen gefährden, die Infrastruktur beschädigen und die Nutzbarkeit öffentlicher Räume beeinträchtigen.

Die steigende Einwohnerzahl, die Konzentration der Wohnbevölkerung und der Urlaubsgäste in bestimmten Orten Südtirols und zu bestimmten Jahreszeiten, die fortwährende Ausdehnung des Baubestandes, die Bauqualität bzw. das Durchschnittsalter des Gebäudebestandes und die Unangemessenheit der historischen Siedlungsstruktur unserer Ortschaften erhöhen die potenzielle Gesamtexposition des Teilsystems gegenüber klimatischen Risiken.

Aktuelle Situation

Wie dem Klimareport – Südtirol 2018 (Zebisch et al., 2018) zu entnehmen ist, beobachten wir in den bebauten Gebieten Südtirols so wie in allen Städten einen stärkeren Temperaturanstieg im Vergleich zu den Nachbarregionen. Vor allem die höheren Nachttemperaturen beeinträchtigen das menschliche Wohlbefinden (→ siehe Kapitel 3.1).

Muren, Erdbeben, Felsstürze und Überschwemmungen hängen eng mit der Temperatur und vor allem mit Starkniederschlägen zusammen. Letztere werden sowohl lokal durch Niederschläge als auch großräumig im Einzugsgebiet durch die jeweiligen Flüsse ausgelöst. In Südtirol kam es in den letzten Jahren vermehrt zu lokal sehr begrenzten Starkregenereignissen, für die die bestehende Kanalinfrastuktur nicht angemessen ausgelegt ist und die so zu Überflutungen von Straßen, tiefer gelegenen Gebäudeteilen und Kellern führten. Um diese Ereignisse genauer zu erfassen, wurde 2010 in der Datenbank der Landesverwaltung die Ereignisklasse „urbane Überschwemmung“ eingeführt (<https://naturgefahren.provinz.bz.it/de/monitoring>).

Die Bevölkerung Südtirols wächst ebenso wie die Zahl der Unternehmen und der Beschäftigten (ASTAT, 2023). Auch die Zahl der Urlaubsgäste nimmt, insbesondere in einigen Tälern mit einer bereits hohen Tourismusintensität, stetig zu. Im Laufe der Jahre kam es daher zu einer Ausdehnung der Wohn-, Produktions- und Tourismusgebiete und dadurch auch zu einem erhöhten Flächenverbrauch. Eine damit prozentuell zunehmende Bodenversiegelung verstärkt wiederum das Ausmaß und die Auswirkungen bestimmter Ereignisse (<https://www.eurac.edu/de/data-in-action/klimawandel-monitoring/bodenversiegelung>).

Potenzielle Zukunftssituation

Die Klimaszenarien sagen eine mögliche Intensivierung von Extremereignissen wie Regen, Hagel und Sturm voraus (→ siehe *Kapitel 3.1*). Dadurch könnten in naher Zukunft immer mehr Wohn- und Produktionsgebäude direkt, z.B. durch Schäden an Dächern, Straßenbeleuchtung und nichttragenden Elementen, oder indirekt, wie beispielsweise durch Erdbeben oder Muren, betroffen sein. Hohe Temperaturen und langanhaltende Dürreperioden können einerseits zu einer erhöhten Brandgefahr mit potenzieller Zerstörung oder Beschädigung von Gebäuden und Verkehrsinfrastruktur führen. Zum anderen werden wasserabhängige Produktionsinfrastrukturen sowie wasserbezogene Infrastrukturen und gebäudeinterne Systeme wie Rohrleitungen, Abwasserkanäle etc. in Mitleidenschaft gezogen. Dieser heute in Südtirol noch wenig beachtete Aspekt betrifft vor allem die Städte und einige Ortschaften in den Talböden.

Anpassungspotenzial

Die Anpassungsmöglichkeiten im Bereich der Raum- und Stadtplanung umfassen ein besseres Management des Territoriums zum Schutz der öffentlichen Gesundheit und der damit verbundenen menschlichen Aktivitäten sowie die Integration von Anpassungskonzepten und naturbasierten Lösungen in die Stadtplanungsvorschriften zur Förderung der Biodiversität. Darüber hinaus kann ein Monitoring der Häufigkeit und des Ausmaßes von Schäden zu einem besseren Verständnis der Risiken und zu verbesserten Anpassungsmaßnahmen führen.

Einschränkungen ergeben sich aus der Morphologie Südtirols, die den für menschliche Aktivitäten zur Verfügung stehenden Raum einschränkt sowie aus der Verpflichtung, die von der Provinz und vom Staat festgelegten Normen und Pläne einzuhalten.

Darüber hinaus gibt es einige Einschränkungen, die raumplanerische Anpassungsmaßnahmen behindern können, wie z.B. das vorwiegende Privateigentum an Gebäuden und Infrastrukturen, die hohen Renovierungs- und Umbaukosten sowie die Tatsache, dass der GZP nicht für bestehende Gebäude zur Anwendung kommt. Außerdem fehlt bei der Analyse des Risikos und der Anpassungsmaßnahmen häufig eine Kosten-Nutzen-Analyse.

4.7.2 Wesentliche öffentliche Infrastruktur und Dienste

Dieses Teilsystem umfasst die eng miteinander vernetzte Gesamtheit der materiellen oder immateriellen Strukturen, Systeme und Dienstleistungen, die eine Gesellschaft ausmachen (oder ihr dienen) (Pudyastuti Nugraha, 2018). Diese Definition umfasst die Bereiche Transport, Wasser, Gesundheitsinfrastruktur, Energie, Abfall, Kommunikation und Tourismusinfrastruktur (Portugal-Perez & Wilson, 2012).

Ursachen für die Risiken

Extreme hydrometeorologische Ereignisse (z.B. Regen, Schnee, Sturm) und ihre kaskadenartigen Auswirkungen (z.B. Erdbeben, Überschwemmungen, Brände) können einen Großteil der Infrastruktur direkt beschädigen oder in ihrer Funktion beeinträchtigen, was insbesondere Antennen und Verstärker, Stromleitungen sowie die Infrastruktur für den Schienen- und Straßentransport betrifft. Der Temperaturanstieg und die intensiven Dürreperioden können zu einer sowohl für die Gesundheitsinfrastruktur als auch für die Abwasser- und Abfallentsorgung relevanten Wasserknappheit führen. Für Freizeit- und Tourismuseinrichtungen gelten die gleichen Risiken wie für die Wohngebäude. Sowohl die Wandergebiete in den Bergen als auch das für den Tourismus und die lokale Mobilität wichtige Verkehrsnetz sind von Erdbeben, Steinschlägen und Lawinen betroffen.

Aktuelle Situation

Die derzeitigen Auswirkungen (und das daraus resultierende Risiko) zeigen sich vorwiegend in Form von Muren, Rutschungen und Überschwemmungen, indirekt durch umstürzende Bäume oder andere herabfallende Gegenstände infolge von Starkwind oder durch die übermäßige Hitze, die im Falle des Straßenverkehrs den Straßenbelag beschädigt. Starkwind bzw. Starkregen oder Unwetter führen gelegentlich auch zur Schließung von Seilbahnen, Flughäfen oder Hubschrauberlandeplätzen und schränken die Nutzbarkeit anderer Verkehrsinfrastrukturen ein.

Für die Wasserinfrastruktur sind keine besonderen Schäden oder signifikante klimatische Auswirkungen zu verzeichnen, wenngleich die sommerlichen Dürreperioden der letzten Jahre (2021-2022) in einigen Südtiroler Gemeinden bereits zu einem vorübergehenden Wassermangel in der Trinkwasserversorgung, der Landwirtschaft und der Stromerzeugung aus Wasserkraft geführt haben. Die touristische Infrastruktur ist Risiken durch extreme Wetterereignisse ausgesetzt, die zu Sicherheitsproblemen und erhöhten Instandhaltungskosten führen. Die Kosten für die Wasserversorgung und den Schutz vor Erdbeben oder Überschwemmungen, die indirekt auch die Attraktivität der Orte gefährden, steigen ebenfalls.

Potenzielle Zukunftssituation

Es ist davon auszugehen, dass die Kosten durch Unterbrechungen und die Instandhaltung der Infrastruktur durch das intensivere Auftreten von Extremereignissen steigen werden (Forzieri et al., 2018). Es ist auch damit zu rechnen, dass die Schäden an der linearen Infrastruktur zunehmen werden. Ein Teil der Infrastruktur wird zu bestimmten Zeiten nicht benutzbar sein, ein anderer Teil wird aus Sicherheitsgründen oder für außerordentlichen Unterhaltsarbeiten länger geschlossen werden müssen, und die Standortwahl sowie die Bau-, Betriebs- und Unterhaltsmodalitäten müssen überdacht werden. Darüber hinaus kann eine Überschreitung der Temperatur- oder Niederschlagsgrenzwerte zu einer möglichen Verformung bestimmter Materialien führen (Asphalt, Brückenbaumaterialien, Kabel und Masten usw.). Bei extremen Wetterbedingungen könnte es zu großflächigen Stromausfällen kommen. Darüber hinaus kann der Klimawandel, wie im Jahr 2023 in einigen Gebieten der Region Venetien beobachtet, in zunehmendem Maße für den mangelnden Signalempfang verantwortlich sein, da hohe Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit zu Anomalien in der Atmosphäre führen (Nast, 2023).

Anpassungspotenzial

Bestehende Infrastrukturen können unter Berücksichtigung klimatischer Trends, der Analyse von Vulnerabilitäten und spezifischen Gefährdungssituationen angepasst werden, um sie zu verbessern und ihre Widerstandsfähigkeit zu erhöhen. Darüber hinaus können koordinierte und innovative Strategien der zuständigen Stellen unter Berücksichtigung der Vernetzung und gegenseitigen Abhängigkeit der Infrastrukturen (wie z.B. die Wasserversorgung immer von der Stromversorgung) dazu beitragen, die negativen Auswirkungen abzumildern.

Einschränkungen ergeben sich wiederum vor allem aus der physischen Beschaffenheit des Territoriums, das durch enge Räume und eine ausgedehnte Infrastruktur gekennzeichnet ist. Darüber hinaus muss die Infrastruktur den bestehenden regulatorischen und rechtlichen Beschränkungen bzw. Standards entsprechen, die möglicherweise nicht ausreichend an den Klimawandel angepasst sind (→ Kapitel 5). Dies erfordert häufig eine Überarbeitung der Vorschriften und Gesetze, um die Anpassung und proaktive Resilienzsteigerung der Infrastruktur zu ermöglichen.

Viele Maßnahmen sind sehr zeitaufwendig, weshalb zwingend vorübergehende Lösungen und Technologien ergänzend vorzusehen sind. Die Ungewissheit über die Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse kann die langfristige Planung und die Projektierung einer ausreichend widerstandsfähigen Infrastruktur erschweren. Darüber hinaus können kumulative Auswirkungen und die Vernetzung von Systemen das Management der Infrastrukturanpassung verkomplizieren. Mit wirtschaftlichen, politischen und sozialen Faktoren zusammenhängende Interessenkonflikte können die Anpassung behindern, wie z.B. möglicher Widerstand gegen die Stilllegung von Infrastruktur in Risikogebieten aufgrund kurzfristiger wirtschaftlicher Interessen. Einige Eingriffe an bestimmten Infrastrukturtypen fallen nur teilweise in die Zuständigkeit der Provinz und erfordern die Zusammenarbeit mit dem Staat. Letztendlich können auch die Orografie und das Gebirgssystem die verfügbaren Optionen beeinflussen, was oft andere Lösungen erfordert als jene, welche in flacheren Gebieten zur Verfügung stehen.

4.7.3 Kulturerbe

Dieses Teilsystem betrifft Landschaften, historische oder traditionelle Gebäude, Stätten, sogenannte „kleinere“ Bauwerke oder Strukturen (Kapellen, Kirchen, Aussichtspunkte), Museen und Gebäude zur Aufbewahrung und Nutzung des Kulturerbes sowie materielle und immaterielle Netzwerke.

Ursachen für die Risiken

Die wichtigsten Faktoren sind extreme hydrometeorologische Ereignisse sowie Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen, die zu direkten und indirekten Schäden an den Bauwerken führen können. Besonders exponiert und vulnerabel ist das „kleinere“ Erbe von Artefakten, Bauwerken und zu schützenden Aspekten, das auch in abgelegenen Berggebieten bis in große Höhen weit verbreitet ist. Das Kulturerbe ist außerdem eng mit der ansässigen Bevölkerung verknüpft, mit ihrem Wissen und ihrer Bereitschaft, das materielle und immaterielle Erbe zu pflegen und zu schützen.

Aktuelle Situation

Historisch gesehen wurden kulturelle Gebäude gemeinsam mit den für die lokalen Gemeinschaften wichtigsten zivilen Bauten (als „großes“ materielles Kulturerbe bezeichnet) in der Regel in sicheren Gebieten errichtet. Dennoch können Hagel, Sturm, Starkregen, Erdbeben und Muren die wichtigsten Gebäude direkt beschädigen (insbesondere Dächer, Fenster, Keller usw.), aber vor allem am „kleinen“ Kulturerbe wie beispielsweise an Bildstöcken, Kirchlein, Aussichtspunkten usw., das in einer Bergregion wie Südtirol einen beträchtlichen Teil des kulturellen Erbes ausmacht und über das gesamte Land verteilt ist, Schäden verursachen. Einer der Faktoren, der das Kultur- und Naturerbe besonders anfällig für die Auswirkungen des Klimawandels macht, ist das Fehlen spezifischer Schutzmaßnahmen in nationalen Plänen und Strategien zur Risikominderung, Anpassung und zum Klimaschutz.

Potenzielle Zukunftssituation

Zusätzlich zu den Fakten, die bereits zur aktuellen Situation dargelegt wurden, könnten weitere schwere Schäden an den wichtigsten Gebäuden die darin aufbewahrten Kunstwerke gefährden, was hohe gemeinschaftliche Kosten für deren Reparatur verursachen wird. Darüber hinaus ist auch der mögliche Rückgang der Einnahmen aus dem Tourismussektor zu berücksichtigen, der durch den Verlust von Kulturerbestätten verursacht werden könnte.

Anpassungspotenzial

Seit Mai 2023 bietet die Aufnahme von Anpassungsmaßnahmen in das neue Landesgesetz über das kulturelle Erbe einen rechtlichen Rahmen für den Schutz, die Erhaltung und die Instandhaltung des Kulturerbes Südtirols. Schulungen, die darauf abzielen, traditionelle und handwerkliche Bautechniken mit modernen Technologien zu verbinden und gleichzeitig das Bewusstsein für die Bedeutung des Kulturerbes und die durch den Klimawandel verursachten Schäden zu schärfen, eröffnen weitere Möglichkeiten. Außerdem sollte im Zivilschutzsystem dem Schutz des kulturellen Erbes bei Extremereignissen letztlich Priorität beigemessen werden.

Das Vorhandensein von Privateigentum an kulturellen Stätten oder Bauwerken und der unveränderliche Standort vieler Infrastrukturen stellen erhebliche Hindernisse für das Management und den Schutz des kulturellen Erbes dar.

Die hohen Kosten, die mit der Erhaltung und dem Schutz sowohl des großen als auch des kleinen, oft in Privatbesitz befindlichen kulturellen Erbes verbunden sind, stellen eine Herausforderung dar. Darüber hinaus schränken mangelndes Wissen über die Infrastruktur des „kleinen“ Kulturerbes und die Schwierigkeit, die entsprechenden Kosten zu quantifizieren, die effiziente Verwaltung des kulturellen Erbes weiter ein.

Schlüsselrisiken

Die Hauptrisiken betreffen die Gesundheit und das Wohlergehen der ansässigen Bevölkerung durch die Beeinträchtigung der Lebensqualität infolge von Schäden an Gebäuden und Infrastruktur sowie durch die mangelhafte Anpassung der Siedlungen an den Klimawandel. Es besteht weiters die Gefahr der Entvölkerung oder Abwanderung der Bevölkerung (innerhalb und außerhalb Südtirols).

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Risiko für Schäden und Qualitätsminderungen an Wohngebäuden, Produktionsgebäuden, Transportinfrastruktur und öffentlichen Bereichen durch Extremereignisse
- Risiko für Schäden und Qualitätseinbußen an Infrastruktur und Gesundheitsdiensten aufgrund steigender Temperaturen und der Zunahme von Extremereignissen
- Risiko für Schäden und Qualitätsverluste an kommunalen und gemeinschaftlichen Infrastrukturen und Dienstleistungen aufgrund steigender Temperaturen und vermehrter Extremereignisse
- Risiko für Schäden, Verlust und Qualitätsminderung des Kulturerbes durch steigende Temperaturen, Hitzewellen und Extremereignisse
- Verlust der territorialen und touristischen Attraktivität durch den Verlust und die Beschädigung des kulturellen Erbes und entsprechende Auswirkungen auf den Winter- und Sommertourismus

Anpassungspotenzial

Die Entwicklung einer Kosten-Nutzen-Analyse der Maßnahmen zur Anpassung an bestimmte Risiken wäre hilfreich, um Prioritäten zu setzen und sich auf bestimmte Bereiche zu konzentrieren. Die aktive Einbindung aller für den Betrieb der Infrastruktur zuständigen Stellen könnte die Wirksamkeit der Maßnahmen erhöhen und sie bedarfsorientierter gestalten. Die Sensibilisierung für Maßnahmen im Zusammenhang mit *green infrastructures* (EUA, 2020) und naturbasierten Lösungen könnte neue Handlungsmöglichkeiten eröffnen.

Mangelndes Bewusstsein und möglicherweise unzureichender politischer Wille auf provinzieller und lokaler Ebene können in Verbindung mit begrenzten finanziellen Mitteln und konkurrierenden Prioritäten erhebliche Hindernisse für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen und die Einführung nachhaltiger Lösungen darstellen (Discussing Climate Change Impacts and Risks to Cities, Settlements, and Infrastructure (climateadaptationplatform.com)).

Literatur

- ASTAT. (2023). 7. *Allgemeine Landwirtschaftszählung – 2020* [dataset]. https://astat.provinz.bz.it/de/aktuelles-publikationen-info.asp?news_action=4&news_article_id=675776
- EEA. (2020). *The European environment—State and outlook 2020—European Environment Agency* [Publication]. <https://www.eea.europa.eu/soer/publications/soer-2020>
- Forzieri, G., Bianchi, A., Silva, F. B. e, Marin Herrera, M. A., Leblois, A., Lavalle, C., Aerts, J. C. J. H., & Feyen, L. (2018). Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. *Global Environmental Change*, 48, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007>
- Global Commission on Adaptation. (2019). *ADAPT NOW: A GLOBAL CALL FOR LEADERSHIP ON CLIMATE RESILIENCE*. https://gca.org/wp-content/uploads/2019/09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf
- ISPRA. (2022). *Il Clima in Italia nel 2022* (Report di Sistema 36; SNPA - Report des Systems). Nationales System für den Umweltschutz. http://www.scia.isprambiente.it/wwwrootscia/Documentazione/Rapporto_clima_SNPA_2022.pdf
- Nast, C. (2023, ottobre 17). *La crisi del clima sta oscurando alcuni canali Rai*. Wired Italia. <https://www.wired.it/article/rai-canal-non-si-vede-veneto-clima/>
- Portugal-Perez, A., & Wilson, J. S. (2012). Export Performance and Trade Facilitation Reform: Hard and Soft Infrastructure. *World Development*, 40(7), 1295–1307. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.12.002>
- Autonome Provinz Bozen. (2023a). *Piano comunale per il territorio e il paesaggio*. <https://natur-raum.provinz.bz.it/it/piano-comunale-per-il-territorio-e-il-paesaggio>
- Autonome Provinz Bozen. (2023b). *Piano delle zone di pericolo (PZP)*. <https://pericoli-naturali.provincia.bz.it/it/piano-delle-zone-di-pericolo-pzp>

- Pudyastuti, P. S., & Nugraha, N. A. (2018). Climate change risks to infrastructures: A general perspective. *AIP Conference Proceedings*, 1977(1), 040030. <https://doi.org/10.1063/1.5043000>
- Vallejo, L., & Mullan, M. (2017). *Climate-resilient infrastructure*. 121. <https://doi.org/10.1787/02f74d61-en>
- Zebisch, M., Vaccaro, R., Niedrist, G., Schneiderbauer, S., Streifeneder, T., Weiß, M. L., Troi, A., Renner, K., Pedoth, L., Baumgartner, B., & Bergonzi, V. (2018). *Klimareport Südtirol 2018*. Bozen: Eurac Research. <https://webassets.eurac.edu/31538/1618826782-klimareport-2018-de.pdf>

4.8 Energie

Autorin und Autoren: Steffi Misconel, Matteo Giacomo Prina, Wolfram Sparber

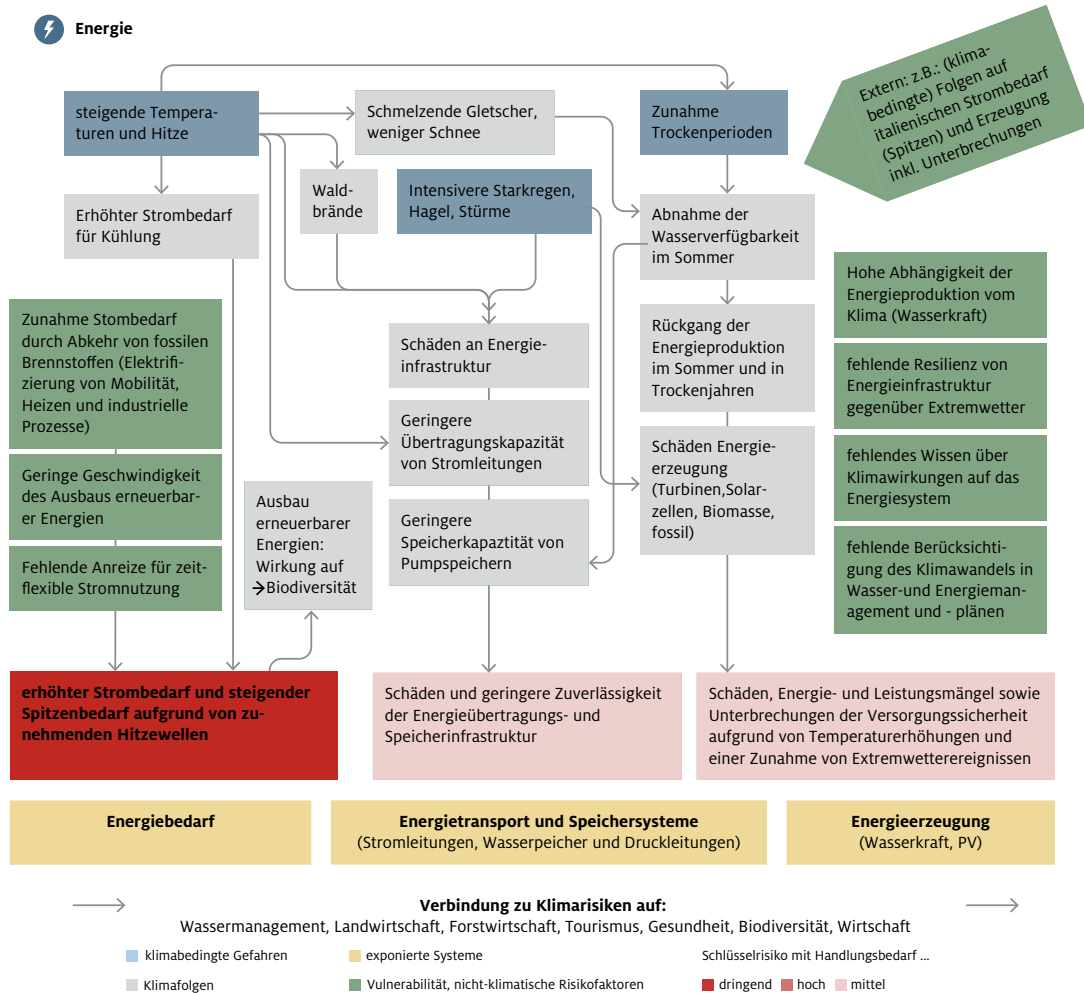


Abbildung 22: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität des Energiesektors

Einleitung

Die Südtiroler Energielandschaft steht vor besonderen Herausforderungen, insbesondere angesichts der Serie von extremen Wetterereignissen seit 2018 (z.B. Sturm Vaia im Oktober 2018). Das lokale Energiesystem wurde in den letzten Jahren auf eine harte Probe gestellt. Es können drei kritische Teilsysteme unterschieden werden:

1. **Energienachfrage:** Südtirol leidet unter den unvorhersehbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Energienachfrage in den Bereichen Strom, Wärme, Kälte und Verkehr. Von den Verwüstungen durch den Sturm Vaia im Oktober 2018 mit Überschwemmungen und umgestürzten Bäumen bis zu den extremen Niederschlägen, die im November 2019 zu Stromausfällen und im August 2020 zu Überschwemmungen führten, hat die Nachfrage nach Energieressourcen turbulente Zeiten erlebt.
2. **Energietransport und -speicherung:** Von den extremen Wetterereignissen waren vor allem die Übertragungsnetze für Strom und Fernwärme betroffen. In den Stromübertragungsnetzen kam

es zu Unterbrechungen. Die Starkregenereignisse im Oktober und Dezember 2020 sowie Murenabgänge, Stürme und Überschwemmungen haben die Verletzlichkeit der Energieübertragungs- und -speichersysteme aufgezeigt.

3. **Energieerzeugung und Umstellung auf andere Energiequellen:** Der Sektor der Umstellung auf andere Energiequellen, der Wärmekraftwerke (in Südtirol Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen), Wasserkraftwerke und erneuerbare Energiequellen umfasst, musste sich den Herausforderungen der extremen Wetterereignisse stellen. Von den Auswirkungen starker Regenfälle und extremer Schneefälle im Dezember 2020 bis hin zur Hitzewelle im Juli 2022 und der einhergehenden großen Trockenheit war die Energiewende mit unvorhersehbaren Szenarien konfrontiert.

Um die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zu verbessern, hat das Energiesystem Südtirols im Einklang mit den Dekarbonisierungszielen der EU einen grundlegenden Wandel eingeleitet. Südtirol hat sich zum Ziel gesetzt (European Commission, 2023a, 2023b), bis 2040 klimaneutral zu werden (Autonome Provinz Bozen Südtirol, 2022), was eine Anpassung der Energiepolitik an die Realität des Klimawandels unumgänglich macht. Es sind weitere Maßnahmen erforderlich, um die Klimaschutzaspekte vollständig in die lokalen Energiepläne und -strategien zu integrieren.

4.8.1 Energienachfrage

Ursachen für die Risiken

Klimatische Faktoren

Temperaturveränderungen: Modellbasierte Studien zeigen, dass die Temperaturveränderungen die gesamte Energienachfrage in den kälteren Ländern Europas reduzieren werden, während sie in wärmeren Ländern zu einem Anstieg der Energienachfrage führen (Harang et al., 2020; Pérez-Andreu et al., 2018). Andere Studien verdeutlichen, dass die Anzahl der Heizgradtage in Europa von 1981 bis 2017 durchschnittlich um 6,5 Heizgradtage (HDD) pro Jahr gesunken ist, während die Anzahl der Kühlgradtage (CDD) im gleichen Zeitraum um 0,9 Kühlgradtage gestiegen ist (Eurostat, 2024; Spinoni et al., 2018, 2015). In Italien, Spanien und Frankreich wird der absolute Anstieg des Spitzenstrombedarfs für die Kühlung voraussichtlich am stärksten sein (Damm et al., 2017). Für Italien ist ein durchschnittlicher jährlicher Anstieg der Kühlgradtage von 6,97 CDD (von 1979 bis 2022) zu verzeichnen, während die Heizgradtage einen durchschnittlichen jährlichen Rückgang von 11,63 HDD aufweisen (Eurostat, 2024). Für die Region Trentino-Südtirol zeigen die Ergebnisse (Morlot et al., 2023), dass die Gemeinden und Städte in der Region zwischen 1980 und 2018 einem zunehmenden Risiko von Hitzewellen ausgesetzt waren, während das Risiko von Kältewellen im gleichen Zeitraum stabil blieb.

Veränderung der Wasserverfügbarkeit: Veränderungen in der Wasserverfügbarkeit können zu einer erhöhten Energienachfrage aufgrund eines erhöhten Bewässerungsbedarfs (z.B. für Landwirtschaft und Haushalte) führen (Caldera & Breyer, 2020).

Veränderungen der extremen Wetterereignisse: Extreme Wetterereignisse stellen weitere Herausforderungen für den Energiebedarf im Kontext der Gebäudeinfrastruktur dar. Hitzewellen können zu einer Überhitzung der Transformatoren und zu einer Überlastung des Systems durch erhöhten Kühlbedarf führen, insbesondere dort, wo Klimaanlage erforderlich sind (Abdin et al., 2019).

Nicht-klimatische Faktoren

Nichtklimatische Faktoren wie die Elektrifizierung des Verkehrs-, Wärme- und Industriesektors sowie die Einführung von Elektrolyseuren zur Wasserstoffherzeugung werden in Zukunft zu einem deutlichen Anstieg des Stromverbrauchs führen. Um diesen Bedarf zu decken, ist ein erheblicher Ausbau der erneuerbaren Energien erforderlich, der mit der wachsenden Nachfrage nach emissionsfreier Elektrizität nicht Schritt halten kann.

Aktuelle Situation

Der Sommer 2022 war für Südtirol, aber auch für andere italienische Regionen und europäische Länder wie Griechenland und Spanien, eine große Herausforderung, da es wiederholt zu lang anhaltenden Hitzewellen kam, die mit extrem hohen Energiepreisen verbunden waren (Copernicus, 2023). Bei der Nachfrage nach Wärmeenergie für Heizzwecke verzeichnet Italien im Zeitraum 1979-2022 einen durchschnittlichen jährlichen Rückgang von 11,63 HDD, was einem durchschnittlichen Rückgang von -10 % gegenüber 1979 entspricht (Eurostat, 2024). Die Nachfrage nach Strom für Kühlzwecke wird jedoch voraussichtlich steigen, da ein durchschnittlicher jährlicher Anstieg von 6,79 HDD zu verzeichnen ist. Für Österreich sind die Veränderungen der Heiz- und Kühlgradtage noch extremer. In den Jahren 1979 bis 2022 gingen die Heiztage in Österreich um durchschnittlich 302,05 HDD zurück, während die Kühlgradtage um 16,19 CDD zunahmen (Eurostat, 2024). In Südtirol steigt die Stromnachfrage bereits durch den Umstieg auf Elektrofahrzeuge. Im Jahr 2022 stieg der Absatz von Elektro- und Hybridfahrzeugen um 40 %, während der Absatz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor um 22 % zurückging (ACI, 2020). Darüber hinaus führte der Ausbau der Wärmepumpen auch in Südtirol zu einem deutlichen Anstieg der Stromnachfrage. Laut ISTAT-Zählung wurden in Südtirol bisher ca. 300 Wärmepumpen mit Mitteln aus dem Landesbudget gefördert, von denen im Jahr 2021 über 100 installiert wurden. Die Daten der „KlimaHaus-Zertifizierung“ zeigen, dass zwischen 2014 und 2021 rund 868 Wärmepumpen in zertifizierten Gebäuden installiert wurden, davon 737 in Neubauten. Bis zum Jahr 2045 müssen in Südtirol schätzungsweise 80.000 fossile Heizungsanlagen vor allem durch Wärmepumpen ersetzt werden. Bis zum Jahr 2030 soll sich der Anteil der Wärmepumpen am Wärmebedarf der Neubauten in Südtirol außerhalb der Fernwärmegebiete im Vergleich zum Jahr 2019 verdreifachen (Südtiroler Landtag, 2024).

Potenzielle Zukunftssituation

Der Strombedarf wird sich bis 2060 voraussichtlich verdoppeln. Dies liegt daran, dass die Dekarbonisierung des Stromsektors im Vergleich zu anderen Sektoren leichter erfolgt, sowie an der zunehmenden Urbanisierung und den technologiegetriebenen Lebensstilen, die zu einem höheren Stromverbrauch führen (Troccoli, 2018). In den meisten europäischen Ländern wird erwartet, dass der Klimawandel die durchschnittliche Stromnachfrage erhöhen wird und die Spitzenlasten bis 2050 um etwa 2 % steigen könnten (Wenz et al., 2017). In Südtirol besteht die zukünftige Herausforderung darin, den steigenden Strombedarf aus der Elektrifizierung der Sektoren Verkehr, Wärme und Industrie durch alternative Stromerzeugungsquellen (unter anderem Photovoltaik, Biomasse, Biogas, etc.) zu decken. Dies ist von besonderer Bedeutung, da steigende Temperaturen eine Verringerung der Wasserressourcen zur Folge haben können, wodurch der Betrieb von Wasserkraftwerken bei voller Kapazität eingeschränkt wird.

4.8.2 Energietransport und -speicherung

Ursachen für die Risiken

Klimatische Faktoren

Temperaturveränderungen: Höhere Temperaturen und Hitzewellen können die Kapazität von Stromleitungen und Transformatoren verringern. Wie Studien belegen, kann die Übertragungskapazität um etwa 1,5 % pro Grad sommerlicher Überhitzung sinken (Burillo et al., 2019; Sathaye et al., 2013). Dieser Kapazitätsabbau stellt eine Bedrohung für die Sicherheit der Stromversorgung während Hitzeperioden dar, insbesondere wenn gleichzeitig eine große Nachfrage nach Strom für Kühlzwecke besteht.

Veränderungen der extremen Wetterereignisse: Überflutungen können die Energieinfrastrukturen wie Umspannungswerke beschädigen (Varianou Mikellidou et al., 2018). Starke Winde sowie Hagel-, Eis- und Schneestürme können auch die Infrastruktur beeinträchtigen, die Energie transportiert und speichert. Stromausfälle und teure Reparaturen können die Folge sein (Rübbelke & Vögele, 2011).

Nicht-klimatische Faktoren

Auch nicht-klimatische Faktoren wie eine unzureichende Widerstandsfähigkeit und Flexibilität der Infrastruktur, unzureichende Schutzmaßnahmen und begrenzte Frühwarn- und Reaktionsmöglichkeiten tragen zu den Risiken bei. Darüber hinaus können Veränderungen und Konflikte in der Landnutzung, die

steigende Nachfrage nach erneuerbaren Energien sowie der technologische Fortschritt erhebliche Auswirkungen auf die Energieinfrastruktur und die Speichersysteme haben.

Aktuelle Situation

Die extremen Wetterereignisse haben bereits Schäden an der elektrischen Infrastruktur im Alpenraum verursacht. Im Oktober 2018 hat der Sturm Vaia diverse Schäden im Nordosten Italiens (E-Distribuzione, 2020) und im Schweizer Übertragungsnetz (Swissgrid, 2023) verursacht. Der Sturm Vaia, der im Oktober 2018 auch Südtirol heimsuchte, hatte gravierende Auswirkungen auf das Stromnetz. In mehreren Landesteilen kam es zu großflächigen, tagelangen Stromausfällen durch umgestürzte Bäume und beschädigte Infrastruktur. Vor allem in den Gebirgslagen waren Hochspannungsleitungen und Schaltanlagen stark betroffen. Der Wiederaufbau des Netzes erforderte erhebliche Ressourcen. Das Interesse an dezentralen Energielösungen wie Generatoren und Solaranlagen ist gestiegen. Das Ereignis machte deutlich, dass das Netz widerstandsfähiger gemacht werden muss, unter anderem durch die Verlegung von Erdkabeln.

Potenzielle Zukunftssituation

In Südtirol ist ein erheblicher Ausbau der Übertragungs- und Speicherinfrastruktur für die Integration erneuerbarer Energien erforderlich. Die Modernisierung der Stromnetze und die Entwicklung von Smart Grids sind von entscheidender Bedeutung, um den wachsenden Anteil intermittierender erneuerbarer Energien aufnehmen zu können (Becker et al., 2014; Schaber et al., 2012). Um die Schwankungen der erneuerbaren Energien zu beherrschen, ist die Erhöhung der Energiespeicherkapazität von entscheidender Bedeutung. In Südtirol sind der Ausbau der bestehenden Wasserkraftwerke und die Errichtung von Pumpspeicherkraftwerken geplant, außerdem ist eine zunehmende Verbreitung von großen Batteriespeichern vorgesehen (IEA, 2021). Der Einsatz von Elektrofahrzeugen, Hausbatterien und intelligenten Geräten kann die Speicherverfügbarkeit und die Belastbarkeit des Systems ebenfalls erheblich verbessern. Allerdings könnten die Beschränkungen der derzeitigen Batterietechnologie das Wachstum bremsen.

4.8.3 Energieerzeugung und Umstellung auf andere Energiequellen

Wasserkraftwerke

Ursachen für die Risiken

Klimatische Faktoren

Temperaturveränderungen: Wasserkraftwerke mit großen Stauseen können kurzfristige Abflussänderungen gut verkraften, leiden aber unter den Auswirkungen steigender Temperaturen, der Verdunstung aus dem Stausee und abnehmender Niederschläge (IHA, 2022; Yang et al., 2021). Der Temperaturanstieg kann die Betriebskosten der Wasserkraftwerke erhöhen, den Wirkungsgrad der Anlagen beeinträchtigen und mechanische Belastungen verursachen (Solaun & Cerdá, 2019).

Veränderungen der Wasserverfügbarkeit: Der Gletscherschwund kann zunächst die Stromerzeugung aus Wasserkraft erhöhen, aber auch zu Stromausfällen und Turbinenschäden führen und langfristig die Wasserführung von Fließgewässern verringern (Gaudard et al., 2014; IHA, 2022; Patro et al., 2018). Darüber hinaus könnte der Gletscherrückgang in Südtirol zu einem verstärkten Sedimenttransport in den Flüssen führen. Eine unzureichende Bewirtschaftung dieser Sedimente kann dazu führen, dass sie sich in den Stauseen ansammeln und so die Speicherkapazität verringern. Außerdem können die Sedimente in die Wassereinlasskanäle fließen, was zu einer Verringerung des Durchflusses und einer Verschlechterung der Turbinen führt. Darüber hinaus analysieren Savelsberg et al. (2018), dass die Erträge von Speicherkraftwerken stärker von Trockenheit durch den Klimawandel betroffen sind als die Erträge von Laufwasserkraftwerken. Laufwasserkraftwerke können einen Teil der Gesamterlösverluste aufgrund geringerer Zuflüsse kompensieren, indem sie die Produktion während der Preisspitzen im Winter aufgrund einer günstigeren Saisonalität der Zuflüsse erhöhen.

Veränderungen der extremen Wetterereignisse: In Südtirol könnten die sich verändernden Klimadynamiken die Häufigkeit und Schwere von Überschwemmungen verstärken. Die erwartete Zunahme extremer Niederschlagsereignisse könnte die Kapazität der Stauseen ausreizen, was eventuell auch zu Überläufen und demzufolge zu Beschädigungen der Wasserkraftwerke führen könnte (Gobiet et al., 2014). Die Prognosen deuten darauf hin, dass die höheren Temperaturen zu ausgeprägteren Trockenperioden beitragen werden, was sich auf den Wasserzufluss in die Speicherseen der Wasserkraftwerke auswirken wird. Darüber hinaus wird der durch die wärmeren Bedingungen verursachte Rückgang der alpinen Schneedecke unterhalb bestimmter Höhenlagen (um etwa 1500-2000 Meter) dazu führen, dass weniger Schmelzwasser in die Flüsse gelangt, was sich ebenso negativ auf die zuverlässige Wasserversorgung für die Energieerzeugung auswirken wird (Gobiet et al., 2014). Durch den Temperaturanstieg beschleunigte Prozesse wie das Abschmelzen von Gletschern und das Auftauen von Permafrostböden werden voraussichtlich häufiger zu Muren, Rutschungen und heftigen Geröllströmen führen. Insbesondere Felsstürze sind im südlichen Teil Südtirols häufiger anzutreffen, während eine hohe Dichte an Erdbeben im östlichen und nördlichen Teil der Provinz zu verzeichnen ist. Murgänge werden hauptsächlich im Norden und Westen beobachtet. Obwohl sie nicht unbedingt eine Gefahr darstellen, ist die Dichte von Blockgletschern im westlichen Teil Südtirols hoch (Schlögel et al., 2020). Diese Ereignisse gefährden nicht nur die unmittelbar angrenzenden Gebiete, sondern können auch zu Betriebsunterbrechungen von flussabwärts gelegenen Wasserkraftwerken führen, was erhöhte Instandhaltungskosten und möglicherweise längere Ausfallzeiten zur Folge hat (Gobiet et al., 2014).

Nicht-klimatische Faktoren

Weitere Herausforderungen für die Südtiroler Wasserkraftwerke sind nicht-klimatische Faktoren und Vulnerabilitäten wie begrenzte Wasserspeicher- und Transportkapazitäten, Veränderungen der Wassernachfrage und des Wasserpreises sowie wirtschaftliche Schwankungen aufgrund geopolitischer Situationen. Die Unfähigkeit, sich an wechselhafte Abflussmuster anzupassen, und unzureichende Anpassungsmaßnahmen können zu einer suboptimalen Energieerzeugung oder zum Stillstand der Kraftwerke in den Zeiten mit reduziertem Durchfluss führen.

Aktuelle Situation

Die Wasserkraft ist die wichtigste Stromquelle in Südtirol und deckt etwa 85 % des Bedarfs (Gesamtstrombedarf von 4.992 GWh im Jahr 2022) (TERNA, 2024). Die restlichen 15 % werden durch thermoelektrische Anlagen (9 %) und Photovoltaik (6 %) gedeckt. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft kann etwa doppelt so hoch sein wie der Bedarf, aber auf stündlicher Basis gibt es Momente der Überproduktion, in denen überschüssige Energie exportiert wird, und Momente des Defizits, in denen Energie aus dem italienischen Netz importiert wird.

Potenzielle Zukunftssituation

Insbesondere der Rückgang der Schneeakkumulation aufgrund steigender Temperaturen dürfte die Verlagerung der Abflussmengen vom Winter auf das späte Frühjahr und den Sommer verringern, was die Wasserkraftunternehmen in Südtirol dazu veranlasst, ihre Wasserbewirtschaftungsstrategien zu überprüfen, um ihre Einnahmen zu maximieren. Das Ausmaß der Veränderungen des Abflusses und des Wasserkraftpotenzials variiert je nach Standort und ist im Allgemeinen in höheren Lagen aufgrund der unregelmäßigen Zunahme der Niederschläge größer. Der relative Anstieg des Zuflusses ist bei Stauseen in höheren Lagen sogar größer als bei Stauseen in niedrigeren Lagen (Majone et al., 2016). Eine weitere Studie über den Alpenraum zeigte eine Verschiebung hin zu einer erhöhten Wasserführung im Winter/Frühjahr und einer geringeren Wasserführung im Sommer (Wagner et al., 2017). Für die Schweiz – Fallstudie des Wasserkraftwerks Mattmark – wurden für ein von Schnee und Eis dominiertes Wasserkraftwerk ähnliche saisonale Abflussverschiebungen und bis 2050 ein potenzieller Verlust in der Stromproduktion von bis zu 27 % prognostiziert (Anghileri et al., 2018).

Erneuerbare Energiequellen

Ursachen für die Risiken

Klimatische Faktoren

Temperaturveränderungen. Eine Studie von Plaga & Bertsch (2023) hebt hervor, dass Solarkraftwerke in zweierlei Hinsicht von den Klimavariablen beeinflusst werden. Erstens hat die Sonneneinstrahlung einen direkten Einfluss auf die Produktion der Solarmodule und zweitens reduzieren die höheren Lufttemperaturen den Wirkungsgrad der Module. Andere Studien schätzen, dass die Effizienz der Photovoltaikmodule pro Grad Celsius Temperaturerhöhung um etwa 0,5 % sinkt (Solaun & Cerdá, 2019). Andere wiederum beobachten, dass der durch den Klimawandel bedingte Temperaturanstieg durch die Wärmebelastung und die Temperatur der Übergänge der Photodioden zu häufigeren Störungen bei den Solarmodulen führt (Altamimi & Jayaweera, 2021). Veränderungen in der Sonneneinstrahlung und der Bewölkung können außerdem zu Veränderungen anderer Faktoren wie Schmutz, Staub, Schnee, atmosphärische Partikel und anderer Elemente beitragen, die sich auf die Leistung von Photovoltaikanlagen auswirken. Veränderungen der Niederschlagsmuster und der saisonalen Temperaturverteilung könnten die Wachstumsbedingungen der Biomasse durcheinander bringen, und zwar durch die Beeinflussung des Feuchtigkeitsgehalts der Biomasse, was letztlich zu Veränderungen in der Biomasseproduktion und zu einem Rückgang des Energiegehalts führt (Herraiz et al., 2023; Solaun & Cerdá, 2019). Eine reduzierte Wasserverfügbarkeit könnte auch zu Schwierigkeiten in der Biomasseerzeugung führen, einschließlich des Betriebs der wassergekühlten Systeme. Außerdem könnte ein Temperaturanstieg die Betriebskosten erhöhen und sich auf die Effizienz der Ausrüstungen und der Wärmeerzeugung der Biomasseanlagen auswirken (Solaun & Cerdá, 2019; Subramanian et al., 2019). Die Interaktion zwischen Variablen wie Temperaturanstieg, Veränderungen der Niederschläge und der Sonneneinstrahlung könnte das Auftreten von Schädlingen verändern und Brände verursachen, was für die erneuerbaren Energiequellen – und insbesondere für Biomasseanlagen – eine Bedrohung darstellt (Zhao & Li, 2015).

Veränderungen der extremen Wetterereignisse. Hagelstürme stellen ein besonderes Risiko für Solarpaneele dar, und das vor allem in Bergregionen und im Voralpengebiet (EEA, 2019).

Durch den Klimawandel bedingte Faktoren wie Borkenkäferbefall, Hitzewellen, Dürreperioden und Waldbrände beeinträchtigen die Wälder in Europa (Kopáček et al., 2020). In den letzten Jahren wurde an mehreren Standorten in Südtirol ein erheblicher Waldrückgang beobachtet. Diese Ereignisse wirken sich nachteilig auf die Verfügbarkeit von Biomasse aus und können die Nachhaltigkeit der Energieerzeugung aus Biomasse beeinträchtigen.

Nicht-klimatische Faktoren

Nicht-klimatische Faktoren wie mangelndes Bewusstsein für die mit dem Klima verbundenen Risiken, unzureichende Widerstandsfähigkeit der Infrastrukturen, Änderungen des Wassernachfrage und der Wasserpreise sowie Änderungen der Bodennutzung können die Erzeugung von Solar- und Biomasseenergie in Südtirol beeinflussen. Insbesondere kann sich der Wettbewerb um Wasser- und Bodenressourcen auf die Verfügbarkeit und Eignung von Flächen für die Energieerzeugung aus Biomasse auswirken.

Aktuelle Situation

Die wichtigsten erneuerbaren Energiequellen im Südtiroler Energiesystem sind die Photovoltaik und die Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung (TERNA, 2024). Die installierte Leistung der Photovoltaik beträgt etwa 377 MW (Ende 2023) (GSE, 2024) mit einer jährlichen Produktion von 396 GWh (angenommene Volllaststunden 1050 h/Jahr). Darüber hinaus betrug der Bruttoendenergieverbrauch aus erneuerbaren Quellen in Südtirol im Jahr 2020 29 ktöe für Bioenergie (feste Biomasse 12 ktöe, Biogas 5 ktöe, flüssige Biobrennstoffe 12 ktöe) (GSE, 2024).

Potenzielle Zukunftssituation

Für die Zukunft wird in Europa ein moderater Anstieg der Solarproduktion erwartet, und zwar mit einem möglichen Rückgang der Einstrahlung im Norden und einer Zunahme derselben im Süden. Die

Gesamtauswirkungen einer Erwärmung um 1,5 °C, 2 °C und 3°C auf die Sonnenenergie werden auf weniger als +/-1 % geschätzt (European Commission, 2023c).

Für die Biomasse wird erwartet, dass sich für die Hitze geeignete Baumarten und Sommerkulturen in Nordeuropa ausbreiten, während Südeuropa einen Rückgang der Eignung für das Wachstum von Wäldern und der landwirtschaftlichen Erträge verzeichnen könnte (EEA, 2019). Die erhöhte Gefahr von Waldbränden, Hitze und Wasserstress wird sich negativ auf die Verfügbarkeit von Waldbiomasse in Südtirol auswirken.

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Höhere Energienachfrage und Zunahme des Spitzenbedarfs
- Beschädigung und geringere Zuverlässigkeit der Infrastruktur für Energietransport und -speicherung.
- Schäden, Energie- und Leistungsmangel sowie Unterbrechungen der Versorgungssicherheit.

Anpassungspotenzial

Im Folgenden werden einige Beispiele für Anpassungsmöglichkeiten, -beschränkungen und -grenzen für das Südtiroler Energiesystem aufgezeigt.

Tabelle 2. Anpassungsmöglichkeiten für das Südtiroler Energiesystem, gestützt auf die identifizierten Risiken des Klimawandels (angepasst aus IPCC, 2023)⁴

Risiko: Höhere Energienachfrage und Zunahme des Spitzenbedarfs	Risiko: Beschädigung und geringere Zuverlässigkeit der Infrastruktur für Energietransport und -speicherung	Risiko: Schäden, Energie- und Leistungsmangel sowie Unterbrechungen der Versorgungssicherheit
– Verstärkter Einsatz von Technologien zur Nachfragesteuerung – Geänderte Gebäudeplanung zur Verbesserung der Kühlung (z. B. Isolierung, Ausrichtung, Sonnenschutz für Fenster) – Effizienzstandards für Kühlgeräte – Frühwarnsysteme zur Änderung des Verhaltens für die Verbraucher und Verbraucherinnen – Erhöhung der Stromerzeugungskapazitäten durch Förderung von Technologien mit geringem Wasserbedarf (z. B. Photovoltaik)	– Klimasicherung von Infrastrukturen – Verbesserung und Anpassung der Wartungsmechanismen und Schadensbehebung – Anpassung der thermischen Auslegung der Geräte an höhere Temperaturen (z. B. Hochtemperaturtransformatoren, Leiter mit geringer Dämpfung usw.) – Verbesserung der elektrischen Verbindungsleitungen – Verbesserung der Vorhersagen und Planung – Verlagerungsoptionen identifizieren – Stilllegung älterer Infrastrukturen, wenn eine	– Eine Investition in zusätzliches Personal für die Reinigung der diversen Komponenten der Photovoltaikmodule könnte zu einer höheren Effizienz führen – Eine zuverlässige und nachhaltige Stromversorgung auf der Grundlage erneuerbarer Energiequellen, die auch kalte und dunkle Perioden überstehen kann (Dunkelflaute), erfordert eine Kombination aus Verbundnetzen und verschiedenen Flexibilitätsoptionen, darunter Wasserkraftspeicher, Batterien (z. B. aus Elektroautos), Power-to-Gas und flexible Gas- und Biomassekraftwerke – Angepasste landwirtschaftliche Praktiken (z.B. bessere Bewässerung, trockenheits- und/oder schädlingsresistentere Pflanzen) – Import von Biomasse von außerhalb Südtirols

	Nachrüstung wirtschaftlich nicht tragfähig ist – Verbesserung/Erneuerung der bestehenden Infrastruktur	– Ersatz von Monokulturen durch Mischwälder und Reduzierung von Kahlschlagflächen
--	---	---

Mehrere bedeutende Hindernisse bremsen die Fortschritte in der Anpassung an den Klimawandel im Energiesektor, darunter begrenzte Ressourcen, mangelnde Miteinbeziehung der Einzelpersonen und Bürgerinnen und Bürger, unzureichende Mobilisierung von Geldmitteln, fehlendes politisches Leadership und ein geringes Bewusstsein bezüglich der Dringlichkeit. Die meisten Anpassungsoptionen zur Bewältigung der Hauptrisiken hängen von begrenzten Wasser- und Bodenressourcen ab, was zu Konkurrenz und Kompromissen führt und sich mit Optionen zur Eindämmung und sozioökonomischen Entwicklungen überschneidet.

Die indikativen Anpassungsgrenzen für das Südtiroler Energiesystem können in technische, sozioökonomische, umweltbezogene und gesetzliche Grenzen unterteilt werden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die typischen Anpassungslimits

Tabelle 3. Vorläufige Anpassungsgrenzen für das Südtiroler Energiesystem (angepasst aus IPCC, 2023).

Technische Limits	Sozioökonomische Limits	Umweltbezogene und gesetzliche Limits
– Begrenzte Ressourcen für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen – Aufgrund der Anlageneigenschaften unmögliche technische/betriebliche Maßnahmen – Begrenzte Wirksamkeit der Maßnahmen im Falle eines schnellen, schwer abwehrbaren Klimawandels – Limits aufgrund der physischen Merkmale des Gebäudebestands	– Hohe Investitionen erforderlich – Zu risikoreiche Investitionen an besonders vulnerablen Standorten – Hohe Installationskosten für groß angelegte Anpassungen oder neue Infrastrukturen – Geringe Wahrscheinlichkeit, dass die Gefährdung die Investition für die Anpassung rechtfertigt – Komfort und Sicherheit	– Begrenzte Wasserressourcen – Konkurrierende Nutzung von Wasser – Standortänderung verboten – Begrenzte Flächen für Expansionen/Raumaufgaben für den Ausbau neuer (grüner) Infrastrukturen – Rechtsvorschriften über Gebäude und Ausrüstungen

Literatur

- Abdin, A.F., Fang, Y.P., Zio, E., 2019. A modeling and optimization framework for power systems design with operational flexibility and resilience against extreme heat waves and drought events. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 112, 706–719. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.06.006>
- ACI, 2020. Studi e ricerche - Dati e statistiche.
- Altamimi, A., Jayaweera, D., 2021. Reliability of power systems with climate change impacts on hierarchical levels of PV systems. *Electric Power Systems Research* 190, 106830. <https://doi.org/10.1016/J.EPSR.2020.106830>
- Anghileri, D., Botter, M., Castelletti, A., Weigt, H., Burlando, P., 2018. A Comparative Assessment of the Impact of Climate Change and Energy Policies on Alpine Hydropower. *Water Resources Research* 54, 9144–9161. <https://doi.org/10.1029/2017WR022289>
- Autonome Provinz Bozen Südtirol, 2022. Klimaplan Südtirol 2040.

- Becker, S., Rodriguez, R.A., Andresen, G.B., Schramm, S., Greiner, M., 2014. Transmission grid extensions during the build-up of a fully renewable pan-European electricity supply. *Energy* 64, 404–418. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.10.010>
- Burillo, D., Chester, M. V., Pincetl, S., Fournier, E., 2019. Electricity infrastructure vulnerabilities due to long-term growth and extreme heat from climate change in Los Angeles County. *Energy Policy* 128, 943–953. <https://doi.org/10.1016/J.EN-POL.2018.12.053>
- Caldera, U., Breyer, C., 2020. Strengthening the global water supply through a decarbonised global desalination sector and improved irrigation systems. *Energy* 200, 117507. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.117507>
- Copernicus, 2023. Europe continued to swelter in July.
- Damm, A., Köberl, J., Prettenhaler, F., Rogler, N., Töglhofer, C., 2017. Impacts of +2 °C global warming on electricity demand in Europe. *Climate Services* 7, 12–30. <https://doi.org/10.1016/J.CLISER.2016.07.001>
- E-Distribuzione, 2020. Quando Vaia sconvolge l'Italia [WWW Document]. *archivio-news*. URL <https://www.e-distribuzione.it/archivio-news/2020/10/quando-vaia-sconvolge-litalia.html>
- EEA, 2019. Adaptation challenges and opportunities for the European energy system - Building a climate-resilient low-carbon energy system (No. 01/2019), EEA Report. Copenhagen.
- Europe continued to swelter in July | Copernicus [WWW Document], n.d. URL <https://climate.copernicus.eu/europe-continued-swelter-july> (accessed 11.3.23).
- European Commission, 2023a. Delivering the European Green Deal.-2030 Climate Target Plan.
- European Commission, 2023b. 2050 long-term strategy.
- European Commission, 2023c. EU energy statistical pocketbook and country datasheets., Publications Office of the European Union, 2023.
- Eurostat, 2024. Cooling and heating degree days by country - annual data. https://doi.org/10.2908/NRG_CHDD_A
- Gaudard, L., Romero, F., Dalla Valle, F., Gorret, R., Maran, S., Ravazzani, G., Stoffel, M., Volonterio, M., 2014. Climate change impacts on hydropower in the Swiss and Italian Alps. *Science of The Total Environment* 493, 1211–1221. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2013.10.012>
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M., 2014. 21st century climate change in the European Alps—A review. *Science of The Total Environment* 493, 1138–1151. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2013.07.050>
- GSE, G.S.E., 2024. Statistiche.
- Harang, I., Heymann, F., Stoop, L.P., 2020. Incorporating climate change effects into the European power system adequacy assessment using a post-processing method. *Sustainable Energy, Grids and Networks* 24, 100403. <https://doi.org/10.1016/J.SEGAN.2020.100403>
- Herraiz, A.D., Salazar-Zarzosa, P.C., Mesas, F.J., Arenas-Castro, S., Ruiz-Benito, P., Villar, R., 2023. Modelling aboveground biomass and productivity and the impact of climate change in Mediterranean forests of South Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 337, 109498. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2023.109498>
- IEA, I.E.A., 2021. World Energy Outlook 2021 – Analysis. Paris.
- IHA, I.H.A., 2022. Hydropower Status Report Contents Contents - Sector trends and insights.
- IPCC, I.P.O.C.C., 2023. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Kopáček, J., Bače, R., Hejzlar, J., Kaňa, J., Kučera, T., Matějka, K., Porcal, P., Turek, J., 2020. Changes in microclimate and hydrology in an unmanaged mountain forest catchment after insect-induced tree dieback. *Science of The Total Environment* 720, 137518. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137518>
- 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, 965–980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.009>
- Morlot, M., Russo, S., Feyen, L., Formetta, G., 2023. Trends in heat and cold wave risks for the Italian Trentino-Alto Adige region from 1980 to 2018. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 23, 2593–2606. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2593-2023>
- Patro, E.R., De Michele, C., Avanzi, F., 2018. Future perspectives of run-of-the-river hydropower and the impact of glaciers' shrinkage: The case of Italian Alps. *Applied Energy* 231, 699–713. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.09.063>
- Pérez-Andreu, V., Aparicio-Fernández, C., Martínez-Ibernón, A., Vivancos, J.L., 2018. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in a residential building in a Mediterranean climate. *Energy* 165, 63–74. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.09.015>

- Plaga, L.S., Bertsch, V., 2023. Methods for assessing climate uncertainty in energy system models — A systematic literature review. *Applied Energy* 331, 120384. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2022.120384>
- Quando Vaia sconvolse l'Italia | E-Distribuzione [WWW Document], n.d. URL <https://www.e-distribuzione.it/archivio-news/2020/10/quando-vaia-sconvolse-litalia.html> (accessed 11.3.23).
- Rübbelke, D., Vögele, S., 2011. Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. *Environmental Science & Policy* 14, 53–63. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2010.10.007>
- Sathaye, J.A., Dale, L.L., Larsen, P.H., Fitts, G.A., Koy, K., Lewis, S.M., de Lucena, A.F.P., 2013. Estimating impacts of warming temperatures on California's electricity system. *Global Environmental Change* 23, 499–511. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2012.12.005>
- Savelsberg, J., Schillinger, M., Schlecht, I., Weigt, H., 2018. The Impact of Climate Change on Swiss Hydropower. *Sustainability* 2018, Vol. 10, Page 2541 10, 2541. <https://doi.org/10.3390/SU10072541>
- Schaber, K., Steinke, F., Mühlich, P., Hamacher, T., 2012. Parametric study of variable renewable energy integration in Europe: Advantages and costs of transmission grid extensions. *Energy Policy* 42, 498–508. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2011.12.016>
- Schlögel, R., Kofler, C., Gariano, S.L., Van Campenhout, J., Plummer, S., 2020. Changes in climate patterns and their association to natural hazard distribution in South Tyrol (Eastern Italian Alps). *Scientific Reports* 2020 10:1 10, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61615-w>
- Solaun, K., Cerdá, E., 2019. Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 116, 109415. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.109415>
- Spinoni, J., Vogt, J., Barbosa, P., 2015. European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011. *International Journal of Climatology* 35, 25–36. <https://doi.org/10.1002/JOC.3959>
- Spinoni, J., Vogt, V.J., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A., Füssel, H.M., 2018. Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. *International Journal of Climatology* 38, e191–e208. <https://doi.org/10.1002/JOC.5362>
- Subramanian, N., Nilsson, U., Mossberg, M., Bergh, J., 2019. Impacts of climate change, weather extremes and alternative strategies in managed forests. *Écoscience* 26, 53–70. <https://doi.org/10.1080/11956860.2018.1515597>
- Südtiroler Landtag, 2024. Beschlussantrag - Luftwärmepumpen Offensive für Südtirol.
- Swissgrid, 2023. La tempesta Vaia provoca danni alla rete di trasmissione.
- TERNA, 2024. Produzione: Energia elettrica per fonte.
- Troccoli, A., 2018. Weather and climate services for the energy industry. *Weather and Climate Services for the Energy Industry* 1–197. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68418-5/COVER>
- Varianou Mikellidou, C., Shakou, L.M., Boustras, G., Dimopoulos, C., 2018. Energy critical infrastructures at risk from climate change: A state of the art review. *Safety Science* 110, 110–120. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2017.12.022>
- Wagner, T., Themeßl, M., Schüppel, A., Gobiet, A., Stigler, H., Birk, S., 2017. Impacts of climate change on stream flow and hydro power generation in the Alpine region. *Environmental Earth Sciences* 76, 1–22. <https://doi.org/10.1007/S12665-016-6318-6/FIGURES/12>
- Wenz, L., Levermann, A., Auffhammer, M., 2017. North–south polarization of European electricity consumption under future warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114, E7910–E7918. https://doi.org/10.1073/PNAS.1704339114/SUPPL_FILE/PNAS.1704339114.SAPP.PDF
- Yang, Z., Liu, P., Cheng, L., Liu, D., Ming, B., Li, H., Xia, Q., 2021. Sizing utility-scale photovoltaic power generation for integration into a hydropower plant considering the effects of climate change: A case study in the Longyangxia of China. *Energy* 236, 121519. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121519>
- Zhao, D., Li, Y.R., 2015. Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and Mitigation Strategies. *International Journal of Agronomy* 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/547386>

Autoren: Jakob Bisignano, Urban Perkmann, Georg Lun (WIFO)

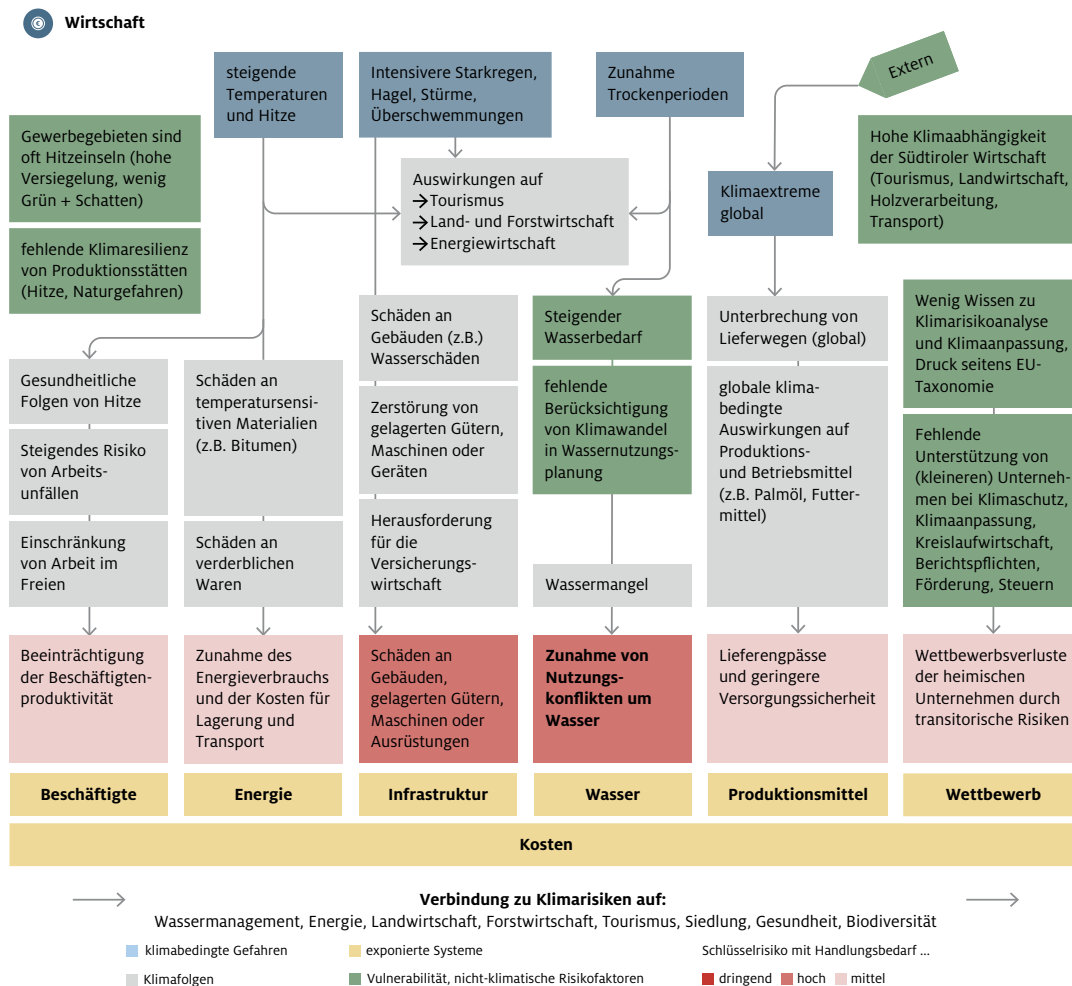


Abbildung 23: Wirkungskette zur Darstellung der Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität der Wirtschaft

Einleitung

Die exakten Auswirkungen des Klimawandels auf die Wirtschaftssektoren in Südtirol sind noch unklar. Unternehmen stehen vor Herausforderungen in den Bereichen Energie- und Rohstoffversorgung, Mobilität, Katastrophenvorsorge und müssen sich mit den politischen Maßnahmen auseinandersetzen. Die Analyse beinhaltet Interviews mit zehn ausgewählten Südtiroler Unternehmen, die als führend in der Entwicklung bei der Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungsstrategien gelten. In diesem Kapitel versteht man unter Wirtschaft das produzierende Gewerbe und Dienstleistungen. Das produzierende Gewerbe umfasst verschiedene Sektoren wie das verarbeitende Gewerbe, das Baugewerbe und Unternehmen im Bereich Energie und Umwelt. Es reicht vom kleinen Handwerksbetrieb bis zum großen Industrieunternehmen und umfasst verschiedene Branchen wie die Lebensmittelverarbeitung, die Metallverarbeitung und das Baugewerbe. Der Dienstleistungsbereich ist sehr vielfältig und umfasst den Handel (Einzel- oder Großhandel), Gastgewerbe (Hotels, Bars, Restaurants),

Transportunternehmen sowie eine breite Palette persönlicher und unternehmensorientierter Dienstleistende, beispielsweise aus dem Bereich der Mediengestaltung oder Friseurinnen und Friseure.

4.9.1 Verminderte Leistungsfähigkeit durch starke Hitze

Aktuelle Situation

Die Untersuchungen von Eurac Research zeigen, dass die Temperaturen in Südtirol in den letzten Jahrzehnten angestiegen sind. Die Zahl der Tropennächte hat in den Bezirken unter 500 Metern Seehöhe in Bozen, Überetsch/Unterland und Burggrafenamt zugenommen. Die Winter sind im Mittel milder geworden (→ siehe Kapitel 3).

Potenzielle Zukunftssituation

Verschiedene Studien (Alpino et al., 2022; Varghese et al., 2018; Hinterndorfer et al., 2010) zeigen, dass die Produktivität der Mitarbeitenden im Freien (z.B. auf Baustellen) und auch in Innenräumen (z.B. im Büro) bei Hitze deutlich abnimmt. Konzentrationsschwäche und verminderte psychomotorische Leistungsfähigkeit durch starke Hitze ab ca. 32 °C erhöhen die Wahrscheinlichkeit von Arbeitsunfällen (Varghese et al., 2018). Körperlich anstrengende Tätigkeiten bei großer Hitze können im Extremfall zu hitzebedingten Erkrankungen wie Hitzekrämpfen oder Kollaps führen, die die Arbeitsausführung sogar unmöglich machen. Das gefährdet die Attraktivität der Außenarbeitsplätze auf dem Arbeitsmarkt und erfordert höhere Löhne. In den Innenräumen können Klimaanlage eingesetzt werden, die aber den Energiebedarf und die Kosten für die Unternehmen steigern.

Die Hitzebelastung wird durch die starke Bebauung in den städtischen Gebieten sowie in den Gewerbegebieten erheblich verstärkt. Aufgrund des Mangels an Grünflächen kann die Temperatur in diesen Gebieten tagsüber um 1 bis 3 °C höher liegen als in ländlichen Gebieten. Nachts kann der Unterschied sogar bis zu 12 °C betragen (EPA, 2008). Der Bedarf an hitzefreien Arbeitstagen für gewisse Berufsgruppen dürfte entsprechend, in Übereinstimmung mit der Einschätzung der Stakeholder-Expertinnen und -experten, in Südtirol die Ausnahme bleiben.

Ein weiteres Risiko bei steigenden Durchschnittstemperaturen ist die Lagerung und der Transport von temperaturempfindlichen Stoffen, die bei unzureichender Kühlung Schaden nehmen können. Dies betrifft beispielsweise Bitumen im Straßenbau oder frische Lebensmittel wie Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch. Dadurch steigen die Energiekosten für die Unternehmen, und es besteht die Gefahr, dass der Transport dieser Güter an besonders heißen Tagen sogar unmöglich wird (Fichter et al., 2013).

Anpassungspotenzial

Der Einsatz von Klimaanlage hat sich bereits bewährt, um die Wärmebelastung in Innenräumen zu reduzieren oder zu beseitigen. Um den erhöhten Energiebedarf für die Kühlung von Büro- und Lagerräumen im Sommer zu begrenzen, müssen bestehende Gebäude saniert und Neubauobjekte entsprechend gedämmt werden. Dies wiederum eröffnet neue Absatzmärkte bzw. Geschäftsmodelle für die Bauwirtschaft und andere Wirtschaftszweige (Kahlenborn et al., 2021).

Beschäftigte im Freien können im Sommer ihre Arbeitszeiten an den Temperaturverlauf anpassen, indem sie in die kühleren Morgen- oder Abendstunden verlegt werden und mit einer längeren Mittagspause kombiniert werden. Eine andere Möglichkeit ist, an heißen Sommertagen auf sogenannte „Pufferbaustellen“ in Innenräumen auszuweichen (StMUV, 2018). Es ist in jedem Fall darauf zu achten, Beschäftigten ausreichend Schatten und Trinkmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen. Sollte die Hitze unerträglich werden, können für bestimmte Berufsgruppen hitzefreie Tage eingeführt werden. Solche Tage oder Phasen werden aber auch in Zukunft im Großteil Südtirols die Ausnahme bleiben.

Mildere Winter haben für Unternehmen in der Außenwirtschaft, wie z.B. im Baugewerbe, viele Vorteile. So können beispielsweise die Arbeitsperioden im Winter verlängert und mögliche Produktivitätsverluste im Sommer ausgeglichen werden (StMUV, 2018).

4.9.2 Auswirkungen der Extremwetterereignisse Sturm, Starkregen und Trockenperioden

Aktuelle Situation

Durch Starkregenereignisse kommt es aktuell immer wieder zu lokalen Überschwemmungen, Sturzfluten und Murenabgängen, die nicht nur eine große Gefahr für Menschen darstellen, sondern auch hohe Sachschäden an privaten und öffentlichen Gebäuden sowie an Infrastrukturen wie Verkehrsnetzen verursachen können. Die Schäden für Unternehmen sind vielfältig und kostenintensiv und reichen von Wasserschäden an Gebäuden bis hin zur völligen Zerstörung von gelagerten Gütern, Maschinen oder Geräten.

Beschäftigte, die im Freien arbeiten (z. B. auf Baustellen), sind extremen Wetterereignissen besonders ausgesetzt. Bei aufkommenden Stürmen und Unwettern kann es beispielsweise vermehrt zu Unfällen kommen, wenn unachtsam oder zu langsam gehandelt wird (StMUV, 2018).

Ein wirtschaftlich besonders relevantes Risiko ist die Unterbrechung der Verkehrsnetze durch Extremwetterereignisse und Starkregen, z.B. durch Murenabgänge oder Unterspülungen. Unternehmen erleiden wirtschaftliche Einbußen, wenn Waren nicht rechtzeitig von Lieferbetrieben bezogen oder an die Kundschaft ausgeliefert werden können. Im schlimmsten Fall führt dies zu Imageschäden und damit mittelfristig auch zu Auftragsverlusten. Nicht zuletzt können Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ihren Arbeitsplatz nicht oder nur verspätet erreichen.

Potenzielle Zukunftssituation

Berechnungen zufolge werden Starkregenereignisse und Stürme im Alpenraum in den nächsten Jahren weiter zunehmen (Adler et al., 2022) (→ siehe *Kapitel 3*), die aufgrund der zunehmenden Bodenversiegelung größtenteils oberflächlich abfließen (Zebisch et al., 2018) und zu Schäden führen können. Die hohe Unsicherheit und das wahrscheinlich größere Schadensausmaß stellen sowohl die Versicherungswirtschaft (erschwerte Prämienkalkulation) als auch die Unternehmen (höhere Prämien) vor zusätzliche Herausforderungen. Darüber hinaus bergen extreme Wetterereignisse wie starke Schneefälle, Waldbrände oder durch Starkregen ausgelöste Murenabgänge die Gefahr, große Schäden an den Verteilungsnetzen anzurichten, wodurch Gemeinden bis hin zu ganzen Talschaften zeitweise von der Energieversorgung abgeschnitten werden können. Der dadurch erzwungene Produktionsstillstand kann zu erheblichen wirtschaftlichen Einbußen der Unternehmen führen.

Anpassungspotenzial

Klimarobuste Gebäude und Infrastrukturen sind eine gute Möglichkeit, sich vor den oben beschriebenen Auswirkungen extremer Wetterereignisse zu schützen. So müssen z.B. Entwässerungssysteme verbessert und ausgebaut werden, um Gebäude in gefährdeten Lagen (z.B. in der Nähe von Flüssen oder an steilen Hängen) vor Wassermassen zu schützen. Hangsicherungsmaßnahmen oder Steinschlaggalerien sind ebenfalls wirksam. Diese Aufgabe obliegt in erster Linie der öffentlichen Hand, aber auch Unternehmen sind gefordert, ihre Exposition und Verletzlichkeit zu ermitteln und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Beispielsweise tragen sturmsichere Gerüste auf Baustellen zur Erhöhung der Sicherheit der Arbeitenden sowie zum Schutz vor Sachschäden bei (StMUV, 2018). Um das Risiko für das Personal im Außenbereich zu reduzieren, können Notfalltrainings durchgeführt werden. Fahrlässiges Verhalten und daraus resultierende Personen- und Sachschäden können so präventiv vermieden werden. Darüber hinaus hilft der Ausbau bestehender Frühwarnsysteme, die auch von den Unternehmen genutzt werden (Kahlenborn et al., 2021).

Viele Betriebe haben bereits eine standortspezifische Risikoanalyse durchgeführt und die möglichen Ereignisse nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß bewertet. In Zusammenarbeit mit der Gemeinde und anderen öffentlichen Institutionen wurden bei erhöhtem Risiko konkrete Notfallpläne erstellt. Unternehmen mit Arbeitskräften im Außendienst erkennen generell ein erhöhtes Risiko, insbesondere in Branchen wie der Bauwirtschaft, wo die Sicherheit des Personals und die Schadensbegrenzung bei extremen Wetterereignissen von großer Bedeutung sind. Zur Risikominimierung wird das Personal beispielsweise darin geschult, Wetterveränderungen frühzeitig zu erkennen und entsprechend zu

reagieren. Man hofft, auch in Zukunft auf Versicherungsschutz zurückgreifen zu können, kann dies aber nicht garantieren, da extreme Wetterereignisse in den kommenden Jahren voraussichtlich noch stärker und unberechenbarer werden. Es ist sogar denkbar, dass für bestimmte Gebiete oder Projekte ohne umfangreiche Anpassungsmaßnahmen kein Versicherungsschutz mehr besteht.

Längere Trockenperioden werden von den meisten befragten Unternehmen als großes Risiko für Nutzungskonflikte zwischen den Sektoren gesehen. Einige Unternehmen befürworten daher den Bau von Speicherseen oder Staudämmen. Allerdings stellen solche Großprojekte einen massiven Eingriff in die Natur dar. Andere Unternehmen investieren in den Ausbau von Wasseraufbereitungsanlagen, um ihren Wasserverbrauch zu minimieren. Diese Bemühungen sollten weiter intensiviert und gefördert werden. Trotz der überwiegend negativen Folgen durch die Häufung von Extremwetterereignissen eröffnen sich auch hier Chancen und neue Absatzmärkte, z.B. für die Südtiroler Bauwirtschaft im Zuge des klimaangepassten Bauens.

4.9.3 Lieferengpässe

Aktuelle Situation

Viele Industriezweige sind derzeit mit Lieferengpässen und Preisschwankungen bei bestimmten Rohstoffen konfrontiert, was bereits heute und in Zukunft noch stärker durch den Klimawandel beeinflusst wird: Lieferengpässe können zum einen durch witterungsbedingte Unterbrechungen von Transportnetzen entstehen (siehe oben), die den Transport von Gütern lokal einschränken oder verzögern. Diese Engpässe können ebenfalls zu erheblichen volkswirtschaftlichen Verlusten führen und Produktionsprozesse verlangsamen, sind aber in der Regel von kurzer Dauer und mit relativ geringem Aufwand zu beheben (Fichter et al., 2013). Schwerwiegender sind Fälle, in denen Stoffe, Materialien oder auch bereits fertige Produkte nicht mehr verfügbar sind, weil sie aufgrund des Klimawandels in anderen Ländern nicht mehr hergestellt oder angebaut werden können. So sind beispielsweise die Preise für Orangensaft, Vanille oder Kakao in jüngster Zeit aufgrund von Missernten stark gestiegen. Die Ursachen für Missernten sind vielfältig und reichen von Naturkatastrophen wie Stürmen oder Überschwemmungen bis hin zu Pilzbefall oder anderen Schädlingen, die wiederum eine Folge von Klimaveränderungen sein können.

Potenzielle Zukunftssituation

Welche Produkte von diesen Versorgungsengpässen bedroht sein werden, ist schwer vorherzusagen. Einige Studien gehen beispielsweise davon aus, dass bestimmte landwirtschaftliche Produkte wie Kaffee oder bestimmte Getreidesorten in Zukunft schwieriger anzubauen sein werden und es deshalb zu Versorgungsengpässen kommen kann (Kahlenborn, 2021). Weitere Produkte wie z.B. Mikrochips werden ebenfalls teurer und schwieriger zu beschaffen sein, teilweise aufgrund des hohen Wasserverbrauchs bei der Produktion und der zunehmenden Wasserknappheit an den Produktionsstandorten.

Anpassungspotenzial

Anpassungsprozesse sind in der Wirtschaft aufgrund des Strukturwandels immer notwendig gewesen und das wird auch in Zukunft so sein. Das wichtigste Mittel, um beispielsweise Lieferengpässe zu vermeiden oder abzumildern, ist die Erschließung neuer Zulieferbetriebe bzw. neuer Lieferwege oder die Substitution durch andere vergleichbare Rohstoffe oder Produkte. Rohstoffpreise können auch durch Spekulation in die Höhe getrieben werden. Wenn möglich, versuchen die Unternehmen die höheren Preise durch Substitution mit anderen Rohstoffen zu umgehen, ansonsten muss der geforderte Preis gezahlt werden. Eine breite Streuung der Kunden- und Lieferantenbasis zur Vermeidung einseitiger Abhängigkeiten ist ebenfalls sinnvoll. Einige Unternehmen empfehlen sogar, die Lieferanten auf ihre Klimaanfälligkeit hin zu analysieren und bei festgestellten Risiken gemeinsam Anpassungs- und Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Lieferengpässe können nicht nur durch globale Krisen entstehen, sondern auch, wenn lokale Transportnetze aufgrund von Unwetterereignissen wie Murenabgängen ausfallen. Dies wird von den Unternehmen bisher jedoch nicht als großes Risiko eingeschätzt, da die Räumung des Straßennetzes in Südtirol gut funktioniert. Die mittlerweile klassische „Just-in-time“-Produktion und -Vermarktung wird jedoch aufgrund zunehmender Lieferengpässe immer schwieriger. Um gegenüber Lieferengpässen widerstandsfähiger zu werden, haben einige Unternehmen auch größere

Lagerkapazitäten aufgebaut, um die eigene Lieferfähigkeit zumindest für einige Tage sicherzustellen. Besonders wichtig, so eine weitere Empfehlung der Unternehmen, ist es, eine transparente und gute Beziehung zu Lieferanten und Kundschaften aufzubauen, um mögliche Lieferschwierigkeiten der Lieferanten möglichst frühzeitig zu erkennen und andererseits eigene Lieferschwierigkeiten möglichst frühzeitig an die Kunden kommunizieren zu können. Diese Anpassungsprozesse können zum Teil auch Impulse für nachhaltigere Produktinnovationen geben.

4.9.4 Transitorisches Risiko

Aktuelle Situation

Mit dem Fortschreiten der Klimakrise wird befürchtet, dass der bürokratische Aufwand und die Fülle der Auflagen weiter zunehmen werden. Die Unternehmen sind zwar von der grundsätzlichen Notwendigkeit überzeugt. Die konkrete Umsetzung ist jedoch aus Sicht der Unternehmen oft zu unübersichtlich, nicht zielführend und zu aufwändig. Viele befürchten hohe Übergangskosten („transition risks“), um das ehrgeizige Ziel der EU zu erreichen, bis 2050 klimaneutral zu werden („net zero industry act“), insbesondere in den energie- und ressourcenintensiven Branchen. Negative Folgen dieser Maßnahmen sind zum einen erratische Preisschwankungen einzelner Rohstoffe, mögliche Nachfrageeinbrüche sowie steigende Finanzierungskosten am Kapitalmarkt.

Die ab 2026 von der EU geforderten Standards zur Nachhaltigkeitsberichterstattung („Corporate Sustainability Reporting Directive“) stellen für viele Unternehmen eine große Herausforderung dar. Besonders betroffen sind Unternehmen, die bisher noch keine Erfahrungen in diesem Bereich sammeln konnten und daher auf externe Unterstützung angewiesen sind. Hervorzuheben ist, dass die Unternehmen diese Maßnahme überwiegend begrüßen, da sie auch helfen kann, Fehlentwicklungen und Einsparpotenziale zu erkennen.

Viele Unternehmen befürchten, durch die zunehmenden gesetzlichen Anforderungen gegenüber außer-europäischen Wettbewerbern benachteiligt zu werden und Marktanteile zu verlieren. Beklagt wird auch, dass die notwendige öffentliche Infrastruktur zur Umsetzung bestimmter Anforderungen noch nicht vorhanden ist, beispielsweise im Bereich der Abfallentsorgung oder des Produktrecyclings. Einige Unternehmen haben bereits neue Technologien entwickelt, um ihre Produkte bzw. deren Verpackungen nahezu vollständig zu recyceln, jedoch fehlen in Südtirol bzw. im restlichen Staatsgebiet die notwendigen Voraussetzungen, um die Produkte wieder einzusammeln, zu trennen und zu recyceln. Auch in vielen anderen Bereichen hinken die gesetzlichen Rahmenbedingungen den aktuellen Anforderungen hinterher bzw. werden als unübersichtlich und unausgereift beschrieben, z.B., wenn es um die Umsetzung von nachhaltigen Bauprojekten oder den Aufbau von kleinen Energiegemeinschaften geht.

Potenzielle Zukunftssituation

Klimaschutzmaßnahmen können sowohl von nationalen Regierungen als auch von der EU oder der Landesregierung beschlossen werden, und aufgrund der starken Vernetzung der Weltwirtschaft sind die meisten Unternehmen gleichermaßen betroffen. Diese umwelt- und wirtschaftspolitischen Maßnahmen und rechtlichen Restriktionen, die sich aus dem Klimawandel ergeben, müssen auch von Unternehmen in Zukunft verstärkt beachtet werden.

Zusammenfassung der Schlüsselrisiken

- Risiko der Beeinträchtigung der Beschäftigtenproduktivität aufgrund steigender Temperaturen und Hitzewellen
- Risiko einer Zunahme des Energieverbrauchs und der Kosten für Lagerung und Transport von temperaturempfindlichen Produkten aufgrund steigender Temperaturen und Hitzewellen
- Risiko von Schäden an Gebäuden, gelagerten Gütern, Maschinen oder Ausrüstungen aufgrund extremer Wetterereignisse wie starker Regen und Trockenperioden
- Risiko der Zunahme von Nutzungskonflikten um das Wasser zwischen verschiedenen Wirtschaftssektoren und den Privaten Haushalten aufgrund häufigerer Dürreperioden
- Risiko von Lieferengpässen und geringere Versorgungssicherheit für die heimische Wirtschaft mit Rohstoffen und Zwischenprodukten aufgrund des sich ändernden Klimas und nicht-klimatischer Faktoren in anderen Teilen der Welt
- Risiko von Wettbewerbsverlusten der heimischen Unternehmen durch transitorische Risiken, insbesondere des Regulierungsrisikos, z.B. infolge der Vorgaben des Green-Deals

Literatur

- Adler, C., Wester P., Bhatt I., Huggel C., Insarov G.E., Morecroft M.D., Muccione V., and Prakash A., (2022) Cross-Chapter Paper 5: Mountains. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Alpino M., Citino L., de Blasio G., Zeni F. (2022): Gli effetti del cambiamento climatico sull'economia italiana. Un progetto di ricerca della Banca d'Italia
- Environmental Protection Agency (EPA), (2008): Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Washington D.C.
- Niedrist, G., Zebisch, M., Crespi, A., Iacopino, T., Fritsch, U., Barandun, M., Bertoldi, G., Bottarin, R., Hoffmann, C., Jacob, A., Marin, C., Mariz, C., Notarnicola, C., Obojes, N., Premier, V., Renner, K., Sparber, W., Vaccaro, R., & Ventura, B. (2022). Climate Change Monitoring South Tyrol. Eurac Research. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.57749/8ZPX-HM12>
- Kahlenborn W., Porst L., Voß M., Fritsch U., Renner K., Zebisch M., Wolf M., Schönthaler K., Schauser I., (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland; Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Hinterdorfer, M., Sattler, P. und Laaber, M. (2010): Energieeffiziente Klimatisierung. Magistratsabteilung 27 (Hg.). Wien.
- Varghese M.B., Hansen A., Bi P., Pisaniello D. (2018): Are workers at risk of occupational injuries due to heat exposure? A comprehensive literature review
- Zebisch M., Vaccaro R., Niedrist G., Schneiderbauer S., Streifeneder T., Weiß M., Troi A., Renner K., Pedoth L., Baumgartner B., Bergonzi V. (2018) Klimareport – Südtirol 2018, Bozen, Italien: Eurac Research

4.10 Übergreifende Themen

Autorinnen: Lydia Pedoth und Uta Fritsch

Um Anpassungsprozesse zu fördern und Fehlanpassungen zu vermeiden, müssen die richtigen Rahmenbedingungen geschaffen und zukunftsweisende politische Entscheidungen getroffen werden. Jene, die Entscheidungen treffen, und die breite Öffentlichkeit müssen dafür gut informiert sein und ihre Handlungsmöglichkeiten kennen. Daher sind eine effektive Kommunikation und umfassende Bildung wesentliche Voraussetzungen, um nicht nur wissenschaftliche Erkenntnisse zu vermitteln, sondern auch Lösungen aufzuzeigen. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist es, auf die unterschiedlichen Zielgruppen einzugehen und die für sie relevanten Themen aufzugreifen. Anpassungsmaßnahmen und -strategien sollten partizipativ entwickelt und zielgruppengerecht an verschiedene Entscheiderinnen und Entscheider in Politik, Verwaltung und Gesellschaft kommuniziert werden. Eine effektive Möglichkeit zur Einbindung der Öffentlichkeit sind Bürgerrat, wie sie in Südtirol bereits erfolgreich eingesetzt wurden.

4.10.1 Fehlanpassung

Unter Fehlanpassung versteht man reaktive Maßnahmen, die kurzfristig Erfolg versprechen, aber langfristig aus verschiedenen Gesichtspunkten kontraproduktiv sind. Die Vermeidung von Fehlanpassungen wird sowohl auf internationaler Ebene (IPCC, 2023) als auch in Strategien auf nationaler Ebene (Balas et al., 2024) als wichtiges Ziel betont, da Fehlanpassungen in den letzten Jahren zugenommen haben (IPCC 2022). Bereits heute sind Anpassungsmaßnahmen mit Investitionen und Kosten verbunden, die in den nächsten Jahren noch ansteigen werden (Bednar-Friedl et al., 2017). Um zusätzliche Kosten zu vermeiden und Synergien zu nutzen, ist es wichtig, Fehlanpassung zu verhindern (Balas Felderer, 2021). Entscheidungen und Maßnahmen, die heute getroffen werden, sollten so geplant und umgesetzt werden, dass sie auch die zukünftigen Klimabedingungen berücksichtigen und denen gerecht werden. Ansonsten können Anpassungsmaßnahmen zu ökologisch, ökonomisch und sozial negativen Auswirkungen und Schäden in der Zukunft führen. Um Fehlanpassungen zu vermeiden, sollten Zielkonflikte mit Klimaschutz sowie mit sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Maßnahmen sollten Unsicherheiten in Klimaszenarien Rechnung tragen und damit reversibel oder flexibel ausgestaltet sein, um so letztlich eine Zunahme der Vulnerabilität zu verhindern (Lexer et al., 2016).

4.10.2 Soziale Aspekte

Unsere Gesellschaft spürt zunehmend die Folgen des Klimawandels, wobei die Auswirkungen nicht gleichmäßig verteilt und nicht alle Bevölkerungsgruppen gleich stark betroffen sind. Sie treffen besonders die am meisten vulnerablen Gruppen unserer Gesellschaft. Diese Diskrepanz resultiert aus bestehenden strukturellen Benachteiligungen und Ungleichheiten, die durch Faktoren wie Geschlecht, sozio-ökonomischer Status, Gesundheit und Bildung bestimmt werden. Frauen, Kinder, ältere Menschen, Menschen mit Behinderungen und Personen mit niedrigem Einkommen sind häufig besonders vulnerabel. Ihre Verwundbarkeit wird durch strukturelle Probleme wie den ungleichen Zugang zu Ressourcen und Informationen sowie durch Diskriminierung und soziale Ausgrenzung verstärkt (Zebisch et al., 2023). Auch Migration, die verstärkt durch den Klimawandel in den Ursprungsländern mitverursacht wird, führt zu neuen Risikosituationen. Menschen mit Migrationshintergrund sind sozial vulnerabler und haben oft weniger Möglichkeiten sich an Klimarisiken anzupassen. Auch haben sie oft weniger Wissen über spezifische Klimarisiken in Bergregionen, so dass hier der Bildungsaspekt ein wichtiger sein wird. Auch für Südtirol zeigte sich in Diskussionen mit Stakeholdern, dass bei raumplanerischen Maßnahmen, wie dem Schaffen von Grün- und Freiräumen, soziale Aspekte mitberücksichtigt werden müssen, um eine sogenannte grüne Gentrifizierung, also eine Verdrängung von einkommensschwachen Personengruppen durch besser situierte Personen aufgrund von Aufwertungen und damit verbundenen Preissteigerungen, zu vermeiden. Ältere Menschen haben oft gesundheitliche Vorbelastungen und sind in ihrer Mobilität eingeschränkt, was ihre Anpassungsfähigkeit an extreme Wetterbedingungen wie Hitzewellen verringert. Auch Frauen und Kinder können besonders betroffen sein, da sie häufiger armuts- und ausgrenzungsgefährdet und alleinerziehend sind (Balas et al., 2024). Trotz ihrer erhöhten Verwundbarkeit

können Frauen und marginalisierte Gruppen eine entscheidende Rolle bei der Bewältigung von Klimarisiken spielen, indem sie ihr Wissen, ihre Perspektiven und ihre Erfahrungen einbringen und zur Entwicklung effektiver und kontextspezifischer Strategien beitragen können. Eine inklusive Beteiligung dieser Gruppen an Klimarisikobewertungen und Anpassungsprozessen kann dazu beitragen, umfassendere und gerechtere Lösungen zu entwickeln (Zebisch et al., 2023) und sie durch ihre Rolle und Netzwerke in der Gesellschaft auch umzusetzen. Ferner wird der Klimawandel die Migration verstärken, so dass auch in Südtirol die Integration und Weiterbildung von Menschen aus anderen Teilen der Welt immer wichtiger wird. Allgemein und konkret für Südtirol besteht Forschungsbedarf zum Thema der sozialen Aspekte des Klimawandels, sowohl zu dessen Auswirkungen auf verschiedene Bevölkerungsgruppen als auch zu Möglichkeiten, diese Gruppen aktiv in den Planungsprozess und die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen einzubinden.

4.10.3 Bildung

Ein wichtiger Ansatzpunkt, das Wissen und die Handlungsbereitschaft zur Anpassung an den Klimawandel zu fördern, liegt im Bildungs- bzw. Schulbereich, indem die Themen wie Klimawandel, Klimaschutz und Anpassung stärker im Schulunterricht verankert werden. Lehrkräfte und sozialpädagogisches Personal müssen entsprechend geschult und mit speziellen Unterrichtsmaterialien ausgestattet werden, wobei die Zusammenarbeit mit der Wissenschaft bei der Ausbildung von Multiplikatoren sowie Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern entscheidend ist. In den letzten Jahren wurde bereits umfangreiches Lehrmaterial erstellt und in Schulen angewendet. Dies hat bei einigen Jugendlichen zu einer „Klimaangst“ geführt, bei der Angst, Wut und Verzweiflung über unzureichende politische Maßnahmen und Schuldgefühle oder Scham über den eigenen Lebensstil, Ernährung, Reisen und Konsum diese Emotionen verstärken. Daher ist der Einsatz von schulpsychologischem und sozialpädagogischem Personal wichtig, um den jungen Menschen beizustehen und gemeinsam mit ihnen Auswege aus der gefühlten Ohnmacht zu finden. Trotz jahrzehntelanger Klimaforschung finden sich in traditionellen und sozialen Medien, in Kommentaren und sogar in Familien immer wieder Falschmeldungen, welche die Klimakrise und die notwendigen Maßnahmen in Frage stellen. Daher ist es außerdem wichtig, die Kinder und Jugendlichen zu informieren, wie man falsche von richtigen Informationen unterscheidet und aufzuzeigen, wie diese falschen Behauptungen widerlegt werden können. Ferner kann das Thema außerhalb des Schulalltags in Sommercamps, Ausstellungen in Bibliotheken und Gemeinden sowie in Jugendgruppen aufgegriffen und vertieft werden, wie es bereits mit der Klimashow des Klimabündnisses Südtirol und anderen Aktionen geschieht. Da mit dem Klimawandel die Migration auch nach Südtirol zunehmen wird, weil einerseits Gebiete unbewohnbar werden oder Konflikte zunehmen, wird eine angemessene Ausbildung von Kindern und Jugendlichen aus außereuropäischen Ursprungsländern in Südtiroler Schulen immer wichtiger werden. Dazu bedarf es ausgebildetes Personal sowie Lernmaterialien, um den Prozess zu unterstützen.

4.10.4 Partizipation

Die Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Workshops, insbesondere der Zukunftswerkstatt, haben gezeigt, dass es durchaus eine Bereitschaft von Seiten vieler Südtiroler Akteurinnen und Akteure der Zivilgesellschaft gibt, sich aktiv in die Diskussion einzubringen. Gleichzeitig wurde deutlich, wie wichtig es ist, das Thema der Klimawandelanpassung mit anderen Strategien wie der Sozial- oder Gesundheitspolitik des Landes abzustimmen bzw. in diese einfließen zu lassen und dabei Themen wie leistbares Wohnen, Inklusion und soziale Gerechtigkeit auch unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels zu betrachten. Der Klimawandel hat das Potenzial, bestehende Ungleichheiten zu verschärfen und neue Ungleichheiten zu schaffen. Eine gerechte und effektive Anpassung erfordert daher eine tiefgehende Analyse und eine differenzierte Betrachtung sowie die aktive Einbeziehung und Information aller Gruppen unserer Gesellschaft. In diesem Sinne sollte die Herausforderung der Anpassung an den Klimawandel auch als Chance der positiven Veränderung und der Transformation hin zu einem klimaresilienten Südtirol gesehen werden.

Literatur

- Balas, M., Felderer, A., 2021. Fehlanpassung adressieren - Herausforderungen und Lösungsansätze. Einhaltung der guten Kriterien zur Anpassung als Beitrag zu einer qualitativ hochwertigen Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, Österreich.
- Balas, M., Lexer, W., Lindinger, H., Neumann, J., Offenzeller, M., Völler, S., Vollgruber, D., 2024. Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, Österreich.
- Bednar-Friedl, B., Knittel, N., Leitner, M., Watkiss, P., 2017. PACINAS - Ausgaben des Bundes für Klimawandelanpassung., Factsheet Nr. 4. Wegener. IIASA, Umweltbundesamt, AIT, Uni Graz.
- IPCC, I.P.O.C.C., 2023. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Lexer, W., Ahamer, G., König, M., 2016. Fehlanpassung im Kontext von privater Anpassung an den Klimawandel. Kriterien, Entwicklung eines Bewertungsrahmens und Anwendungsbeispiele, PATCH:ES. Wien, Österreich.
- Zebisch, M., Renner, K., Pittore, M., Fritsch, U., Fruchter, S. R., Kienberger, S., Schinko, T., Sparkes, E., Hagenlocher, M., Schneiderbauer, S., Delves, J., 2023. Climate Risk Sourcebook. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

5 Governance

Das folgende Kapitel setzt sich mit dem Aspekt der Governance auseinander und damit mit den institutionellen und rechtlichen Kapazitäten der Provinz, die identifizierten Klimarisiken bewältigen zu können. Dazu erfolgt zunächst eine Einordnung des Themas der Klimawandelanpassung in das politische Mehrebenensystem (Provinz, Italien, EU), bevor nach einer Beleuchtung der provinziellen Kompetenzen eine Analyse der sektoriellen und der sektorübergreifenden politischen Dokumente erfolgt. Diese Erfassung des politischen Status quo dient in weiterer Folge als Grundlage für die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Ausrichtung der politischen Dokumente am Prinzip der Klimaresilienz.

5.1 Die Klimawandelanpassung im Rahmen des politischen Mehrebenensystems

Autorin: Mariachiara Alberton

Auf internationaler Ebene legte der erste internationale Vertrag zum Klimawandel – das „Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen“ (UNFCCC) von 1992 – die Grundlage für Klimaschutzmaßnahmen. Dieses Abkommen verpflichtete die Unterzeichnerstaaten nicht nur zur Stabilisierung der Treibhausgasemissionen, sondern auch zur Einführung von Anpassungsmaßnahmen und entsprechenden nationalen und gegebenenfalls regionalen Programmen (Art. 3.3, 4.1b, 4.1e, 4.4). Das nachfolgende Kyoto-Protokoll von 2005 verpflichtet die Staaten dazu, nationale und regionale Anpassungsprogramme auszuarbeiten (Art. 10.1b, 10.1b(i), 10.1b(ii), 12.8). Mit der Unterzeichnung des Pariser Abkommens im Jahr 2015 wurde die Klimawandelanpassung auf eine Ebene mit dem Klimaschutz gestellt und die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen vorgesehen, um die Fähigkeit der Staaten zur Anpassung an die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu verbessern.

Auf europäischer Ebene ersetzt die neue EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel 2021 mit dem Titel „Ein klimaresilientes Europa aufbauen“ die vorherige Strategie aus dem Jahr 2013 und skizziert eine langfristige Vision für die EU, die bis 2050 zu einer klimaresistenten, vollständig an die unvermeidlichen Auswirkungen des Klimawandels angepassten Gesellschaft werden soll. Die Strategie verlagert den Schwerpunkt von der Planung auf die konkrete Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen, im Einklang mit dem Pariser Abkommen und anderen internationalen Übereinkommen, wie dem Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge von 2015 und der „Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“. Flankiert wird die europäische Strategie durch das Europäische Klimagesetz (Verordnung (EU) 2021/1119), welches das verbindliche Ziel der Klimaneutralität in der EU bis 2050 festlegt. Insbesondere erkennt das Klimagesetz die Anpassung als eine Schlüsselkomponente der globalen Antwort auf den Klimawandel an und verpflichtet die EU und die Mitgliedstaaten, ihre Anpassungsfähigkeit zu stärken, die Resilienz zu verbessern und die Anfälligkeit gegenüber Klimarisiken zu verringern. Aufgrund des systemischen Charakters der Anpassungspolitik wird erwartet, dass die entsprechenden Maßnahmen in integrierter Weise mit anderen EU-Initiativen umgesetzt werden, wie etwa mit der Biodiversitätsstrategie, dem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft und dem „Zero Pollution“-Aktionsplan sowie den Strategien für Forstwirtschaft, Landnutzung und nachhaltige Mobilität. Die Strategie hebt insbesondere die Notwendigkeit hervor, Maßnahmen zur Klimawandelanpassung auf allen Governance-Ebenen – sowohl auf nationaler als auch auf lokaler politischer Ebene – zu ergreifen und umzusetzen und öffentliche und private Akteure in den verschiedenen Mitgliedsländern einzubeziehen.

Auf nationaler Ebene markierte die Veröffentlichung der „Nationalen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“ (SNAC) den ersten Schritt Italiens zur Festlegung von Maßnahmen und Politiken zur Anpassung an den Klimawandel. In diesem Dokument wurden die wesentlichen Auswirkungen des Klimawandels auf diverse sozioökonomische und natürliche Sektoren identifiziert und Maßnahmen zur Anpassung an diese Auswirkungen vorgeschlagen. Die Strategie „SNAC“ wurde mit dem Ministerialdekret Nr. 86/2015 genehmigt. Zur Umsetzung dieses Dekrets wurde mit der Ausarbeitung des „Nationalen Plans zur Anpassung an den Klimawandel“ (PNACC) begonnen, der durch das Ministerialdekret Nr. 434 vom 21. Dezember 2023 genehmigt wurde. Der PNACC umfasst 19 Sektoren: Transport, Energie, Wasserressourcen, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Meeresfischerei, Aquakultur, geologische, hydrologische und hydraulische Instabilität, Binnen- und Übergangsgewässerökosysteme, marine und terrestrische Ökosysteme, städtische Siedlungen, Kulturerbe, Gesundheit, Tourismus und sozioökonomischen Auswirkungen. Die Anpassungsmaßnahmen betreffen dabei sowohl infrastrukturelle Maßnahmen als auch Verhaltensänderungen der Bürgerinnen und Bürger. Der PNACC schlägt Maßnahmen auf drei Ebenen vor, die von den verschiedenen Gebietskörperschaften ergriffen werden können:

1. Soft: Politische, rechtliche, soziale, administrative und finanzielle Maßnahmen, die darauf abzielen, den Lebensstil zu ändern und das Bewusstsein für die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels und angemessenere Verhaltensweisen zu erhöhen. Diese Maßnahmen fallen

unter die Kategorien Governance und Information und zielen auf die Stärkung von administrativen, technischen, institutionellen und legislativen Kapazitäten ab.

2. Grün: Naturbasierte Lösungen, die die Ökosystemleistungen der natürlichen Umwelt nutzen, um die Resilienz von Gebieten zu erhöhen.
3. Grau: Infrastrukturelle und technologische Lösungen zur Verbesserung der Resilienz von Gebäuden, Anlagen, Infrastrukturen, Netzen und Gebieten.

5.2 Der provinzielle Rahmen: Gesetzgebungs- und Verwaltungsbefugnisse der Autonomen Provinz Bozen

Autorin: Mariachiara Alberton

Genau in dieses beschriebene Mehrebenensystem fügt sich der Handlungsrahmen der Autonomen Provinz Bozen ein. Die Ausübung der Gesetzgebungs- und Verwaltungsbefugnisse der Autonomen Provinz Bozen wird grundsätzlich durch die italienische Verfassung und das Autonomiestatut geregelt, das auch im Lichte der so genannten „Meistbegünstigungsklausel“ (Art. 10, Verfassungsgesetz Nr. 3/2001) auszu-legen ist. Auf der Grundlage dieser Klausel gilt Folgendes:

- Die konkurrierenden und tertiären Zuständigkeiten, die der Art. 117 der italienischen Verfassung den gewöhnlichen Regionen zuerkannt, erstrecken sich auch auf die Autonome Provinz Bozen. Dies bedeutet, dass die Autonome Provinz Bozen die Möglichkeit hat, die Liste der Zuständigkeiten, um die durch das Statut zugewiesenen Bereiche zu erweitern.
- Hinsichtlich der im Autonomiestatut aufgezählten Sachgebiete gilt der Grundsatz der günstigeren Regelung zwischen der des Statuts und der des Art. 117 Abs. 3 und 4 der Verfassung.

Grundsätzlich lassen sich folgende Kategorien von Zuständigkeiten der Autonomen Provinz Bozen unterscheiden:

- *Primäre Zuständigkeiten* (Art. 8 Autonomiestatut): Die Provinz ist befugt, im Rahmen der Verfassung und der Grundsätze der Rechtsordnung der Republik sowie unter Beachtung der internationalen Verpflichtungen, der nationalen Interessen und der Grundsätze der Wirtschafts- und Sozialreform der Republik Gesetze zu erlassen;
- *Sekundäre Zuständigkeiten* (Art. 9 Autonomiestatut): Die Provinz ist befugt, innerhalb der durch die Verfassung und die Grundsätze der Rechtsordnung der Republik festgelegten Grenzen, unter Beachtung der internationalen Verpflichtungen und der nationalen Interessen sowie innerhalb der Grundregeln der Wirtschafts- und Sozialreform der Republik und der in den Staatsgesetzen festgelegten Grundsätze Gesetze zu erlassen;
- *Konkurrierende Zuständigkeit (anpassungsrelevante Sektoren)* (Art. 117 Abs. 3 der Verfassung auf der Grundlage der „Meistbegünstigungsklausel“ gemäß Art. 10 des Verfassungsgesetzes Nr. 3/2001): Die Provinz verfügt über Gesetzgebungsbefugnis, mit Ausnahme der Festlegung der Grundprinzipien, die der staatlichen Gesetzgebung vorbehalten sind, in folgenden Sachgebieten: Gesundheitsschutz; Ernährung; Zivilschutz; Raumordnung; Häfen und Zivillughäfen; große Verkehrs- und Schifffahrtsnetze; Produktion, Transport und gesamtstaatliche Verteilung von Energie; Aufwertung der Kultur- und Umweltgüter und Förderung und Organisation kultureller Tätigkeiten;
- *Residuale/ausschließliche Zuständigkeiten* in allen Sachgebieten, die nicht ausdrücklich der Gesetzgebung des Staates vorbehalten sind (Art. 117 Abs. 4 der Verfassung auf der Grundlage der „Meistbegünstigungsklausel“ gemäß Art. 10 des Verfassungsgesetzes Nr. 3/2001).

Gemäß Artikel 16 des Statuts verfügt die Provinz in den Sachgebieten, in denen sie Gesetzgebungsbefugnis hat, auch *Verwaltungsautonomie* (einschließlich der *Verordnungsautonomie* gemäß den Art. 53-54 des Statuts). Abschließend verfügt die Provinz über Kompetenzen *in Steuersachen*.

Die spezifischen, für die Klimawandelanpassung relevanten sektoralen und transversalen Zuständigkeiten der Autonomen Provinz Bozen sind in den folgenden Absätzen aufgeführt.

5.3 Analyse der anpassungsrelevanten Politiken der Autonomen Provinz Bozen

Autorin: Mariachiara Alberton

Die meisten der für die Autonome Provinz Bozen identifizierten Klimarisiken sind Gegenstand von Politiken, die in die gemeinsame Zuständigkeit des italienischen Staates und der Autonomen Provinz Bozen fallen. Wie bereits erwähnt, bilden die „Nationale Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“ (SNAC) und der „Nationale Plan zur Anpassung an den Klimawandel“ (PNACC) den Rahmen für die Ausarbeitung der Anpassungspolitiken auf nationaler Ebene, während deren Umsetzung vor allem in den sektoralen Politiken erfolgt, die in die Zuständigkeit der Provinzen fallen.

Im Folgenden werden die verschiedenen Planungsinstrumente und Gesetzestexte sowohl auf transversaler als auch auf Provinzebene analysiert, mit besonderem Fokus auf die Anpassung und die wichtigsten Klimarisiken.

5.3.1 Allgemeine und transversale anpassungsrelevante Strategien und Pläne Südtirols

- **„Nachhaltigkeitspakt für unser Land“ und „Nachhaltigkeitsstrategie – Everyday for Future“:** In diesem Rahmen wird die Anpassung an den Klimawandel nur indirekt und teilweise thematisiert und berücksichtigt.
- **„Klimaplan Südtirol 2040“:** Dieser Plan, der bis 2040 in die Klimaneutralität führen soll, wurde am 18. Juli 2023 von der Landesregierung verabschiedet. Weiters sieht der Plan die Erstellung des lokalen Resilienzplans (Anpassungsstrategie Südtirols) aufbauend auf dem nationalen Plan (PNACC) vor. Obwohl der Schwerpunkt der geplanten Maßnahmen auf der Abmilderung des Klimawandels liegt, enthalten einige Aktionsfelder, wie Mobilität und Infrastruktur, spezifische Hinweise auf das Thema der Anpassung. Insbesondere bei neuen Straßeninfrastrukturprojekten wird ihre Resilienz auf Unwetterereignisse und Auswirkungen des Klimawandels erwartet.
- **„Regionale Entwicklungsstrategie 2021-2027“:** Diese Strategie, die mit dem Beschluss der Landesregierung Nr. 441/2020 genehmigt wurde, bildet die Grundlage für die strategische Ausrichtung der Planungsdokumente der Autonomen Provinz Bozen für die EU-Strukturfonds. Für alle relevanten Sektoren wird ausdrücklich auf die Notwendigkeit der Anpassung an den Klimawandel hingewiesen. Zudem werden die Wichtigkeit der Investition in die Resilienz im Rahmen der aktuellen Strukturfonds-Programmierung sowie die Notwendigkeit weiterer Anpassungsmaßnahmen in verschiedenen Bereichen hervorgehoben.
- **Strategie „Innovation und Forschung Südtirol 2030“ (RIS3):** Diese Strategie wurde von der Landesregierung am 26.10.2021 verabschiedet. Sie stellt den Kontext, den Prozess und die Faktoren dar, die zur Veränderung in der Innovations- und Forschungslandschaft in Südtirol beitragen können. Vier Spezialisierungsbereiche bilden den Kern der neuen Strategie: „Automation and Digital“, „Food and Life Science“, „Alpine Technologies“, „Green Technologies“. Die Spezialisierungsbereiche werden von Schwerpunktthemen und konkreten Zielen, Handlungsfeldern und Maßnahmen begleitet, zu denen auch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zählen, insbesondere in den Bereichen „Food and Life Science“, „Alpine Technologies und Green Technologies“.

5.4 Anpassungsrelevante sektorielle Strategien und Bestimmungen – sektorielle Analyse

Autor und Autorin: Michael Pörnbacher und Mariachiara Alberton

Die Analyse der provinziellen Pläne, Strategien und sektoralen Gesetzgebung erfolgte für die einzelnen Bereiche des Kapitels 4 und in Übereinstimmung mit der administrativen Struktur der Provinz. Für die Bewertung der Eignung dieser politischen Instrumente zur Bewältigung von Klimarisiken wurden die identifizierten Schlüsselrisiken den Inhalten sektorieller und übersektorieller politischer Dokumente gegenübergestellt und deren Adressierung im Detail beschrieben.

Konkret wurden in diesem Abschnitt für jedes Schlüsselrisiko folgende Indikatoren bewertet:

- Eignung politischer Instrumente zur Bewältigung von Klimarisiken (**Eignung**): Gibt an, ob und inwiefern die provinziellen politischen Dokumente die identifizierten Klimarisiken berücksichtigen und folglich eine Anpassung daran ermöglichen; Bewertung von sehr fortgeschritten bis niedrig
- Politischer Zeithorizont (**Zeithorizont**): drückt den zukünftigen Zeithorizont aus, der für aktuelle Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden muss, aufgrund des langen Planungs- und Umsetzungszeitraumes für Maßnahmen oder der Persistenz getroffener Entscheidungen (→ siehe u.a. *Kapitel 6.1.2*); Bewertung von langfristig bis kurzfristig
- **Risikoverantwortung**: Zuständigkeit bzw. Verantwortung für die Bewältigung des Klimarisikos (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend)

Generische sektorübergreifende Lücken politischer Instrumente

Im Zuge der induktiv durchgeführten Analyse ergaben sich eine Reihe von über die Sektoren hinweg beobachtbaren Unzulänglichkeiten der politischen Dokumente in der Berücksichtigung und Bewältigung von Klimarisiken. Vor allem folgende strukturelle Lücken wurden identifiziert:

- eine häufig fehlende dynamische Planung bzw. eine Integration von Klimarisiken in die (strategischen) Planungsinstrumente, welche häufig lediglich am Status Quo ausgerichtet sind
- fehlende Spezifikationen und Verbindlichkeiten der provinziellen und kommunalen Bestimmungen, welche zu potenziellen Umsetzungslücken führen
- zum Teil unzureichende Adressierung von Nutzungskonflikten durch sektorübergreifende Risiken und Synergien in deren Bewältigung, was sich auch zum Teil in einer fehlenden Intersektorialität von Gremien und Komitees widerspiegelt
- in geringerem Umfang unzureichende Integration von Klimarisiken in Kostenkalkulationen und nicht adäquate institutionelle Strukturen und Kapazitäten

Diese generischen Lücken der Instrumente werden im Folgenden sektoriell weiter spezifiziert und mit spezifischen Klimarisiken in Kontext gesetzt.

5.4.1 Wassermanagement

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 24 Autonomiestatut: **Wasserbauten der dritten, vierten und fünften Kategorie**

Konkurrierende Zust. gemäß Art. 9 Punkt 9 Autonomiestatut: **Nutzung der öffentlichen Gewässer, mit Ausnahme der Großableitungen zur Erzeugung elektrischer Energie**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 13 Autonomiestatut: **Maßnahmen zur Katastrophenvorbeugung und -soforthilfe**

Tabelle 4: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Wassermanagement

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risiko-verantwortung
Wassermangel für die Sicherstellung des ökologischen Abflusses	Mittel	Kurzfristig	C
Gesundheit der Ökosysteme durch steigende Wassertemperaturen	Niedrig	Mittelfristig	C
Störungen der Becken- und Flusssysteme durch Zunahme des Sedimenttransports (Gletscherschmelze)	Mittel	Mittelfristig	C
Verringerung der Trinkwassermenge und -qualität	Fortgeschritten	Langfristig	C
Wassermangel für die Bewässerung von Dauerkulturen und Grünland	Mittel	Langfristig	C
Wassermangel für die Stromerzeugung	Niedrig	Langfristig	C
Wassermangel für die Gewährleistung künstlicher Schneedeckung	Mittel	Langfristig	C
Wassermangel für Freizeit Zwecke im Sommer	Niedrig	Langfristig	C
Schäden an Ökosystemen, Siedlungen und Infrastrukturen aufgrund von Hochwasser	Mittel	Langfristig	C

Im Bereich des Wassermanagements existieren eine Reihe von Bestimmungen, welche den Schutz der Wasserressourcen adressieren. Prioritär wird dabei die Trinkwasserversorgung behandelt, welche auch in der Nutzungshierarchie Vorrang gegenüber anderen Nutzungen hat und für die eine Reihe von kurz- und mittelfristigen Maßnahmen zum Erhalt der Qualität, aber auch dem langfristigen Erhalt der Quantität in Kraft sind. Hierbei allerdings fehlt systematisch eine vorausschauende Einbeziehung von Klimarisiken auf die Qualität der Ressourcen und den künftigen Wasserbedarf, um entsprechend vorausschauende Managementmaßnahmen zu treffen und Nutzungskonflikte frühzeitig zu vermeiden. Verstärkt wird diese Thematik durch den steigenden Nutzungsdruck auf die Ressource durch andere Sektoren und die Konzessionsvergabe für Nutzungen verschiedenster Art, welche mitunter lange Laufzeiten aufweisen. Auch hier sind zwar eine Reihe von kurzfristigen Interventionsmöglichkeiten vorhanden, etwa in Notsituationen. Eine dezidierte, systematische Integration von Klimarisiken in den Parametern zu deren Vergabe fehlt dabei allerdings.

Ökologischen Aspekten werden mit dem Gewässerschutzplan rechtsverbindlich Priorität gegenüber anderweitigen Nutzungen eingeräumt. Während viele der genannten Interventionsmöglichkeiten aufgrund von Abweichungen dieser ökologischen Mindeststandards vorgesehen sind und den ökologischen Mindestabfluss sicherstellen sollen, fehlt dem zugrundeliegenden Kriterium, nämlich jenem des ökologischen Zustandes, der langfristige Planungshorizont mit entsprechenden proaktiven Anpassungen der Schutzkategorien an Klimarisiken. Dies zeigt sich z.B. daran, dass das Risiko des Temperaturanstiegs bei Ökosystemen nicht berücksichtigt wird. Bezüglich des Risikos des steigenden Sedimenttransportes werden zwar bereits heute Maßnahmen zur Verringerung der Geschiebeführung durchgeführt. Allerdings bleibt es unklar, inwiefern diese Maßnahmen klimabedingte Dynamiken, wie etwa eine verstärkte Gletscherschmelze, in der Bewertung der Wirksamkeit dieser berücksichtigen. Zugleich existieren Maßnahmen, welche dem Planungsprinzip der Einhaltung ökologischen Kriterien und der ganzheitlichen Berücksichtigung von Nutzungskonflikten zuwiderlaufen, wie etwa die vermehrte Wasserableitung für landwirtschaftliche Zwecke in Zeiten von Wassermangel bzw. der Verringerung der Restwassermenge. Besonders im Wassersektor zeigt sich also, dass die verschiedenen Risiken Maßnahmen verlangen, die in sich selbst widersprüchlich und zum Teil schwer miteinander in Einklang zu bringen sind. Entsprechende Priorisierungen von Wassernutzungen und Restriktionen wurden auch festgelegt. Allerdings werden sich möglicherweise ergebende fundamentale Nutzungskonflikte – auch bezüglich Nutzungen flussabwärts – nicht ausreichend betrachtet. Auch wenn Priorisierungen von Nutzungen unumgänglich sind und der

Sicherung des ökologischen Abflusses Priorität beigemessen wird und werden muss, bedarf es für eine gesamtheitliche Planung flexibler und differenzierter Prinzipien und Interventionsmöglichkeiten, eingebettet in eine jeweils sektorielle Gesamtstrategie zum Umgang mit dem Risiko des Wassermangels. Diese proaktive und systematische Integration der vielschichtigen Klimarisiken sowie deren Wechselwirkungen in sektorielle und übersektorielle Planungen, auch in strategischen Instrumenten wie etwa der Wasserbilanz des Wassernutzungsplanes, fehlt bislang weitgehend, ebenso wie die stärkere rechtsverbindliche Verankerung der Maßnahmen zur Wassereinsparung auf provinzieller und kommunaler Ebene. Auch wenn der Wassernutzungsplan prinzipiell die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen anerkennt, wird dieser fehlende Fokus auf strukturellen Wassermangel bei Betrachtung der einzelnen betroffenen Sektoren deutlich. In der landwirtschaftlichen Bewässerung manifestiert sich etwa das beschriebene Spannungsfeld zwischen sinkender Wasserverfügbarkeit und steigendem Wasserbedarf und fehlende strukturelle Maßnahmen gegen strukturell eingeschränkte Wasserverfügbarkeit. Ähnlich verhält es sich im Bereich der hydroelektrischen Nutzungen, wo bei Konzessionsvergaben zwar spezifische, auch zukunftsgerichtete Analysen durchgeführt werden müssen, klimatische Aspekte und die strukturellen Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit allerdings wieder häufig fehlen, ebenso wie die entsprechenden Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit. Auch bezüglich des Wassermangels für Freizeit Zwecke finden Klimarisiken in strukturelle Fragestellungen kaum Eingang. Hinsichtlich des Hochwasserrisikomanagements erarbeitete die Provinz im Einklang mit europäischen und nationalen Vorgaben im Jahr 2016 den Hochwasserrisikomanagementplan. Dieser enthält neben einer umfassenden Beschreibung des Ist-Zustandes im Bereich Hochwasserrisikomanagement alle wesentlichen Aktivitäten, Planungen und Instrumente für die Phasen Vorsorge, Schutz, Vorbereitung sowie Wiederaufbau und Bewertung hinsichtlich Hochwasserrisiken. Die Provinz besitzt dabei in den Bereichen Zivilschutz, Wasserschutz, Urbanistik und Raumplanung alleinige Zuständigkeiten, wobei vor allem der Gefahrenzonenplanung (sowie generell der Raumplanung) eine Schlüsselrolle in der Hochwasserprävention zukommt. Eine Abwägung zwischen Aspekten der Risikoreduktion und der Biodiversität, etwa in der Gestaltung von Uferäumen oder durch die Priorisierung von naturbasierten Lösungen findet in den Bestimmungen oder auch strategischen Instrumenten wie dem Wassernutzungsplan allerdings noch nicht ausreichend statt.

5.4.2 Biodiversität

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Ausschließliche Zust. des Staates: gemäß Art. 117 Abs. 2 Buchst. s) **Umwelt-, Ökosystem- und Kulturgüterschutz** fallen unter die ausschließliche Zuständigkeit des Staates

Konkurrierende Zust.: gemäß Art. 117 Abs. 3 steht die Gesetzgebungsbefugnis für die „**Aufwertung der Kultur- und Umweltgüter und Förderung und Organisation kultureller Tätigkeiten**“ der konkurrierenden Gesetzgebung von Staat und Regionen zu

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 15 Autonomiestatut: **Jagd und Fischerei**; Art. 8 Punkt 16 **Almwirtschaft** sowie Pflanzen- und Tierschutzparke

Tabelle 5: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Biodiversität

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Biodiversität seltener Waldtypen	Niedrig	Langfristig	P + C
Waldbiodiversität: Einwanderung invasiver Pflanzenarten	Mittel	Kurzfristig	P
Waldbiodiversität: häufigere Waldbrände	Fortgeschritten	Mittelfristig	P
Alpine Lebensräume: Ausbreitung wärmeliebender Arten	Mittel	Mittelfristig	P + C
Gletschergebundene Lebensräume und Arten	Niedrig	Langfristig	S + P + C

Alpine Arten mit kleinen, isolierten Teilpopulationen	Niedrig	Langfristig	S + P + C
Artengemeinschaften von Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert	Mittel	Mittelfristig	S + P + C
Artengemeinschaften von Mooren/Seen	Niedrig	Mittelfristig	S + P + C
Moorlebensräume: Verlust von Feuchtgebieten	Mittel	Mittelfristig	S + P + C
Lebensgemeinschaften von Seen	Niedrig	Mittelfristig	S + P + C
Fließgewässerbiodiversität durch Austrocknung	Mittel	Kurzfristig	S + C
Fließgewässerbiodiversität durch niedrige Wasserführung und hohe Temperaturen	Mittel	Mittelfristig	S + C
Fließgewässerbiodiversität durch invasive Neobiota	Fortgeschritten	Kurzfristig	S + C

Wie bereits erwähnt, hat die Sicherstellung eines guten ökologischen Zustandes der Fließgewässer höchste Planungspriorität, wenngleich eine umfangreiche Integration von Klimarisiken in den dabei zugrundeliegenden Planungsprinzipien häufig fehlt. Zum Erhalt seltener oder gefährdeter Fischarten können nach außerordentlichen Ereignissen Maßnahmen gesetzt werden, welche zusammen mit der präventiven Steuerung der Restwassermengen wichtige Instrumente zur Bewältigung von Dürreperioden darstellen. Abseits dieser punktuellen Interventionsmöglichkeiten ist ein proaktives, strukturelles Management von Fischpopulationen in Fließgewässern und in Seen aufgrund des Temperaturanstieges allerdings noch nicht entsprechend umfassend ausgeprägt.

Hinsichtlich der Waldbiodiversität steigt das Bewusstsein für eine Diversifizierung der Baumartenzusammensetzung und entsprechend notwendigen Anpassungen im Wald- und Wildmanagement aufgrund vermehrt auftretender Schadensereignisse. Dennoch gibt es wie bereits beschrieben bisher kaum dezidierte Maßnahmen zur Adressierung der Klimarisiken für die Waldbiodiversität, welche über generelle Bestimmungen, wie jene der Bekämpfung invasiver Arten, hinausgehen. Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung sind bereits implementiert, ebenso wie Bestrebungen zur Stärkung der Biodiversität etwa in der Waldrandgestaltung. Eine strukturelle Auseinandersetzung mit Klimarisiken für Waldökosysteme, wie etwa durch die Verschiebung ganzer Waldgesellschaften, fehlt allerdings noch weitgehend. Im Rahmen der genannten Reihe an Bestimmungen zur Bekämpfung von invasiven Arten und zum Schutz von wildlebenden Pflanzen- und Tierarten sowie zum Schutz naturschutzrelevanter Ökosysteme finden speziell Nass- und Feuchtflächen, aber auch Trockenstandorte eine spezielle Berücksichtigung mit entsprechenden Nutzungseinschränkungen. Das dabei vordergründig zur Anwendung kommende Kriterium des günstigen Erhaltungszustandes und der festgelegten prioritären Lebensräume basiert allerdings vor allem auf heutigen Ausgangsbedingungen und berücksichtigt nicht den möglicherweise steigenden Nutzungsdruck auf Individuen und Gemeinschaften durch klimatische Entwicklungen und damit proaktive Schutzmaßnahmen. Differenzierte und gestaffelte Schutz- und Pflegemaßnahmen, wie etwa im Nationalpark Stifser Joch, ermöglichen gezielte Interventionen zum Schutz und zur Stärkung der Biodiversität. Eine explizit klimabedingte Zukunftsperspektive fehlt allerdings auch in diesen Instrumenten, trotz ihres strategischen Charakters. Das Verbot bestimmter Aktivitäten, wie etwa die Einschränkung von Nutzungen in extensiv genutzten Gebieten, ist außerdem vor allem auf bestimmte Schutzgebiete wie Natura-2000 beschränkt. Diese selbst sind zwar wichtige Instrumente zur Aufrechterhaltung intakter Ökosysteme und, wie die fakultativen oder Fördermaßnahmen, zur Förderung der Vernetzung und Konnektivität von Lebensräumen. Allerdings werden die Klimarisiken in ihren Managementplänen wiederum nicht explizit berücksichtigt, ebenso wenig in den strategischen Verträglichkeitsprüfungen für Projekte in diesen Gebieten. Fundamental in diesem Zusammenhang sind allerdings die fehlenden Durchführungsbestimmungen des zugrundeliegenden Naturschutzgesetzes, was dessen praktische Implementierung und letztlich dessen Wirkung erheblich einschränkt. Vor allem für besonders exponierte Ökosysteme und Populationen (z.B. in Insellagen), welche bereits heute angepasster, langfristig ausgerichteter Managementstrategien, wie etwa des präventiven Schutzes von Ersatzstandorten, bedürften, fehlt ein Fokus auf spezifische Klimarisiken in den entsprechenden Managementstrategien.

Das Prinzip des Biodiversitätserhalts- bzw. dessen Stärkung im Angesicht von Klimarisiken und entsprechende Instrumente wie etwa naturbasierte Lösungen finden als grundlegende Planungsprinzipien in

Summe noch nicht ausreichend Verankerung in den politischen Sektoren. Auch eine entsprechende sektorübergreifende Gesamtstrategie fehlt in dieser Hinsicht, um eine strukturelle Berücksichtigung dieses für die Klimawandelanpassung zentralen Themengebietes sicherzustellen und Zielkonflikte zu vermeiden. Diese ergeben sich beispielsweise durch eine Reihe von Ausnahmebestimmungen oder fehlenden Stellungnahmepflichten von interdisziplinären Kommissionen zu Eingriffen in sensible Ökosysteme, die in Anbetracht der Klimarisiken wichtige Funktionen erfüllen.

5.4.3 Landwirtschaft

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 21 Autonomiestatut: **Landwirtschaft, Forstwirtschaft** und Forstpersonal, Vieh- und Fischbestand, Pflanzenschutzanstalten, landwirtschaftliche Konsortien und landwirtschaftliche Versuchsanstalten

Tabelle 6: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Landwirtschaft

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Verlust der Futtererträge in Grünlandgebieten	Niedrig	Kurzfristig	P
Hitzestress in der Tierhaltung und Ertragseinbußen in der Milchwirtschaft	Niedrig	Mittelfristig	P
Sinkende Erträge bzw. Ernteschädigungen bei Dauerkulturen	Niedrig	Kurzfristig	P
Überwintern/Entwickeln neuer Schädlinge	Fortgeschritten	Kurzfristig	P
Geringere Ertragssicherheit und Produktqualität im Acker- und Gemüsebau	Niedrig	Kurzfristig	P
Erhöhte Produktionskosten infolge aktiver Schutzmaßnahmen	Mittel	Kurzfristig	P

Im Sektor Landwirtschaft zeigt sich eine niedrige Anpassungskapazität der politischen Instrumente. Ein Großteil der Maßnahmen sind Förderungen verschiedenster Art, wie etwa zur Produktivitätssteigerung oder der Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft. Diese beschränken sich allerdings vor allem auf bauliche Investitionen – ohne klimabezogene Auflagen – und stellen weitgehend punktuelle Interventionen, z.B. nach atmosphärischen Ereignissen, dar, welche nicht kompatibel sind mit sich ändernden klimatischen Bedingungen und damit strukturellen Änderungsnotwendigkeiten. Auch wenn also kurzfristige, vor allem reaktive Interventionsmöglichkeiten bestehen, fehlt bis dato eine Verankerung von Resilienz als fundamentales, proaktives Kriterium in den Förderinstrumenten. Auch bezüglich der Schädlingsbekämpfung existieren phytosanitäre Maßnahmen zur kurzfristigen Intervention, allerdings wiederum ohne umfassende, vorausschauende Langzeitplanung. Im Bereich des Grünlandes, der Dauerkulturen und im Acker- und Gemüsebau beschränken sich die Maßnahmen gegen Ertragseinbußen vor allem auf die Bonifizierung und Bewässerung. Während diese per se ein zentraler Aspekt in der Adressierung künftiger Klimarisiken in der Landwirtschaft sein wird, fehlt allerdings eine Berücksichtigung von Klimaaspekten – im Vergleich zu ökologischen Kriterien – in der entsprechenden Planung sowie in strategischen Instrumenten weitgehend. So fehlt eine Integration von klimatischen Aspekten in die Bedarfskalkulation, eine umfassende Auseinandersetzung mit sich möglicherweise ergebenden Nutzungskonflikten um die Ressource und der Dichotomie zwischen vermehrtem Bewässerungsbedarf und sinkender

Wasserverfügbarkeit. Während die Bewässerung selbst (zumindest temporär) eine Anpassungsoption darstellt, besteht durch den Fokus hierauf allerdings zugleich die Gefahr, dass strukturelle Maßnahmen zur Verringerung der Vulnerabilität, wie etwa eine Anpassung hin zu resilienten Kulturen und Landwirtschaftspraktiken, vernachlässigt werden könnten, wenngleich diese kurzfristig umzusetzen sind und keiner langen Vorlaufzeiten bedürfen. Entsprechend muss auch die Resilienz stärker in den Forschungsbedarf integriert und, am Beispiel des Versuchszentrums Laimburg, welches im Bereich Bekämpfung und Monitoring von Schädlingen bereits wichtige und umfassende Aktivitäten durchführt, auch stärker institutionalisiert werden.

Im Bereich der Tiergesundheit gibt es eine breite Reihe von Bestimmungen zur Prävention und der Kontrolle von Tierkrankheiten, dem Tierwohl und passiven Schutz vor Naturkatastrophen durch Versicherungsbeihilfen. Ähnlich wie im Abschnitt Gesundheit beschrieben fehlt ein dezidierter Fokus auf Hitze und die entsprechenden Auswirkungen auf das Tierwohl sowie die Milchproduktion und damit eine notwendige Anpassung von Strukturen oder landwirtschaftlichen Praktiken, allerdings nahezu vollständig.

5.4.4 Forstwirtschaft

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 21 Autonomiestatut: **Forstwirtschaft** und Forstpersonal, Vieh- und Fischbestand, Pflanzenschutzanstalten, landwirtschaftliche Konsortien und landwirtschaftliche Versuchsanstalten

Tabelle 7: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Forstwirtschaft

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Waldschäden durch häufigere und stärkere Extremwetterereignisse und Temperaturanstieg	Mittel	Langfristig	P
Verschwinden/räumliche Verschiebung von Baumarten in der Höhenstufe, Unsicherheit in der Verwendung nicht-autochthoner Arten	Niedrig	Langfristig	P
Schädigung und Absterben großer Waldflächen durch Schädlinge/Krankheiten/abnehmende Vitalität	Mittel	Langfristig	P
Kohlenstoffemissionen bei Waldbränden/Absterben großer Waldflächen/Rückgang Kohlenstoffspeicherung	Fortgeschritten	Mittelfristig	P
Verringerung der Wasserspeicherfunktion und der Wasserqualität	Mittel	Langfristig	P
Risiko der Verringerung/des Verlustes der Schutzfunktion des Waldes	Fortgeschritten	Langfristig	P

Im Forstsektor existiert eine Reihe von Instrumenten, welche den Waldbestand schützen, Eingriffe reglementieren oder den Schutz des Waldbodens zum Ziel haben, aber auch solche, die kurzfristige Interventionsmöglichkeiten bieten, wie etwa durch Unterschutzstellungen oder Maßnahmen zur Bekämpfung von Schädlingsbefall. Der Waldbrandgefahr wird durch die Umsetzung von vor allem infrastrukturellen Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung relativ umfangreich Rechnung getragen, wenngleich dezidierte, ganzheitliche Planungsinstrumente bis dato fehlen. Auch Regiearbeiten bieten den Behörden wichtige und direkte Interventionsmöglichkeiten, etwa in den Bereichen der Erhaltung und

Wiederherstellung der Schutzfunktionen, Aufforstungen und Schutz der Verjüngung, Wiederherstellung der Waldflächen nach Naturkatastrophen oder Bränden und in der Prävention und Bewältigung von Schädlingsbefall. Eine Reihe von Förderungen komplementieren die genannten Bestimmungen, vor allem für die (Schutz)Waldpflege, die Bekämpfung von Schädlingen, die Vorbeugung von Schäden und die Wiederherstellung nach unter anderem klimainduzierten Schäden, wenngleich sich hier das Problem der großen Anzahl hofferner Waldbesitzer in deren Wirkung manifestiert. Während diese Maßnahmen also bereits die klimatischen Folgen für Waldgesellschaften adressieren und somit (v.a. bezüglich Naturkatastrophen) vordergründig reaktive Interventionsmöglichkeiten darstellen, sind die proaktiven Maßnahmen, wie etwa die Aufforstung und Anlage der Wälder, die Vorbeugung von Schäden sowie Investitionen zur Widerstandsfähigkeit des Waldes nicht klarer spezifiziert und nicht dezidiert an sich ändernden klimatischen Bedingungen ausgerichtet. So ignoriert beispielsweise die Förderung von Wiederaufforstung mit standortgerechten, einheimischen Baumarten die sich mittel- und langfristig ändernden klimatischen Bedingungen, mit Implikationen auf die Biodiversität, die Baumartenzusammensetzung, Verjüngungsverfahren und das Wildtiermanagement. Auch die Forschung sowie die Aus- und Weiterbildung der Forstwachen bezüglich (auch künftig) resilienten Waldgemeinschaften ist noch nicht ausreichend institutionalisiert.

Die Waldstrategie der Provinz adressiert die sektoriellen Schlüsselrisiken zu einem weiten Teil. Hier zeigt sich allerdings die Diskrepanz zwischen der Strategie und der legislativen Verankerung der dort festgeschriebenen Prinzipien. Die Waldagenda 2030 hat eine resiliente Waldgemeinschaft zum Ziel, die den diversen Funktionen, allen voran der Schutzfunktion, vollumfänglich nachkommen soll und definiert entsprechende Ziele und Maßnahmen. Die entsprechenden legislativen Maßnahmen sind allerdings nicht dementsprechend dezidiert daran ausgerichtet und die Strategie sowie deren Inhalte bezüglich resilienten Waldgesellschaften demnach, auch in eigentlich langfristigen Planungsinstrumenten wie dem Behandlungsplan oder der Waldkartei, nicht ausreichend institutionalisiert.

5.4.5 Gesundheit

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Sekundäre/Konkurrierende Zust. der Autonomen Provinz gemäß Art. 9 Punkt 10 Autonomiestatut: Hygiene und Gesundheitswesen

Tabelle 8: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Gesundheit

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Hitze- und Kältestress sowie Luftverschmutzung	Niedrig	Mittelfristig	C
Klimaabhängige Infektionskrankheiten	Mittel	Kurzfristig	C
Zunehmende Naturkatastrophen und Notfälle im Freien	Mittel	Mittelfristig	C
Wasser- und lebensmittelbedingte Krankheiten	Niedrig	Mittelfristig	C

Im Gesundheitsbereich existiert bereits eine Reihe von Bestimmungen und Strategien, welche sich mit der Prävention von gesundheitlichen Risiken beschäftigen. Allen voran adressiert der Landespräventionsplan mitunter eine Reihe von Klimarisiken und verfolgt weitgehend den „One-Health-Ansatz“ sowie ein „Health policy mainstreaming“, also eine Integration von Gesundheitsaspekten in alle Politikbereiche, wobei ihm eine entsprechende institutionelle und auch rechtliche Verankerung und damit ein unmittelbar wirksamer Einfluss fehlt. Daneben gibt es sowohl im Bereich der menschlichen Gesundheitsvorsorge als auch bezüglich der Tiergesundheit weitere Bestimmungen zur Prävention und Überwachung von vektorübertragenen Krankheiten und intensive Monitoring- und Reportingmaßnahmen. Auch

wenn also kurzfristige Interventionsmöglichkeit bestehen, ist die systematische Betrachtung von Klimarisiken in dieser Hinsicht nicht entsprechend implementiert, was eine proaktive Anpassung daran erschwert. Ähnlich verhält es sich bezüglich des Risikos zu vermehrten Naturkatastrophen und Masseneignissen, wo zwar bestehende Maßnahmen zu Warnsystemen oder Einsatzketten adäquate Reaktionen ermöglichen, eine langfristige Perspektive allerdings abermals weitgehend fehlt, um sich auf häufigere, intensivere Ereignisse proaktiv vorzubereiten und Strukturen sowie Prozesse frühzeitig anzupassen. Hitze- und Kältestress finden bis dato in sektorspezifischen Bestimmungen so gut wie keinen, in strategischen Planungsinstrumenten einen nur marginalen Niederschlag. Zwar werden punktuelle Maßnahmen vorgeschlagen, welche etwa die Hitzebelastung von vulnerablen Personengruppen mindern sollen, eine umfassende Institutionalisierung des Risikos von Hitze- und Kältewellen fand bis dato allerdings nicht statt. Dementsprechend schwach sind auch die rechtlichen und institutionellen Querverbindungen zu anderen Sektoren wie etwa der Raumplanung ausgeprägt, welche zentral zur Minderung des Hitzेरisikos wären. Auch die Auswirkungen von sich ändernden Temperaturbedingungen auf die Wasserqualität oder das Risiko für wasser- und lebensmittelbedingte Krankheiten werden in den Gesundheitsbestimmungen, aber auch in jenen zur Planung, Wartung und zum Monitoring der entsprechenden Infrastrukturen nicht ausreichend berücksichtigt. Fundamental bezüglich der Integration von Klimarisiken in Gesundheitsfragen und damit der Stärkung des Klima-Gesundheits-(und Ungleichheits)-Nexus ist der Landesregierungsbeschluss Nr. 862 vom Oktober 2023 zur Errichtung des Systems zur Prävention von umwelt- und klimabedingten Gesundheitsrisiken auf Landesebene (SPGL) und der Einrichtung einer entsprechenden intersektoriellen Steuerungsgruppe. Der Grad, inwiefern und wie zeitnah dieses Instrument tatsächlich implementiert wird, ist zentral für die wirksame Integration von Klimarisiken in den Gesundheitssektor und darüber hinaus, ganz im Sinne des ganzheitlichen „One-Health-Ansatzes“.

5.4.6 Tourismus

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 20 Autonomiestatut: **Fremdenverkehr** und Gastgewerbe einschließlich der Führer, der Bergträger, der Schilehrer und der Schischulen

Tabelle 9: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Tourismus

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Abnahme der Attraktivität des Wintertourismus	Niedrig	Langfristig	P
Sicherheit der Menschen während der Sommersaison	Mittel	Mittelfristig	P
Sicherheit der Menschen während der Wintersaison	Mittel	Mittelfristig	P
Schäden an der touristischen Infrastruktur	Mittel	Langfristig	P + C
Verminderte Lebensqualität der einheimischen Bevölkerung, Minderung der Tourismusgesinnung	Niedrig	Mittelfristig	P
Überlastung des öffentlichen Gesundheitssystems und der Mobilitätsinfrastruktur	Niedrig	Langfristig	C

Mit dem Landestourismusentwicklungskonzept 2030+ (LTEK) wurde 2021 eine Strategie verabschiedet, welche unter anderem einen resilienten Tourismussektor zum Ziel hat und dabei sowohl auf die Ebene der Infrastruktur als auch auf jene der Destinationen eingeht. Auch auf Aspekte wie die

Aufrechterhaltung der Tourismusgesinnung oder Sicherheitsfragen im Sommertourismus geht die Strategie ein. Sie dient als Grundlage für die Entwicklung der kommunalen Tourismusentwicklungskonzepte, wodurch sich eine unmittelbare praktische Relevanz ergibt, auch wenn sie abseits dessen keine Verbindlichkeit aufweist. Inwiefern die Schlüsselrisiken im Tourismussektor also adressiert werden, hängt von der Ambition und Wirksamkeit dieser kommunalen Konzepte ab, auch vor dem Hintergrund der fehlenden Integration von Klimarisiken in provinzielle Bestimmungen (abseits existenter sektorieller Bestimmungen wie der Gefahrenzonenplanung oder des Zivilschutzes). Auch in Instrumente auf Betriebs- und Destinationsebene fehlt diese Verankerung, abseits fakultativer Aktivitäten wie etwa Zertifizierungen. Regelungen zur Finanzierung etwa haben weiterhin die traditionelle Förderung des Tourismus zum Ziel, ohne z.B. auf die künftige Verlagerung der touristischen Ströme einzugehen oder spezifische Entwicklungsnotwendigkeiten wie der Diversifizierung von Strukturen und Angeboten in Anbetracht klimatischer Änderungen – vor allem in Wintertourismusregionen – zu betrachten. Diesbezüglich ähnlich ist die Rolle der Tourismusorganisationen definiert, ohne sich – etwa über deren Strategieprogramme – langfristig auf die Steigerung der Resilienz gegenüber künftigen Klimarisiken zu fokussieren, was aufgrund der hohen Persistenz allerdings bereits heute nötig wäre. Auch das Tourismusmarketing berücksichtigt heute noch keine Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Entwicklung der Tourismusflüsse, welche eine gezieltere Intervention zur frühzeitigen Entflechtung der Ströme ermöglichen könnte. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf eine Reihe von Klimarisiken, die mit der möglichen räumlichen sowie zeitlichen touristischen Konzentration zusammenhängen. So wird etwa die unzureichende Dimensionierung von Mobilitätsinfrastrukturen oder sanitären Einrichtungen durch zusätzliche Sicherheitsrisiken und verstärkt auftretenden Massenanfällen noch weiter verschärft. Auch die durch diese Konzentrationseffekte möglicherweise sinkende Lebensqualität und damit Tourismusgesinnung der Bevölkerung vor Ort stellen systemische Risiken für den Tourismussektor dar, die einer umfassenden Berücksichtigung in der langfristigen Planung bedürfen. Inwiefern die lokalen Tourismusentwicklungskonzepte hierfür das passende Instrument sein könnten, muss sich erst zeigen.

5.4.7 Siedlungen, Infrastruktur und Kulturerbe

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 5 Autonomiestatut: **Raumordnung und Bauleitpläne**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 10 Autonomiestatut: **geförderter Wohnbau**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 28 Autonomiestatut: **Schulbau**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 19 Autonomiestatut: **Übernahme öffentlicher Dienste in Eigenverwaltung und deren Wahrnehmung** durch Sonderbetriebe

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 17 Autonomiestatut: **Straßenwesen, Wasserleitungen und öffentliche Arbeiten im Interessenbereich der Provinz**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 18 Autonomiestatut: **Kommunikations- und Transportwesen im Interessenbereich der Provinz einschließlich der technischen Vorschriften für Seilbahnanlagen und ihren Betrieb**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 11 Autonomiestatut: **Binnenhäfen**

Konkurrierende Zust. gemäß Art. 117 Abs. 3 Verfassung: **Raumordnung, Häfen und Zivilflughäfen, große Verkehrs- und Schifffahrtsnetze**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 3 Autonomiestatut: **Schutz und Pflege der geschichtlichen, künstlerischen und volklichen Werte**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 4 Autonomiestatut: **örtliche Sitten und Bräuche sowie kulturelle Einrichtungen** (Bibliotheken, Akademien, Institute, Museen) **provinzialen Charakters; örtliche künstlerische, kulturelle und bildende Veranstaltungen und Tätigkeiten**; hierfür können auch Hörfunk und Fernsehen verwendet werden, unter Ausschluss der Befugnis zur Errichtung von Hörfunk- und Fernsehstationen

Tabelle 10: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle

Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Siedlungen, Infrastruktur und Kulturerbe (in grau schattiert übersektorielle Risiken)

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Schäden an Wohngebäuden, Produktionsstätten, Transportinfrastrukturen und öffentlichen Räumen	Mittel	Langfristig	P + C
Schäden an und Gesundheitsdiensten- und Infrastrukturen	Mittel	Langfristig	P + C
Schäden an Gemeinschaftsinfrastrukturen und -diensten	Mittel	Langfristig	P + C
Schäden, Verlust und Qualitätsminderung des kulturellen Erbes	Mittel	Mittelfristig	P
Attraktivitätsverlust von Territorium und Tourismus	Niedrig	Mittelfristig	P
Schäden an Ökosystemen, Siedlungen und Infrastruktur aufgrund von Hochwasser	Mittel	Langfristig	P + C
Schäden an der touristischen Infrastruktur	Mittel	Langfristig	P + C
Hitze- und Kältestress sowie Luftverschmutzung	Mittel	Mittelfristig	C

Neben den genannten Risiken für Siedlungen und Infrastrukturen ist der Raumplanungssektor fundamental zur Bewältigung von einer Reihe von Klimarisiken anderer Sektoren (rote Zeilen in der Tabelle), welche durch räumliche Strukturen beeinflusst werden.

Die Landschaftsplanung und das zugrundeliegende Gesetz für Raum und Landschaft sowie die entsprechenden Gremien und Kommissionen berücksichtigen Klimarisiken und Anpassung bislang nur gering und böten gute Einstiegsunkte für eine entsprechend restriktive Verankerung. Der Schutz von Landschafts- und Kulturelementen erfolgt heute z.B. weitgehend aufgrund ästhetischer oder historischer Kriterien, während ein ähnlicher proaktiver Schutz anpassungsrelevanter Flächen und Elemente noch nicht umfassend institutionalisiert ist. Zwar existieren vor allem mit dem Gemeindeentwicklungsprogramm und der dort vorgesehenen Siedlungsabgrenzung, dem Prinzip der Innenentwicklung und der Wiedernutzung von Flächen oder Bestimmungen zum Bodenschutz wirksame Instrumente zur Vermeidung der Bodenversiegelung und der Verringerung der Exposition gegenüber Naturgefahren. Eine unzureichende strukturelle, systematische Ausrichtung des Schlüsselsektors Raumplanung an der Risikomitigation wird dort allerdings – z.B. anhand der Mindestinhalte provinzieller und kommunaler Planungsinstrumente – zugleich deutlich.

Das wesentlichste Instrument zur Minderung der Risiken für Schäden an Siedlungsstrukturen durch Extremereignisse ist die Gefahrenzonenplanung (→ siehe u.a. *Kapitel Wassermanagement*), welche Raumplanungsbestimmungen direkt mit der Prävention von Naturgefahren verknüpft. Durch differenzierte Einschränkungen der Bebauungsaktivitäten je nach potenzieller Gefährdung ermöglicht diese eine an kommunale Gegebenheiten angepasste Risikoprävention und zielt so darauf ab, Schäden an Siedlungs- und Infrastrukturen zu verhindern bzw. zu minimieren. Durch den persistenten Charakter von Siedlungsstrukturen ergibt sich allerdings eine teilweise Inkonsistenz zwischen sich ändernden klimatischen Bedingungen und der Ausgangs- bzw. Datengrundlage für heute getroffene Entscheidungen. Über die Simulation äußerst seltener Ereignisse wird der Überlastfall bereits berücksichtigt, die explizite Berücksichtigung von klimatischen Änderungen und deren Auswirkungen (z.B. bezüglich der Annuitäten, Intensitäten und Unsicherheiten) fehlt in den Bestimmungen allerdings noch in Teilen, ebenso wie die konsequente Regelung des Restrisikos. Ähnliches gilt bezüglich der Resilienz von Infrastrukturen. So fehlt etwa in den Normen für Mobilitätsinfrastrukturen eine strukturelle und umfassende Auseinandersetzung mit zukünftigen klimatischen Bedingungen und extremen Ereignissen, auch wenn für spezifische Infrastrukturen wie Brücken oder Energieinfrastrukturen explizite und etwas weitreichendere Bestimmungen

vorhanden sind. Potenziell integrative Instrumente wie die Kosten-Nutzen-Analyse für Infrastrukturen berücksichtigen die möglicherweise systemischen Kosten durch mangelnde Klimaresilienz nicht ausreichend, während strategische Planungsinstrumente wie der LMP oder der LPNM darüber hinaus auch makroregionale Trends, z.B. im Tourismussektor, nicht zur Genüge in die strategische Planung miteinbeziehen.

Die Grünflächenplanung ist zwar umfassend definiert und vor allem auf kommunaler Ebene stark in der Siedlungsplanung verankert, geht allerdings kaum auf die zukünftigen Bedürfnisse bzw. deren vielfältigen Funktionen vor dem Hintergrund diverser Klimarisiken, wie etwa Hitze- oder Hochwasserschutz, ein. Die Bedarfserhebungen zur Ausstattung mit Grün- und Freiräumen basieren auf dem Status quo, ohne klimatische Aspekte mit einer entsprechend proaktiven Freihaltung von anpassungsrelevanten Flächen ausreichend zu berücksichtigen. Zwar sehen die Leitlinien zur Erstellung des Gemeindeentwicklungsprogrammes die Integration von Klimarisiken bei der Auswahl der jeweiligen Planungsalternativen vor, im Gegensatz zu den weniger weitreichenden Mindestinhalten sind diese Leitlinien jedoch nicht direkt bindend und lassen daher erheblichen Spielraum in der Grünraumplanung zu. Auf Grundstücksebene gibt es weiters eine Reihe von Bestimmungen zur Vermeidung der Bodenversiegelung, während in der Bebauungsplanung noch ungenutzte kommunale Handlungsspielräume zur (fakultativen) Ausstattung mit anpassungsrelevanten Elementen vorhanden sind. Das Thema der Siedlungsdichte ist weiters wenig ausdifferenziert. Während diverse Planungsinstrumente kompakte Siedlungsstrukturen forcieren, fehlt hier eine stärkere Berücksichtigung der Balance zwischen Mitigation und Adaption, um eine maßvoll dichte Struktur mit einer auf künftige Klimabedingungen ausgerichtete Versorgung mit Grün- und Freiräumen sicherzustellen.

5.4.8 Energie

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Konkurrierende Zust. gemäß Art. 117 Abs. 3 Verfassung: Produktion, Transport und gesamtstaatliche Verteilung von Energie

Konkurrierende Zust. gemäß Art. 9 Punkt 9 Autonomiestatut: **Nutzung der öffentlichen Gewässer, mit Ausnahme der Großableitungen** zur Erzeugung elektrischer Energie

Konkurrierende Zust. gemäß Art. 13 Autonomiestatut: Die Provinz regelt mit **Landesgesetz die Modalitäten und die Verfahren für die Vergabe der Konzessionen für große Wasserableitungen** zur Erzeugung elektrischer Energie. Das Landesgesetz regelt zudem die Dauer der Konzessionen, die Kriterien zur Festlegung der Konzessionsgebühren, die Parameter für die Entwicklung der Anlagen sowie die Modalitäten zur Bewertung der landschaftlichen Aspekte und der Umweltverträglichkeit, indem es die entsprechenden Ausgleichsmaßnahmen bestimmt.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Energie

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Erhöhter Energiebedarf und steigende Spitzenbedarf	Mittel	Mittelfristig	C
Schäden und geringere Zuverlässigkeit der Energieübertragungs- und Speicherinfrastruktur	Niedrig	Langfristig	C
Schäden, Energie- und Leistungsmängel sowie Unterbrechungen der Versorgungssicherheit	Mittel	Langfristig	C

Im Energiesektor sind bis dato nur wenige unmittelbar anpassungsrelevante Bestimmungen in Kraft. Im

Bereich der Planung der Energieinfrastruktur fehlt etwa in weiten Teilen der Aspekt der Resilienz bzw. der Einfluss von Klimarisiken auf die Versorgungssicherheit (z.B. in Abwägungen zwischen Freileitungen oder Erdkabel). Auch wenn der (überregionale) Netzausbau per se eine wichtige Maßnahme zur Verringerung der Vulnerabilität ist, äußert sich in Teilen eine fehlende dynamische Komponente in Planungs- und Entscheidungsprozessen, etwa auch in der mangelnden Berücksichtigung systemischer Kosten durch Klimarisiken in den Kostenkalkulationen. Die Maßnahmen, vor allem zum Naturgefahrenmanagement im Energiesektor, sind in weiten Teilen reaktiv. Auch wenn für große Infrastrukturprojekte wie Erdkabel spezifische Risikoanalysen durchgeführt werden, ist diese dezidierte Integration von Klimarisiken in einer entsprechend zukunftsgerichteten Planung nicht umfassend institutionalisiert. Im Bereich der erneuerbaren Energien gab es vor allem zur Errichtung von PV im Gebäudeumfeld Erleichterungen, allerdings erschweren zum Teil zu restriktive Bestimmungen im Bereich anderweitiger PV oder Windkraft, mangelnde Verbindlichkeiten in der Integration erneuerbarer Energien und der primäre Fokus auf Förderinstrumente die Notwendigkeit einer umfassenden Diversifizierung der provinziellen Energieproduktion, welche sich durch Angebotsschwankungen und sich generell verstärkende Nutzungskonflikte um die Ressource Wasser ergeben. Entsprechende ökonomische Risiken für die Betreiber, sowie generell die Auswirkungen klimatischer Bedingungen und Konflikte um die Ressource Wasser, werden in Risikobewertungen der Anlagen, als auch bei Konzessionsvergaben (z.B. als Mindestkriterien wie etwa hinsichtlich Exposition, Wasserverfügbarkeit, Nutzungskonflikte in der Region etc.), nicht ausreichend berücksichtigt.

5.4.9 Wirtschaft

Sektorspezifische Kompetenzverteilung

Konkurrierende Zust. gemäß Art. 9 Punkt 3 Autonomiestatut: **Handel**

Konkurrierende Zust. gemäß Art. 117 Abs. 3 Verfassung: **Produktion, Transport und gesamtstaatliche Verteilung von Energie**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 20 Autonomiestatut: **Gastgewerbe**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 9 Autonomiestatut: **Handwerk**

Primäre Zust. gemäß Art. 8 Punkt 18 Autonomiestatut: **Kommunikations- und Transportwesen im Interessenbereich der Provinz**

Tabelle 12: Zusammenfassung der Schlüsselrisiken, der Eignung der politischen Instrumente zur Bewältigung der Klimarisiken, des zu berücksichtigenden Zeithorizontes und der Zuständigkeiten (P=exklusive provinzielle Kompetenz, S=exklusive staatliche Kompetenz, C=konkurrierend) für den Sektor Wirtschaft

Identifizierte sektorielle Schlüsselrisiken (Abkürzung)	Eignung	Zeithorizont	Risikoverantwortung
Beeinträchtigung der Beschäftigtenproduktivität	Niedrig	Kurzfristig	P
Zunahme des Energieverbrauchs und der Kosten für Lagerung und Transport	Niedrig	Kurzfristig	C
Schäden an Gebäuden, gelagerten Gütern, Maschinen oder Ausrüstungen	Mittel	Langfristig	P
Zunahme von Nutzungskonflikten um Wasser	Mittel	Langfristig	P + C
Lieferengpässe und geringere Versorgungssicherheit	Niedrig	Langfristig	P
Wettbewerbsverluste der heimischen Unternehmen durch transitorische Risiken	Mittel	Mittelfristig	P + C

Die Wirtschafts- und Industriepolitik der Provinz orientiert sich bislang kaum an den sektoriellen Klimarisiken und weist keine diesbezüglichen direkten Inhalte in den entsprechenden Bestimmungen auf.

Klimarisiken, welche auch von sektorübergreifender Bedeutung sind, wie etwa Schäden an Infrastrukturen und Gütern oder auch Wasserversorgung und entsprechende Nutzungskonflikte, sind über entsprechende Bestimmungen anderer Sektoren abgedeckt und damit teilweise – im beschriebenen Umfang – adressiert. Hinsichtlich der Wasserversorgung wird der Ableitung für wirtschaftliche Zwecke dabei im Falle von Wasserknappheit nur eine geringe Priorisierung beigemessen, während zugleich der Wasserbedarf durch Kühlleistungen steigt – eine Dichotomie, die bereits in anderen Sektoren beschrieben wurde und entsprechende Managementprozesse verlangt. Im landwirtschaftlichen Bereich wird die Gründung von Nahrungsmittelbezirken unterstützt, welche die Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit und Produktionsketten sicherstellen soll. Die Versorgungssicherheit soll unter anderem mit Lieferkettenvereinbarungen gewährleistet werden. Ein umfassender, über alle Wirtschaftssektoren übergreifender Fokus auf das Risiko der geringeren Versorgungssicherheit mit Rohstoffen und Zwischenprodukten durch Klimarisiken, welche Handelspartner betreffen, ist allerdings nicht ausgeprägt. Ähnlich verhält es sich mit dem Risiko der Beeinträchtigung der Beschäftigtenproduktivität durch steigende Temperaturen und Hitzewellen, welches zwar vage in Gesundheitsplanungsinstrumenten adressiert wird, allerdings keinerlei Spezifikationen bezüglich der Auswirkungen auf die Tätigkeiten der Beschäftigten oder auf die Lager- und Transportkosten aufweist.

5.5 Stakeholder Mapping

Autorinnen und Autor: Chiara Pellegrini, Michael Pörnbacher, Lydia Pedoth

Einleitung

Das Stakeholder Mapping ist ein Prozess zur Identifizierung, Analyse und Klassifizierung der sogenannten Stakeholder, die an einem Projekt oder einer Initiative beteiligt oder davon betroffen sind (Freeman, 2010). Für diesen Bericht, der die Klimarisiken analysiert und Empfehlungen für die Anpassung an den Klimawandel in Südtirol liefert, konnten mit dem Mapping zahlreiche Stakeholder ermittelt werden, die sich direkt oder indirekt mit Fragen der Anpassung an den Klimawandel befassen. Diese Stakeholder können in die Umsetzung der je nach Zuständigkeitsbereich vorgeschlagenen sektoralen und sektorübergreifenden Maßnahmen eingebunden oder von ihnen beeinflusst werden und somit die Rechtmäßigkeit, Akzeptanz und Implementierung einer Anpassungsstrategie verbessern.

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Stakeholder Mappings präsentiert, und zwar mit dem Ziel, einen Überblick über die Stakeholder aufgeschlüsselt nach Sektoren und Makrokategorien, eine vorläufige Analyse ihrer Kompetenzen, ihres Einflusses und ihrer Handlungsfähigkeit bei der Umsetzung der Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu geben.

Methode

Die angewandte Methode (Reed et al., 2009) sah eine Gliederung in drei aufeinanderfolgende Phasen vor, die von den Forscherinnen und Forschern von Eurac Research umgesetzt wurden. In der ersten Phase fand ein Brainstorming statt, um die Stakeholder in jedem der 14 in das Projekt inkludierten Sektoren¹ zu identifizieren, die von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind oder sehr wahrscheinlich betroffen sein werden. In der zweiten Phase bewertete das Forschungsteam, nach eigener Einschätzung und Erfahrung, jeden Stakeholder nach dem Wissensstand, Einfluss und seiner Handlungsfähigkeit bezüglich der Anpassung an den Klimawandel (André et al., 2012). Abschließend wurden die Bewertungen statistisch analysiert und die Stakeholder je nach primärem und sekundärem Zugehörigkeitssektor gruppiert.

Ergebnisse

Das Mapping ergab, dass in Südtirol derzeit 178 Stakeholder tätig sind, die von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind oder betroffen sein werden (Abbildung 23). Die Sektoren mit den meisten beteiligten Stakeholdern umfassen: Siedlungen und Infrastruktur (13 %), Landwirtschaft (11 %), Biodiversität und Umweltschutz (10 %) sowie Industrie und Dienstleistungen (10 %). Es folgen die Sektoren mit einer „mittleren“ Anzahl an betroffenen Stakeholdern: Soziokultur und Wohlbefinden (8 %), Gesundheit und Gesundheitswesen (5 %), Forstwirtschaft (5 %) und Zivilschutz (5 %) und letztendlich die Sektoren, in denen die wenigsten Stakeholder sich aktiv mit Klimaanpassung beschäftigen: Energie (4 %), Tourismus (4 %) und Wassermanagement (2 %). In diesen Sektoren führt das Fehlen organisierter und nicht organisierter zivilgesellschaftlicher Stakeholder zu einer Unterrepräsentation in der partizipativen Planung und Umsetzung der vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen.

¹ Landwirtschaft, Biodiversität und Umweltschutz, Energie, Forstwirtschaft, Gesundheit und Gesundheitswesen, Industrie und Dienstleistungen, Siedlungen und Infrastruktur, Tourismus, Wassermanagement, Zivilschutz, Bildung, Soziokultur und Wohlbefinden, sektorübergreifend.

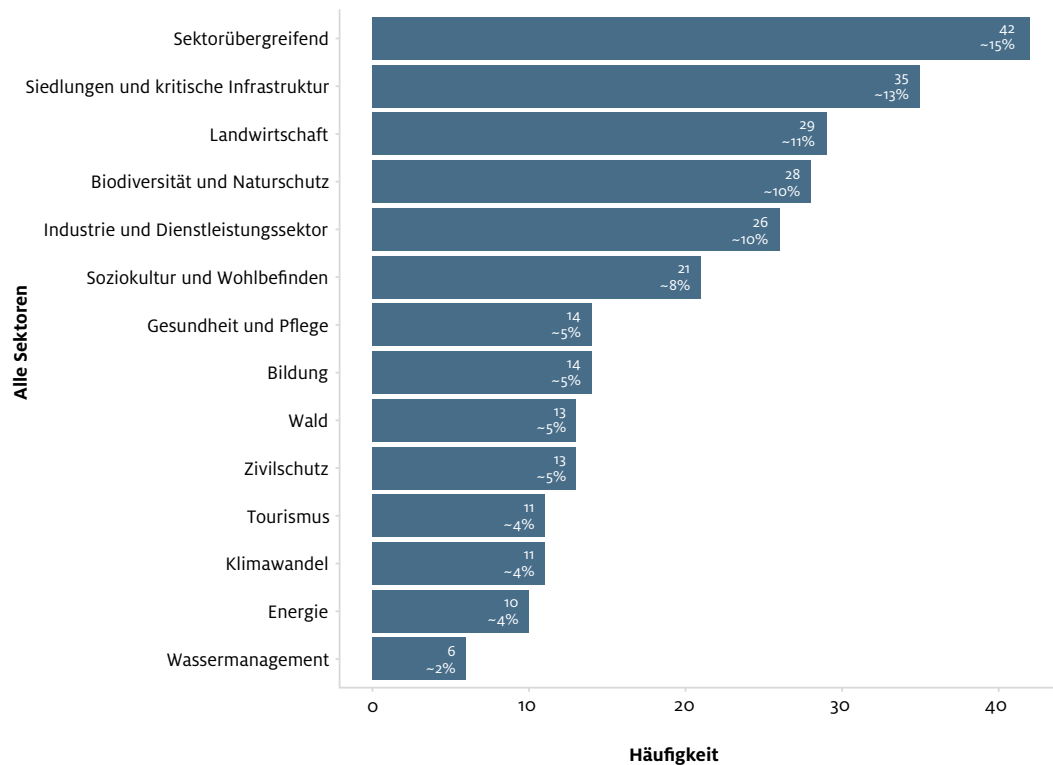


Abbildung 24: Anzahl der Stakeholder pro Sektor (in Prozent und Zahlen)

Die gemappten Stakeholder wurden dann in vier Makro-Kategorien eingeteilt. Die Mehrheit (44 %) gehört der Kategorie „Institutionen und politische Organisationen“ an, gefolgt von „Industrie, Wirtschaft und Finanzen“ (30 %), zu der Unternehmen, Wirtschaftsverbände und Berufsverbände gehören. Die dritte Kategorie umfasst „Organisationen der Zivilgesellschaft, Medien und Kultur“ (18 %), denen Kultur-, Religions- und Umweltschutz- und Alpenschutzverbände angehören. Die Stakeholder aus dem Bereich „Wissenschaft und Forschung“ (6 %) umfassen schließlich die Forschungseinrichtungen des Landes. Die geringe Beteiligung der Zivilgesellschaft und des Forschungssektors stellt einen einschränkenden Faktor dar, da ein Großteil der Anpassung auf der Sensibilisierung und Information der Bevölkerung sowie auf Innovation beruht.

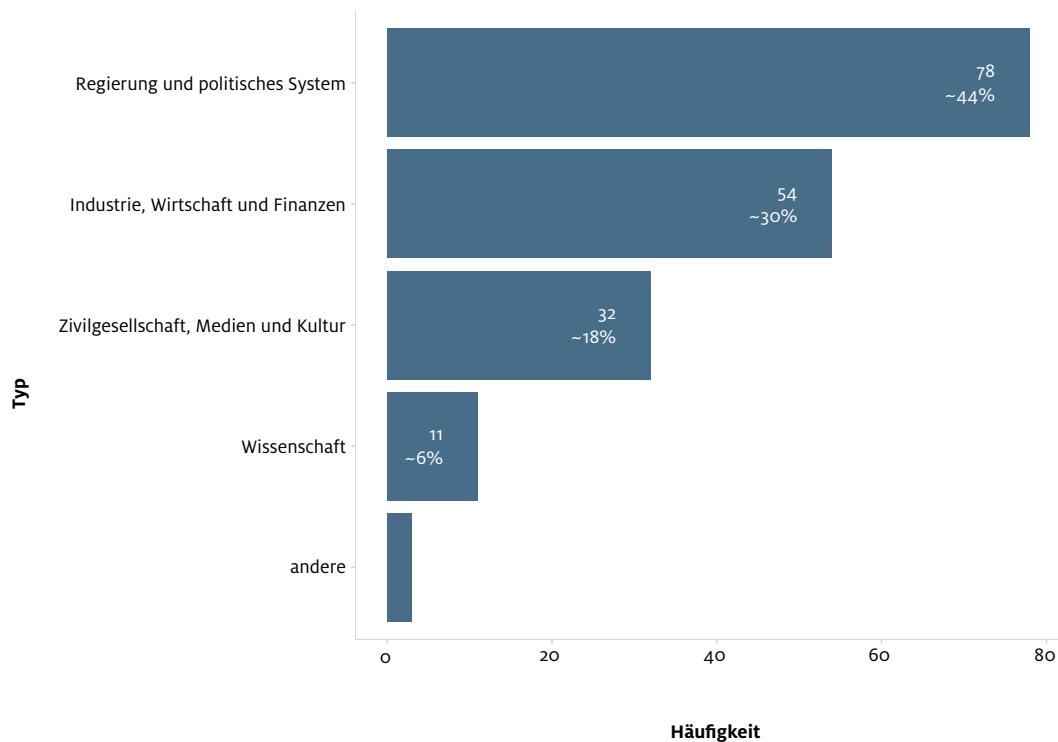


Abbildung 25: Anzahl der Stakeholder pro Makro-Kategorie (in Prozent und Zahlen)

Die Ergebnisse der Bewertung der drei Kriterien Wissenstand, Einfluss und Handlungsfähigkeit der Stakeholder in Bezug auf Klimawandelanpassung lassen eine deutliche Polarisierung unter den Stakeholdern in den verschiedenen Sektoren erkennen (Abbildung 26).

Die Stakeholder der Sektoren Forstwirtschaft, Wassermanagement, Landwirtschaft und des Zivilschutzes scheinen gute Kenntnisse über die Klimarisiken zu haben. Sie sind in der Lage, den Entscheidungsprozess bezüglich der Anpassungsmaßnahmen zu beeinflussen und verfügen über die notwendigen Handlungsfähigkeiten, um die in der Strategie vorgesehenen Maßnahmen konkret umzusetzen. Andererseits besitzt der Sektor „Biodiversität und Umweltschutz“ umfassende Kenntnisse und Handlungsfähigkeiten im Bereich der Anpassung an den Klimawandel, erweist sich aber als weniger einflussreich in den Entscheidungsprozessen. Dies könnte bedeuten, dass dieser besonders relevante Sektor politisch nicht stark genug vertreten ist.

Stakeholder aus den Bereichen Energie, Siedlung und Infrastruktur sowie Tourismus verfügen über gute Kenntnisse, mittleren Einfluss, aber potenziell gute Handlungskompetenzen. Aus diesem Grund könnte ihre gezielte Einbeziehung in die Planung und Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen die Durchführung der in der künftigen Strategie vorgeschlagenen Maßnahmen positiv beeinflussen.

Abschließend scheinen die Stakeholder der Sektoren Gesundheit und Gesundheitswesen, Bildung, Industrie und Dienstleistungen, Soziokultur und Wohlbefinden nur über begrenzte Kenntnisse, wenig Einfluss und eine beschränkte Handlungsfähigkeit zu verfügen, um sich mit der Anpassung an den Klimawandel auseinanderzusetzen. Unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Bedeutung dieser Sektoren ist es entscheidend, diese Stakeholder angemessen zu diesem Thema zu schulen und sie aktiv in das Verständnis ihrer Rolle einzubeziehen, die sie im Rahmen der Klimawandelanpassung einnehmen.

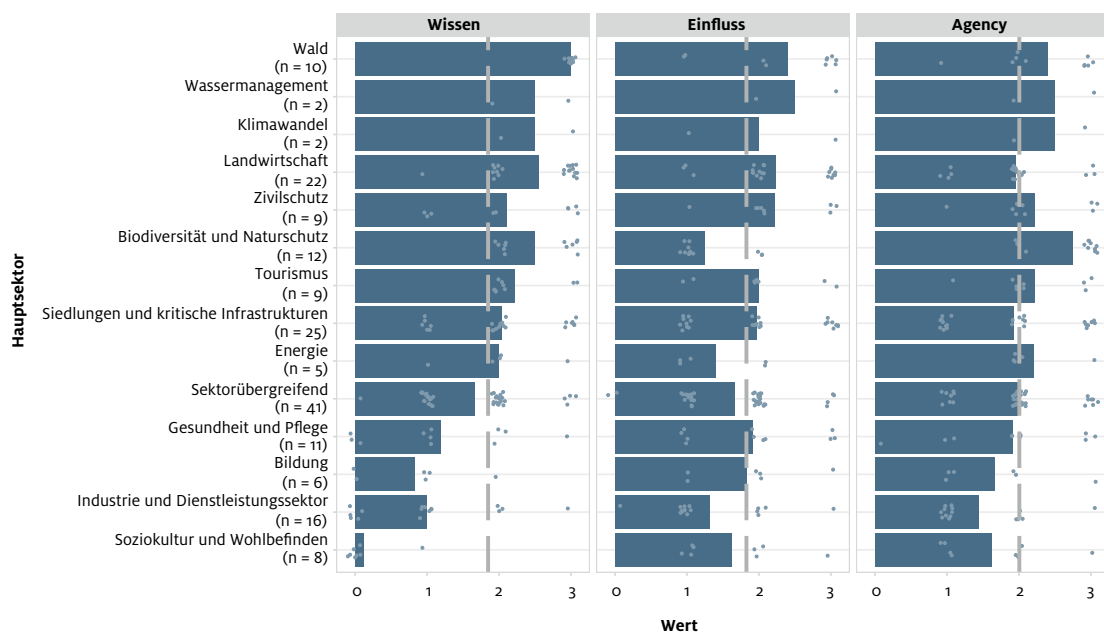


Abbildung 26: Verteilung der Akteure nach Kenntnisstand, Einfluss und Handlungsfähigkeit in jedem Sektor

Zusammenfassung

Das Stakeholder Mapping ist ein erster wichtiger Schritt zur Identifizierung und Analyse der verschiedenen, direkt oder indirekt am Risikomanagement und an der Anpassung an den Klimawandel beteiligten Akteure. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass eine sektorübergreifende und multisektorale Beteiligung der Stakeholder erforderlich ist, um den Austausch von Wissen und Kompetenzen zwischen den Sektoren zu fördern, die sich derzeit in Bezug auf die Klimawandelanpassung auf sehr unterschiedlichem Niveau befinden: mehr oder weniger ausgereift, mehr oder weniger vertreten. Die in Schlüsselsektoren wie Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Zivilschutz und Wassermanagement aktiven Stakeholder sind für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung, da sie eine gute Kenntnis-tiefe, Einfluss und Handlungsfähigkeit besitzen. Andere Sektoren hingegen, die wirtschaftlich und sozial gesehen von großer Bedeutung sind – wie Gesundheit und Gesundheitswesen, Industrie und Dienstleistungen, Bildung, Soziokultur und Wohlbefinden – benötigen zusätzliche Instrumente und Kenntnisse, um die Herausforderungen des Klimawandels zu verstehen und erfolgreich zu bewältigen. Schließlich erfordern Sektoren mit einem hohen Maß an Wissen und Handlungsfähigkeit wie Biodiversität und Umweltschutz eine stärkere politische Miteinbeziehung an Entscheidungsprozessen, um einen Wissensaustausch zur Unterstützung der Planung und Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen zu ermöglichen. Zu diesem Zweck ist die direkte Beteiligung der organisierten und nicht organisierten Zivilgesellschaft, die derzeit unterrepräsentiert zu sein scheint, von entscheidender Bedeutung für die Verbreitung der Maßnahmen in der Südtiroler Bevölkerung.

Literatur

- André, K., Simonsson, L., Swartling, Å. G., & Linnér, B. O. (2012). Method development for identifying and analysing stakeholders in climate change adaptation processes. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 14(3), 243-261.
- Freeman, R. E. (2010). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*.
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., ... & Stringer, L. C. (2009). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of environmental management*, 90(5), 1933-1949.

6 Risikobewertung und Synthese

Autorin und Autor: Kathrin Renner und Marc Zebisch

6.1 Risikobewertung

Das Ziel der Risikobewertung und Bewertung der Dringlichkeit besteht darin, die Klimarisiken zu identifizieren, bei denen der größte **Handlungsbedarf** besteht. Dieser Handlungsbedarf ergibt sich aus vier Faktoren:

- der **Schwere der Klimarisiken** (von gering bis sehr hoch), basierend auf der Risikoanalyse der neun Handlungsfelder sowie dem Fachwissen der Expertinnen und Experten
- der **Gewissheit** über die Klimarisiken; je mehr Wissen zu einem bestimmten Risiko existiert und je höher der Grad der Übereinstimmung über dieses Wissen, desto höher die Gewissheit
- der **Eignung** der für Südtirol geltenden Politikinstrumente
- dem **Zeithorizont**, in dem gehandelt werden muss; Maßnahmen, die einen langen Vorlauf haben, müssen dringender angegangen werden als solche, die ad hoc eingeführt werden können

Dieses Kapitel beschreibt zunächst, wie die Dringlichkeit der Klimarisiken erhoben wurde und stellt anschließend die Ergebnisse der Bewertung je Handlungsfeld dar.

Für jedes der in der Risikoanalyse (siehe Kapitel 4) identifizierten Schlüsselerisiken wurde in der Risikobewertung die Risikoschwere auf einer Skala von sehr hoch bis gering auf Grundlage der Klimarisikoanalyse und des Wissens der bewertenden Fachleute ermittelt. Die Risiken wurden für zwei Zeithorizonte, die Gegenwart/Nahe Zukunft (2021 – 2040) und die Mittlere Zukunft (2041 – 2060) bewertet. Eine explizite Unterscheidung der Risikoschwere in einem Szenario mit hoher und niedriger Emission wäre nur für den langfristigen Zeitraum nötig, der hier nicht abgefragt wurde. Unterschiede in den Risiken unter bestimmten Szenarien bezüglich klimatischer und nicht-klimatischer Einflussfaktoren für die Mittlere Zukunft konnten in Textform ausgedrückt werden. Die bewertenden Fachleute erhielten eine Anleitung, wie die Bewertung durchgeführt werden sollte. Die Anleitung enthielt Definitionen der Bewertungsstufen (Tabelle 13). Für jede Bewertung sollte zudem die Gewissheit von niedrig bis hoch angegeben werden. Die Gewissheit basiert auf dem Typ, der Menge, der Qualität und der Konsistenz der vorhandenen Evidenz sowie dem Grad der Übereinstimmung innerhalb dieses vorhandenen Wissens.

Tabelle 13: Definitionen der Bewertungsstufen der Risiken

4 Sehr hoch (katastrophal)	Erhebliche und häufige Schäden und Verluste (ca. 1 % des GDP; 100 Tote, 1.000 Betroffene; 10 % der Landesfläche) Verlust der Systemfunktionalität, Unumkehrbarkeit der Folgen, großer Umfang, sehr hohe Durchdringung, hohe Potenziale für Auswirkungsschwellen oder Kipppunkte, kaskadierende Effekte über Systemgrenzen hinaus, systemisches Risiko. Das System hat eine essenzielle Bedeutung für Südtirol.
3 Hoch (kritisch)	Bedeutende und häufige Schäden und Verluste (ca. 0,25 % bis 1 % des GDP; 10 Tote, 100 Betroffene; 5 – 10 % der Landesfläche), Störung der Systemfunktionalität, langfristige Auswirkungen, großer Umfang und hohe Durchdringung, Potenziale für Auswirkungsschwellen oder Kipppunkte, kaskadierende Effekte über Systemgrenzen hinaus und systemisches Risiko. Das System hat eine wichtige Bedeutung für Südtirol.
2 Mäßig	Moderate und gelegentliche Verluste und Schäden (ca. 0,05 % bis 0,25 % des GDP; 1 Toter; 1 – 5 % der Landesfläche), mäßige Störung der Systemfunktionalität, Effekte sind vorübergehend oder entfalten sich langsam mit mäßigem Umfang/Durchdringung. Das System hat eine mittlere Bedeutung für Südtirol.
1 Gering	Keine oder geringe oder seltene Verluste und Schäden (weniger als 0,05 % des GDP; Keine Störung der Funktionalität. Das System hat eine geringere Bedeutung für Südtirol.

6.1.1 Evaluierung der Eignung der bestehenden Politikinstrumente

Zusätzlich zur Evaluierung der Schwere der Schlüsselrisiken wurde im Hinblick auf die Evaluierung der Anpassungskapazität festgestellt, inwieweit bestehende Gesetze und Richtlinien bereits Klimarisiken berücksichtigen und notwendige Anpassungen ermöglichen. Die Bewertung der Eignung der Politikinstrumente ist besonders für jene politische Sektoren von Bedeutung, in welchen die Provinz (zumindest teilweise) rechtliche Zuständigkeiten und somit wirksame Interventionsmöglichkeiten zur Anpassung an Klimarisiken besitzt.

Die Bewertung der Eignung der bestehenden Gesetze und Richtlinien erfolgte in drei Stufen von fortgeschritten bis gering. Kapitel 5.4 beschreibt die Analyse der Politikinstrumente im Detail.

6.1.2 Bewertung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs

Die Dringlichkeit des Handlungsbedarfs wird aus der Kombination von Schweregrad des Risikos, der Gewissheit und der Eignung der bestehenden Politikinstrumente bestimmt (Tabelle 14). Im Allgemeinen erhöhen eine höhere Risikoschwere, höhere Gewissheit und geringere Eignung rechtlicher Instrumente die Dringlichkeit der empfohlenen politischen Maßnahmen. Die vier Stufen der Dringlichkeit (sehr hoch bis gering) variieren darüber hinaus nach der Gewissheit. Je geringer die Gewissheit, umso höher ist der Bedarf für weitere Untersuchungen und flexible Maßnahmen.

Die Dringlichkeit wird für einen bestimmten Zeitraum (Gegenwart/Nahe Zukunft oder Mittlere Zukunft) bestimmt. Die Dringlichkeit zum Handeln bei Risiken mit einem kurzen politischen Zeithorizont wird durch die Risikoschwere und die Gewissheit für die Gegenwart/Nahe Zukunft bestimmt, während die Dringlichkeit zum Handeln bei Risiken mit einem mittleren oder langen politischen Zeithorizont die Risikoschwere und die Gewissheit für die Mittlere Zukunft berücksichtigt wird.

Tabelle 14: Matrix der Dringlichkeitsbewertung

Bewertung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs				
Risiko- schwere	Gewiss- heit	Eignung bestehender Politikinstrumente		
		Fortgeschritten	Mittel	Niedrig
Sehr hoch (katastro- phal)	Hoch	Hoch Weitere Maßnahmen er- forderlich	Dringend Dringende Maßnahmen erforderlich	Dringend Dringende Maßnahmen erforderlich
	Mittel	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforder- lich	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersuchen- gen erforderlich	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersu- chungen erforderlich
	Gering	Hoch Weitere Untersuchungen und flexible Maßnahmen erforderlich	Hoch Weitere Untersuchungen und flexible Maßnahmen erforderlich	Dringende weitere Unter- suchungen und flexible Maßnahmen erforderlich
Hoch (kri- tisch)	Hoch	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen	Hoch Weitere Maßnahmen er- forderlich	Hoch Weitere Maßnahmen er- forderlich
	Mittel	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforder- lich	Hoch Weitere Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich
	Gering	Mittel	Mittel	Hoch

		Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	Weitere Untersuchungen und flexible Maßnahmen erforderlich
Mittel	Hoch	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen
	Mittel	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen
	Gering	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen
Gering	Hoch	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Gering Kurzzeitige Beobachtung
	Mittel	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Gering Kurzzeitige Beobachtung
	Gering	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Gering Kurzzeitige Beobachtung	Gering Kurzzeitige Beobachtung

6.2 Ergebnisse der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs je Handlungsfeld

Nachstehend sind die Ergebnisse der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs und der einzelnen Komponenten je Handlungsfeld dargestellt, der Legende in Tabelle 15 folgend.

Tabelle 15: Einstufungen der Dringlichkeit, des Schweregrads und der Gewissheit

Dringlichkeit des Handlungsbedarfs		Schweregrad des Risikos			Gewissheit	
Dringend		1 – 1,5	sehr hoch		+++	hoch
Hoch		2 – 2,5	hoch		++	mittel
Mittel		3 – 3,5	mäßig		+	gering
Gering		4	gering			

6.2.1 Wassermanagement

Tabelle 16 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Wassermanagement.

Tabelle 16: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Wassermanagement

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politikinstrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Wasserknappheit und damit unzureichender ökologischer Abfluss mit entsprechenden Auswirkungen auf die Gesundheit der aquatischen Ökosysteme und erhöhtem Risiko einer Verschlechterung der Wasserqualität durch geringere Verdünnung von Schadstoffen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2,5 ++	1 ++	Mittel	Kurzfristig	konkurrierend
2) Anstieg der Wassertemperatur mit Auswirkungen auf die Gesundheit der Ökosysteme	Hoch Weitere Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	3 ++	2 ++	Niedrig	Mittelfristig	konkurrierend
3) Zunahme des Sedimenttransports aufgrund der Gletscherschmelze, was zu Störungen in	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Mittel	Mittelfristig	konkurrierend

Einzugsgebieten und Flusssystemen führt						
4) Rückgang der Trinkwassermenge und -qualität	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	2,5 ++	2 ++	Fortgeschritten	Langfristig	konkurrierende
5) Wassermangel für die Bewässerung von Feldfrüchten und Wiesen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2,5 ++	2 ++	Mittel	Langfristig	konkurrierende
6) Wasserknappheit für die Stromerzeugung aufgrund von Veränderungen der saisonalen Niederschlagsverhältnisse und des Gletscherrückgangs	Hoch Weitere Untersuchungen und flexible Maßnahmen erforderlich	3 ++	2 +	Niedrig	Langfristig	konkurrierende
7) Wassermangel und demnach mangelnde Sicherstellung der künstlichen Beschneidung	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	3 ++	2 ++	Mittel	Langfristig	konkurrierende
8) Wasserknappheit für die Wassernutzung zu Freizeitwecken im Sommer (Schwimmbäder, Wellness)	Hoch Weitere Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	3 ++	2 ++	Niedrig	Langfristig	konkurrierende
9) Schäden an Ökosystemen, Siedlungen und der Infrastruktur durch Überschwemmungen	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	2 +++	1 ++	Mittel	Langfristig	konkurrierende

6.2.2 Biodiversität

Tabelle 17 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Biodiversität.

Tabelle 17: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Biodiversität

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politikinstrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Biodiversität seltener Waldtypen	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	2,5 ++	3 ++	Niedrig	Langfristig	Ausschließliche + konkurrierende
2) Waldbiodiversität: Einwanderung invasiver Pflanzenarten	Dringend Dringende Maßnahmen erforderlich	1,5 +++	2 ++	Mittel	Kurzfristig	ausschließliche

3) Waldbiodiversität: häufigere Waldbrände	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	2,5 ++	2 +	Fortgeschritten	Mittelfristig	ausschließliche
4) Alpine Lebensräume: Ausbreitung wärmeliebender Arten	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2,5 ++	2 ++	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche + konkurrierende
5) Gletschergebundene Lebensräume und Arten	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	2 +++	1 ++	Niedrig	Langfristig	ausschließliche des Staates und Prov. + konkurrierende
6) Alpine Arten mit kleinen, isolierten Teilpopulationen	Hoch Weitere Untersuchungen und flexible Maßnahmen erforderlich	2 ++	2,5 +	Niedrig	Langfristig	ausschließliche des Staates und Prov. + konkurrierende
7) Artengemeinschaften von Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche des Staates und Prov. + konkurrierende
8) Artengemeinschaften von Mooren/Seen aufgrund kleiner, isolierter Teilpopulationen	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	1,5 +++	1 ++	Niedrig	Mittelfristig	ausschließliche des Staates und Prov. + konkurrierende
9) Moorlebensräume: Verlust von Feuchtgebieten	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	2 ++	3 ++	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche des Staates und Prov. + konkurrierende
10) Lebensgemeinschaften von Seen durch zu hohe Wassertemperatur	Dringende weitere Untersuchungen und flexible Maßnahmen erforderlich	2 ++	1,5 +	Niedrig	Mittelfristig	ausschließliche des Staates und Prov. + konkurrierende
11) Fließgewässerbiodiversität durch das Austrocknen von Bächen	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	1,5 ++	1,5 ++	Mittel	Kurzfristig	ausschließliche des Staates + konkurrierende
12) Fließgewässerbiodiversität aufgrund zu geringer Wasserführung	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche des Staates + konkurrierende

13) Fließgewässerbio-diversität aufgrund in-vasiver Neobiota	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	2 ++	2,5 ++	Fortge-schritten	Kurzfristig	ausschließ-liche des Staates + konkurrie-rende
--	--	------	--------	------------------	-------------	--

6.2.3 Landwirtschaft

Tabelle 18 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Landwirtschaft.

Tabelle 18: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Landwirtschaft

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politik-instru-mente	Politischer Zeithori-zont	Risikover-antwortung
1) Verlust der Futterer-träge in Grünlandgebie-ten	Hoch Weitere Maßnahmen und weitere Untersu-chungen erforderlich	2 ++	2 ++	Niedrig	Kurzfristig	ausschließ-liche
2) Hitzestress in der Tier-haltung und Ertragsein-bußen in der Milchwirt-schaft	Mittel Fortsetzung der lau-fenden Maßnahmen und weitere Untersu-chungen	3 ++	3 ++	Niedrig	Mittelfristig	ausschließ-liche
3) Sinkende Erträge oder Erntebeschädigungen bei Dauerkulturen	Hoch Weitere Maßnahmen erforderlich	2 +++	2 +++	Niedrig	Kurzfristig	ausschließ-liche
4) Überwintern/Entwi-ckeln neuer Schädlinge	Mittel Fortsetzung der lau-fenden Maßnahmen	2 +++	2 +++	Fortge-schritten	Kurzfristig	ausschließ-liche
4) Geringere Ertragssi-cherheit und Produkt-qualität im Acker- und Gemüsebau	Hoch Weitere Maßnahmen und weitere Untersu-chungen erforderlich	2 ++	1 ++	Niedrig	Kurzfristig	ausschließ-liche
5) Erhöhte Produktions-kosten infolge aktiver Schutzmaßnahmen	Hoch Weitere Maßnahmen erforderlich	2 +++	2 +++	Mittel	Kurzfristig	ausschließ-liche

6.2.4 Forstwirtschaft

Tabelle 19 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Forstwirtschaft.

Tabelle 19: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Forstwirtschaft

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politikinstrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Waldschäden durch häufigere und stärkere Extremwetterereignisse	Dringend Dringende Maßnahmen erforderlich	2 +++	1 +++	Mittel	Langfristig	ausschließliche
2) Verschwinden bzw. räumliche Verschiebung von Baumarten in der Höhenstufe	Hoch Weitere Maßnahmen erforderlich	3 ++	2 +++	Niedrig	Langfristig	ausschließliche
3) Schädigung und Absterben großer Waldflächen durch Schädlinge/Krankheiten/abnehmende Vitalität	Dringend Dringende Maßnahmen erforderlich	1 +++	1 +++	Mittel	Langfristig	ausschließliche
4) Kohlenstoffemissionen bei Waldbränden/Absterben großer Waldflächen/Rückgang Kohlenstoffspeicherung	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3 ++	2 ++	Fortgeschritten	Mittelfristig	ausschließliche
5) Verringerung der Wasserspeicherfunktion und der Wasserqualität	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Mittel	Langfristig	ausschließliche
6) Risiko der Verringerung/des Verlustes der Schutzfunktion des Waldes infolge von Schäden und Rückgang der Waldbestände	Dringend Dringende Maßnahmen erforderlich	1 +++	1 +++	Fortgeschritten	Langfristig	ausschließliche

6.2.5 Gesundheit

Tabelle 20 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Gesundheit.

Tabelle 20: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Gesundheit

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politikinstrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Risiko von Hitze- und Kältestress sowie Luftverschmutzung durch extreme Hitze und Kälte	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	2 ++	1 ++	Niedrig	Mittelfristig	konkurrierende

2) Risiko klimaabhängiger Infektionskrankheiten durch steigende Temperaturen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	1,5 ++	Mittel	Kurzfristig	konkurrierende
3) Risiko zunehmender Naturkatastrophen und Notfälle im Freien aufgrund von Extremwetterereignissen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Mittel	Mittelfristig	konkurrierende
4) Risiko von Wasser- und lebensmittelbedingter Krankheiten infolge von zunehmenden Temperaturen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2,5 ++	2,5 ++	Niedrig	Mittelfristig	konkurrierende

6.2.6 Tourismus

Tabelle 21 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Tourismus.

Tabelle 21: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Tourismus

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politikinstrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Abnahme der Attraktivität des Wintertourismus	Hoch Weitere Maßnahmen erforderlich	3 ++	2 +++	Niedrig	Langfristig	ausschließliche
2) Sicherheit der Menschen während der touristischen Sommersaison	Hoch Weitere Maßnahmen erforderlich	3 ++	2 +++	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche
3) Sicherheit der Menschen während der touristischen Wintersaison	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3 ++	3 ++	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche
4) Schäden an der touristischen Infrastruktur	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	3 ++	2 ++	Mittel	Langfristig	ausschließliche + konkurrierende
5) Verminderte Lebensqualität der einheimischen Bevölkerung, Minderung der Tourismusgesinnung	Hoch Weitere Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	2+++	2++	Niedrig	Mittelfristig	ausschließliche
6) Überlastung des öffentlichen Gesundheitssystems und der Mobilitätsinfrastruktur in den Tourismusdestinationen	Hoch Weitere Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Niedrig	Langfristig	konkurrierende

6.2.7 Siedlungen, Infrastruktur und Kulturgüter

Tabelle 22 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Siedlungen, Infrastruktur und Kulturgüter

Tabelle 22: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Siedlungen, Infrastruktur und Kulturgüter

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politikinstrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Schäden und Qualitätsminderung an Wohngebäuden, Produktionsstätten, Transportinfrastrukturen und öffentlichen Räumen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 +++	2 ++	Mittel	Langfristig	ausschließliche + konkurrierende
2) Schäden und Qualitätsminderung an Infrastrukturen und Gesundheitsdiensten	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2,5 ++	2 ++	Mittel	Langfristig	ausschließliche + konkurrierende
3) Schäden und Qualitätsminderung an Gemeinschaftsinfrastrukturen und -diensten	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Mittel	Langfristig	ausschließliche + konkurrierende
4) Schäden, Verlust und Qualitätsminderung des kulturellen Erbes	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	2 ++	2 ++	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche
5) Attraktivitätsverlust von Territorium und Tourismus	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3 ++	3 ++	Niedrig	Mittelfristig	ausschließliche

6.2.8 Energie

Tabelle 23 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Energie.

Tabelle 23: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Energie

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politik-instrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Höhere Energienachfrage und Zunahme des Spitzenbedarfs	Dringend Dringende Maßnahmen und weitere Untersuchungen erforderlich	2 +++	1,5 ++	Mittel	Mittelfristig	konkurrierende
2) Beschädigung und geringere Zuverlässigkeit der Infrastruktur für Energie-transport und -speicherung	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3,5 ++	3 +	Niedrig	Langfristig	konkurrierende
3) Schäden, Energie- und Leistungsmangel sowie Unterbrechungen der Versorgungssicherheit	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3 ++	3 ++	Mittel	Langfristig	konkurrierende

6.2.9 Wirtschaft

Tabelle 24 zeigt die Evaluierung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs sowie der darunterliegenden Bewertungskomponenten der Klimarisiken im Handlungsfeld Wirtschaft.

Tabelle 24: Liste der Risikobewertungen der Klimarisiken im Handlungsfeld Wirtschaft

Klimarisiken	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	Schweregrad des Risikos		Merkmale der Politikinstrumente		
		2021 - 2040	2041 - 2060	Eignung der Politik-instrumente	Politischer Zeithorizont	Risikoverantwortung
1) Beeinträchtigung der Beschäftigtenproduktivität	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3 ++	3 ++	Niedrig	Kurzfristig	ausschließliche
2) Zunahme des Energieverbrauchs und der Kosten für Lagerung und Transport	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3 ++	3 ++	Niedrig	Kurzfristig	konkurrierende

3) Schäden an Gebäuden, gelagerten Gütern, Maschinen oder Ausrüstungen	Hoch Weitere Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich	3 ++	2 ++	Mittel	Langfristig	ausschließliche
4) Zunahme von Nutzungskonflikten um Wasser	Hoch Weitere Maßnahmen erforderlich	2 ++	2 +++	Mittel	Langfristig	ausschließliche + konkurrierende
5) Lieferengpässe und geringere Versorgungssicherheit	Mittel Fortsetzung der laufenden Maßnahmen und weitere Untersuchungen	3 +	3 +	Niedrig	Langfristig	ausschließliche
6) Wettbewerbsverluste der heimischen Unternehmen durch transitorische Risiken	Gering Kurzzeitige Beobachtung	4 +	3 +	Mittel	Mittelfristig	ausschließliche + konkurrierende

6.3 Synthese

Die Bewertung der 58 Schlüsselrisiken zeigt ein differenziertes Bild der Klimarisiken, ihres Schweregrades und der Dringlichkeit von Maßnahmen.

Ein **dringender Handlungsbedarf** besteht für **11** Schlüsselrisiken in den Bereichen

- **Wasser** (Schäden durch Überschwemmungen an Ökosystemen und Infrastrukturen)
- **Biodiversität** (Schäden durch Hitze, Trockenheit und Wassermangel an Artengemeinschaften und Habitaten von Feuchtgebieten, Mooren, Seen und Flüssen, Risiken für gletschergebundene Lebensräume und Arten, Risiken für Waldökosysteme durch Einwanderung invasiver Arten)
- **Forstwirtschaft** (Waldschäden durch häufigere und stärkere Extremwetterereignisse, Schädigung und Absterben großer Waldflächen durch Schädlinge/Krankheiten/abnehmende Vitalität, Risiko der Verringerung/des Verlustes der Schutzfunktion des Waldes infolge von Schäden und Rückgang der Waldbestände)
- **Gesundheit** (hitzebedingte Gesundheitsprobleme)
- **Energie** (Steigender Energiebedarf bei Hitze bei geringerem Potenzial für Wasserkraft)

Für **31** Schlüsselrisiken wurde der **Handlungsbedarf** als „**hoch**“ bewertet. Diese Risiken finden sich in allen Bereichen und Sektoren. Für **15** Schlüsselrisiken wurde ein **mittlerer** Handlungsbedarf festgestellt. Nur ein Schlüsselrisiko weist einen **geringen** Handlungsbedarf auf.

Vier Risiken weisen bereits in der **Gegenwart und nahen Zukunft (2021 – 2040)** einen **sehr hohen Schweregrad** auf (Risiken durch Waldschäden und verringerte Schutzfunktion von Wäldern sowie Schäden an Waldökosystemen durch invasive Arten und Schäden an Ökosystemen der Fließgewässer), **35** weitere Risiken haben einen „**hohen**“ **Schweregrad**.

Bis zur **mittleren Zukunft (2041 – 2060)** erhöht sich die Zahl der Risiken mit einem **sehr hohen Schweregrad auf 13**. In der mittleren Zukunft sind entsprechend nur noch 11 der 58 Schlüsselrisiken als „mäßig“ bewertet, was die Einschätzung eines deutlichen Anstiegs der Klimarisiken in den nächsten 20 Jahren belegt.

Bei vier der 11 der Risiken mit einem **dringenden** Handlungsbedarf wird die **Eignung der derzeitigen Politikinstrumente** als „gering“ eingestuft. Bei den Risiken mit **hohem** Handlungsbedarf wird für 12 Risiken eine geringe Eignung, für 19 eine mittlere Eignung der derzeitigen Politikinstrumente attestiert. Diese Einschätzung unterstreicht die fehlende Klimaanpassung in diesen Bereichen.

9 von 11 Risiken mit dringendem Handlungsbedarf weisen einen **mittelfristigen oder langfristigen Zeit-horizont für Maßnahmen** auf, benötigen also lange Vorlaufzeiten von Maßnahmen bzw. sollten Maßnahmen geplant werden, die auf sehr langfristige Klimaänderungen eingestellt sind (wie z.B. im Bereich Forstwirtschaft).

27 der 42 Risiken mit dringendem oder hohem Handlungsbedarf weisen eine zumindest zum Teil „**konkurrierende**“ **Risikoverantwortung** auf, was mit einem verstärkten horizontalen Abstimmungsbedarf (National, Provinz, Gemeinden) einher geht.

Die Bereiche mit dem höchsten Anteil von sehr hoher oder hoher Risikobewertung (Schweregrad, Dringlichkeit) sind die Bereiche **Wasser, Biodiversität, Forstwirtschaft und Gesundheit**, also Bereiche, die stark von direkten Klimafolgen betroffen sind.

Der Bereich Wirtschaft weist die niedrigste Risikobewertung auf. Möglicherweise liegt das aber auch an dem fehlenden Wissen und der geringen Gewissheit über die Risiken in diesem Bereich. Auch ist es aufgrund der Komplexität von Klimawirkungen auf den Bereich Wirtschaft schwieriger, hier eine konkrete Analyse und Bewertung durchzuführen.

Abbildung 27 zeigt zusammengefasst und vereinfacht die Schlüsselrisiken mit hohem bis dringendem Handlungsbedarf, deren klimatische und nicht-klimatische Risikofaktoren sowie den Wirkungs- und Risikokaskaden zwischen den exponierten Systemen.

Was deutlich wird:

- Klimawirkungen und Klimarisiken starten oft bei den direkten Klimawirkungen auf Wasser, Ökosysteme und Biodiversität oder Forstwirtschaft und wirken sich dann kaskadenartig auf andere Bereiche (z.B. Siedlung, Energie, Tourismus) aus. Entsprechend kommt der Pflege, dem Schutz und der Klimaanpassung von Wäldern und anderen Ökosystemen eine wichtige Rolle bei der Klimaanpassung zu. Intakte Ökosysteme können z.B. das Risiko von Massenbewegungen und Rutschungen mindern (Schutzwald), bei Dürre Wasser in der Landschaft halten und bei Überschwemmungen und Hochwasser als Retentionsflächen dienen sowie bei Hitze kühlen (z.B. in Städten).

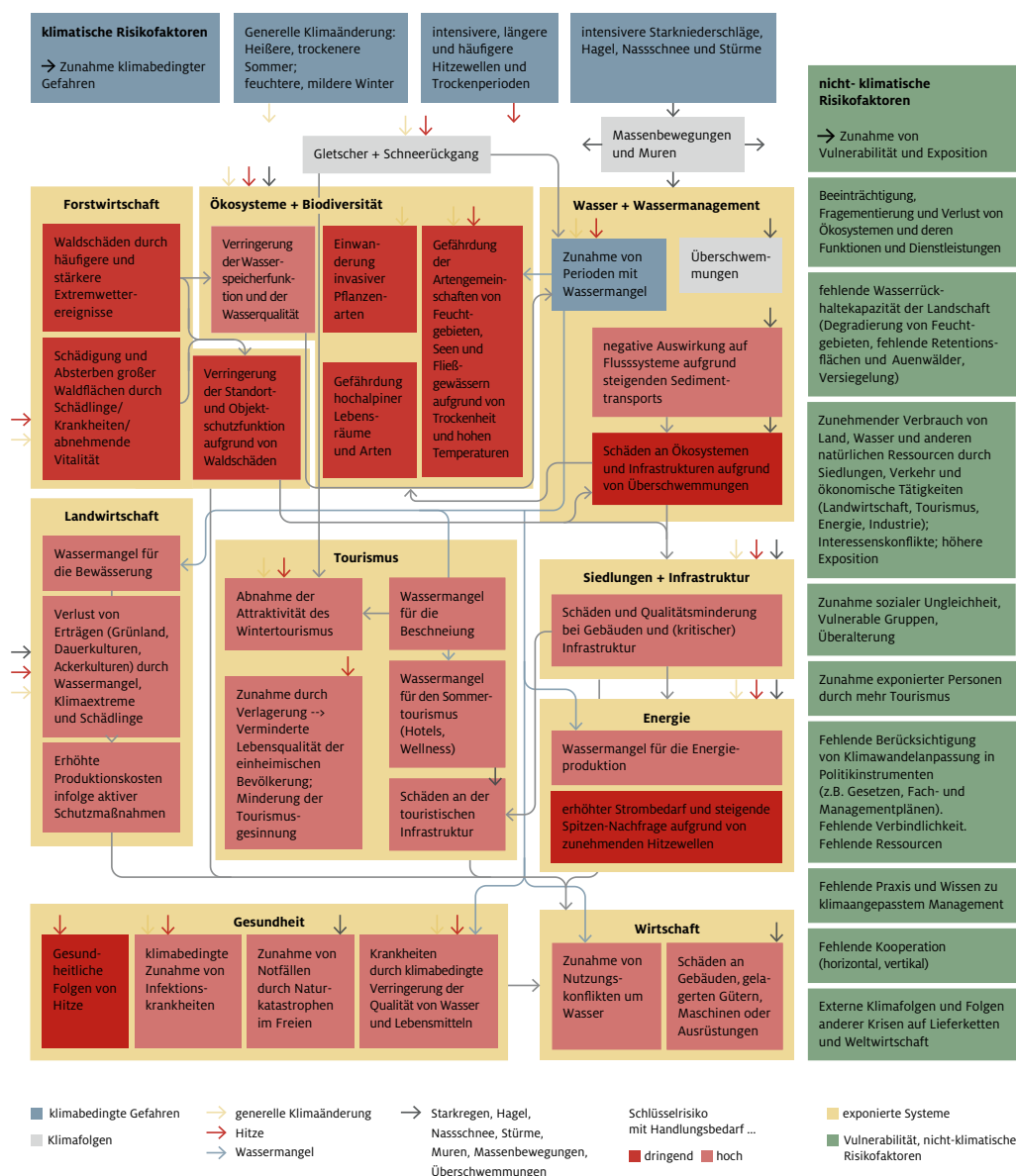


Abbildung 27: Zusammenfassender Überblick von Schlüsselrisiken mit hohem bis dringendem Handlungsbedarf, deren klimatische und nicht-klimatische Risikofaktoren sowie den Wirkungs- und Risikokaskaden zwischen den exponierten Systemen

- Klimarisiken mit hohem bis sehr hohem Handlungsbedarf werden vor allem durch eine zunehmende Intensität von Klimaextremen verursacht. Dies sind in etwa zu gleichen Teilen Hitze sowie Starkregen, Hagel, Nassschnee und Stürme. Die generelle Klimaänderung hin zu heißeren Sommern und milderen Wintern betrifft Ökosysteme (Verschiebung von Artenspektren) Land- und Forstwirtschaft, den Tourismus sowie die Gesundheit.
- Wassermangel bei Trockenperioden ist eine wesentliche Klimafolge, die zu Klimarisiken und Nutzungskonflikten in mehreren Bereichen führt (Landwirtschaft, Tourismus, Energie, Gesundheit, Wirtschaft). Wassermangel wird einerseits von klimatischen Faktoren (Trockenheit, Trockenperioden) andererseits auch von einem Mangel und einem Rückgang der Wasserhaltefähigkeit der Landschaft sowie von einem steigenden Bedarf an Wasser vor allem in den Bereichen Landwirtschaft und Tourismus ausgelöst.
- Indirekt haben nahezu alle Schlüsselrisiken auch eine Auswirkung auf die Wirtschaft, was die hohen ökonomischen Schäden von konkreten Ereignissen in den letzten Jahren in der Nachbarschaft von Südtirol belegen.

Die **nicht-klimatischen Risikofaktoren** sind zahlreicher und komplexer als die klimatischen Risikofaktoren. Sie lassen sich einteilen in Faktoren, die

- die Vulnerabilität von exponierten Systemen direkt oder indirekt erhöhen (z.B. Schädigung und Fragmentierung von Ökosystemen, Versiegelung, Zunahme an Wasserverbrauch, aber auch die Überalterung der Bevölkerung und Zunahme von sozialen Ungleichheiten)
- die Exposition erhöhen (z.B. eine Zunahme des Tourismus, der die Anzahl exponierter Personen erhöht, Zunahme von Gebäuden und Infrastrukturen in potenziellen zukünftigen Gefahrenzonen)
- zu einer fehlenden Anpassungskapazität führen und damit die Vulnerabilität erhöhen (z.B. unzureichende Berücksichtigung des Klimawandels in Raumplanung, Wassernutzungsplanung und Gefahrenzonenplanung, mangelnde Verbindlichkeiten, mangelhafte horizontale und vertikale Kooperation, unzureichendes Wissen, fehlende Ressourcen)
- Bisher noch unberücksichtigt sind Klimarisiken, die sich aus Klimawirkungen und anderen Schocks außerhalb von Südtirol ergeben, z.B. auf die Preise von Futtermittel, den Strommarkt, die Notwendigkeit, Wasser an die Unterlieger abzugeben oder globale Klimawirkungen auf Produktion und Lieferwege von wesentlichen Produktions- und Betriebsmitteln.

Insgesamt zeigt die Analyse, dass Südtirol bereits in der Gegenwart und nahen Zukunft zahlreichen, auch hohen Klimarisiken ausgesetzt ist. Südtirol ist auf Grund seiner Lage in den Alpen und des Geländes von spezifischen Risiken (wie z.B. Massenbewegungen und Muren) betroffen. Südtirol weist einen relativ hohen Anteil an Ökosystemen, insbesondere Wälder auf, die prinzipiell Klimarisiken mindern können. Allerdings sind insbesondere die Wälder in den letzten Jahren durch Dürre, Stürme, Schneebruch und Borkenkäfer stark geschädigt, und ihre Schutzwirkung ist vermindert worden. Andere Ökosysteme (z.B. Feuchtgebiete, Moore, Auwälder) sind durch intensive Nutzung geschädigt und fragmentiert und können ihre Schutzwirkung nur mehr beschränkt wahrnehmen.

Politikinstrumente in Südtirol berücksichtigen bisher den Klimawandel kaum oder nicht. Auf Grund der generell guten Organisation und Verwaltung sind in einigen Bereichen die Instrumente zumindest für die Gegenwart und nahe Zukunft dennoch geeignet, Klimafolgen und -risiken zu minimieren. Spätestens für die mittlere Zukunft fehlt es aber an Klimaanpassung in allen Bereichen. Da viele der Anpassungsmaßnahmen einen langen Planungshorizont haben (z.B. im Bereich Wasser, Forstwirtschaft, Energie) resultiert oft dennoch ein dringender Handlungsbedarf.

7 Empfehlungen

Autorinnen und Autoren: Michael Pörnbacher, Marc Zebisch, Lydia Pedoth, Giacomo Bertoldi, Andreas Hilpold, Verena Kircher, Christian Hoffmann, Giulia Roveri, Philipp Corradini, Andrea Omizzolo, Matteo Giacomo Prina, Jakob Bisignano

In diesem abschließenden Kapitel werden prioritäre und sektorübergreifende Anpassungsstrategien sowie sektorale Empfehlungen dargelegt. Außerdem werden Empfehlungen für die weiteren Schritte in Richtung einer konkreten Anpassungsplanung gegeben. Diese Empfehlungen leiten sich ab aus der Klimarisikoanalyse, der Analyse der politischen Instrumente, den Empfehlungen auf nationaler Ebene (Italien, Österreich), den Ergebnissen der Workshops und der Rückmeldungen im Rahmen der Risikobewertung sowie weiteren Rückmeldungen der Verwaltung während eines Reviewprozesses.

7.1 Prioritäre Anpassungsstrategien und Handlungsfelder

Die hier angeführten prioritären Anpassungsstrategien adressieren Handlungsfelder mit dringendem Handlungsbedarf (als Ergebnis der Risikoanalyse) und zentraler Bedeutung für die Minderung von Klimarisiken auf das Gesamtsystem „Südtirol“

Der **Schutz** und die **Wiederherstellung von Ökosystemen, insbesondere Wäldern und ihren Funktionen**, sowie die Nutzung von **naturbasierten Lösungen** ist der einer der wichtigsten Bausteine von Klimaanpassung, wie auch das neue EU-Renaturierungsgesetz¹ betont (→ siehe auch Empfehlungen *Biodiversität* und *Forstwirtschaft*).

- Ökosysteme, insbesondere Wälder, Moore und Flussauen erfüllen mannigfaltige Funktionen, die Kaskadeneffekte auf nachgelagerte Systeme verringern und damit menschliche Systeme vor Klimafolgen schützen. Schutzwälder schützen vor gravitativen Gefahren, Moore und Grünflächen speichern Wasser in Trockenzeiten, puffern Wasser bei Starkregen und speichern Kohlenstoff, Flussauen reduzieren die Hochwassergefahr. Dem Erhalt und der Wiederherstellung funktionaler Ökosysteme sollte daher sowohl in sektorübergreifenden als auch in sektoralen Planungsinstrumenten entsprechende Wichtigkeit beigemessen werden.
- Aktuell sind natürliche Systeme in Südtirol (z.B. Wälder, Feuchtgebiete) durch Nutzung, Fragmentierung, Einwanderung invasiver Arten und Klimaextreme bereits beeinträchtigt.
 - Vor allem die Wälder sind durch eine verkettete Folge von Sturmschäden (wie bei Vaia 2018), Schneebruch (2019 und 2020), Dürre (2022) und Borkenkäferbefall (2023 bis heute) stark und großflächig geschädigt und in ihrer Schutzwirkung reduziert.
 - Feuchtgebiete (Moore), Seen und Fließgewässer sind besonders anfällig gegenüber dem Klimawandel (Trockenheit, hohe Temperaturen)
 - Um klimaresiliente Ökosysteme zu erzielen, müssen diese auch aktiv angepasst werden (z.B. Waldumbau hin zu klimaresilienten Mischwäldern, Renaturierung bzw. Wiederherstellung von Auwäldern, Wiedervernässung von Mooren). Ein systematisches Monitoring des Zustandes dieser Systeme hilft bei der Identifizierung nötiger Anpassungsmaßnahmen.
- Naturbasierte Lösungen und blau-grüne Infrastrukturen (ein Netzwerk von naturnahen Grün- und Gewässerflächen) eignen sich gut für die ökosystembasierte Anpassung an den Klimawandel und bieten vielfältige positive Nebeneffekte, wie beispielsweise Erhöhung der Biodiversität, Wasserrückhalt sowie die Verbesserung der Luft- und Wasserqualität. Die proaktive Freihaltung dieser Flächen in der Siedlungsplanung und eine konsequente Verringerung der Bodenversiegelung tragen zum Erhalt dieser vielfältigen Ökosystemfunktionen bei. Siehe Empfehlungen aus der PLANALP Arbeitsgruppe (Rudolf-Miklau, 2022).
- Dabei wird es möglicherweise zu Landnutzungskonflikten mit bestehenden oder zukünftig gewünschten Nutzungen kommen (Landwirtschaft, Siedlung, Tourismus, Gewerbe, Verkehr). Hier ist dem Erhalt der Ökosysteme und ihrer Funktionen Vorrang einzuräumen, vor allem wenn diese im oben genannten Sinn zu Klimaanpassung beitragen. Die Moderation von entsprechenden Konflikten wird eine zentrale Aufgabe bei der Klimaanpassung sein (→ siehe Bemerkungen „Rolle der Raumplanung“ in Kapitel 7.2).
- Die Bereitstellung von zentralen Ökosystemleistungen ist zugleich zu sichern. Darunter fallen etwa eine nachhaltige Holz-, Nahrungs- und Futtermittelgewinnung, die Sicherung der Wasserversorgung und der Schutz des Siedlungsraums (Ziel aus dem Klimaplan2040).

¹ Nach dem neuen EU-Renaturierungsgesetz sollen bis 2050 alle sanierungsbedürftigen Ökosysteme wiederhergestellt werden. Die Mitgliedstaaten müssen bis 2030 mindestens 30 % der in der Regelung genannten Lebensräume (Wälder, Grünland und Feuchtgebieten, Flüsse, Seen) von schlechtem in guten Zustand versetzen; bis 2040 sollen es 60 % sein, bis 2050 sogar 90 %.

Ein integriertes Management der Ressource **Wasser** wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen, vor allem unter Extremsituationen (Dürre, Hochwasser) unter Berücksichtigung aller Systeme die Wasser nutzen (Trinkwasser, Landwirtschaft, Energie, Industrie, Tourismus, Ökosysteme, Unterlieger) (→ siehe Empfehlungen *Wassermanagement*).

- Im Sommer ist generell mit einem leichten Rückgang der Wasserverfügbarkeit in Oberflächengewässern zu rechnen. Durch die steigenden Temperaturen kann auch die Wasserqualität negativ beeinflusst sein. Zunehmende, intensivere und länger anhaltende Dürresituation (auch über mehrere Monate oder Jahre) können zu akuter Wasserknappheit führen. Außerdem wird Südtirol als verantwortlicher Oberlieger der Etsch mehr Wasser an die potenziell stärker von Trockenheit betroffenen Regionen im Unterlauf der Etsch (Trentino, Veneto) zu Verfügung stellen müssen.
- Der Wasserbedarf steigt und wird weiter steigen. Wasser wird für Trinkwasser, die Landwirtschaft, die Schneeerzeugung, touristische Infrastrukturen, die Industrie und die Energieerzeugung genutzt. Aber auch die fluss- und grundwassernahen Ökosysteme brauchen vermehrt Wasser durch erhöhte Verdunstung. Außerdem erfordert ein vitaler Fischbestand eine entsprechende Restwassermenge mit guter Wasserqualität (Temperatur, Nährstoffe). Wassernutzungskonzepte (inkl. dem Wassernutzungsplan) sollten diesen „Nexus“ zwischen Ökosystemen, Nahrungsmittelerzeugung, Energie und anderen Nutzungen noch stärker berücksichtigen und dabei auftretende (auch systemische) Nutzungskonflikte frühzeitig und mittels dynamischer, flexibler Bestimmungen adressieren. Der Sicherstellung des ökologischen Mindestabflusses sollte weiterhin Priorität eingeräumt werden.
- Die Wassernutzung ist in allen Sektoren entsprechend zu reduzieren und für Dürresituationen sektübergreifende (z.B. im Wassernutzungsplan) und sektorspezifische Notfallpläne auszuarbeiten. Diese sollten nicht (wie bisher) eine Übernutzung (z.B. für landwirtschaftliche Zwecke) erlauben, sondern, im Gegenteil, die Nutzung einschränken, um eine genügend hohe bzw. sogar erhöhte Restwassermenge für Ökosysteme, Fischbestand und Unterlieger zu sichern.
- Schäden durch Hochwasser, sowohl kleinräumig, nach lokalen Starkregenereignissen, als auch an den großen Flüssen Eisack und Etsch nach langanhaltenden Regenereignissen (Genua Tief, Vaia Situation) können in Zukunft zunehmen. Solche Ereignisse haben in den letzten Jahren in den Nachbarregionen (Aosta, Schweiz, Österreich, Bayern Juni 2024, Slowenien August 2023) bereits zu Großereignissen mit erheblichen Schäden in Milliardenhöhe geführt. Zum Schutz vor Hochwasser ist ein abgestimmtes Maßnahmenprogramm zu empfehlen aus naturbasierten Lösungen (z.B. Flussaufweitungen, Retentionsflächen), technischen Lösungen (Objektschutz wie Dämme, Rückhaltebecken) sowie eine Raum- und Gefahrenzonenplanung, die eine zukünftige Ausdehnung von Überschwemmungsflächen ausweist und diese frei von kritischen Nutzungen hält. Für die Notfallbewältigung ist ein gutes Monitoring und Frühwarnsystem zu empfehlen.
- Die natürliche Wasserspeicherfähigkeit der Landschaft ist zu sichern und, wie im neuen EU-Renaturierungsgesetz vorgesehen, durch Revitalisierungsmaßnahmen zu erhöhen (z.B. Wiederherstellung der natürlichen Funktion von Überflutungsflächen). Künstliche Speicher und Rückhaltebecken (auch neuzubauende) müssen naturbasierte Lösungen in dieser Funktion ergänzen, sollten aber mit Bedacht und unter Bewahrung des Naturhaushaltes geplant sowie für multifunktionale Nutzungen ausgelegt werden. Der Klimawandel sollte kein Freibrief für den Bau neuer Speicherbecken sein.
- Dem integrierten Einzugsgebietsmanagement der gesamten Etsch sollte in Zukunft eine wichtige Rolle eingeräumt werden.

Eine Zunahme von Dürresituationen und ein potenziell verringertes Wasserdargebot im Sommer kann die **Stromproduktion** durch Wasserkraft negativ beeinflussen. Da im Zuge der energetischen Transformation aber der Strombedarf steigen wird (Wärmepumpen, E-Mobilität) ist dieser Effekt beim Management des Energiesystems und bei der Planung des Ausbaus erneuerbarer Energien zu berücksichtigen (→ siehe Empfehlungen *Sektor Energie*)

Der Schutz von **kritischer Infrastruktur** spielt unter der Annahme einer zunehmenden Gefährdung durch Extremereignisse eine wichtige Rolle (→ siehe Empfehlungen *Siedlungen, Infrastruktur und Kulturgüter*).

- Schäden an kritischer Infrastruktur wie Strukturen zur Energieerzeugung, Stromversorgung, Straßen und Bahnlinien, Gesundheitsversorgung, Nahrungsmittelproduktion und Lagerung sowie Einrichtungen des Staates und der Provinz haben besonders kritische Folgen für die Bevölkerung Südtirols.
- Bestehende Risikoanalysen für große Infrastrukturprojekte (Stromnetz, Eisen- und Autobahn etc.), die über die Bestimmungen der Gefahrenzonenplanung hinausgehen, sollten eine explizite klimatische Risikokomponente beinhalten und um technische, natur-basierte, logistische, regulatorische, institutionelle und bewusstseinsbildende Maßnahmen erweitert werden.
- Diese Aufgabe kann vom Bevölkerungsschutz koordiniert werden, erfordert aber die Beteiligung anderer Abteilungen und Ressorts.

Der Schutz der **Gesundheit** der Bevölkerung und Anpassung im **Gesundheitssystem** (→ siehe Empfehlungen *Gesundheit*) hat hohe Priorität. Die Gesundheit der Menschen in Südtirol ist insbesondere durch zunehmende Hitzeereignisse aber auch durch eine klimabedingte Zunahme von Infektionskrankheiten und durch zunehmende Naturgefahren gefährdet. Diese möglichen Folgen belasten eine zunehmend vulnerabler werdende Gesellschaft (Überalterung) und ein schon stark gefordertes Gesundheitssystem. Die Errichtung eines (klima-)resilienten Gesundheitssystems hat daher hohe Priorität.

7.2 Sektorübergreifende Prinzipien für eine Anpassungsstrategie

Die hier aufgeführten Prinzipien sind zentral für einen systematischen und sektorübergreifenden Zugang zu Anpassung (wie in der EU-Anpassungsstrategie gefordert) und das sogenannte „mainstreaming“ (auf Deutsch vielleicht „Integration“) von Anpassung in alle relevanten Politikinstrumente und Praktiken. Diese Prinzipien spiegeln sich später auch in den Kapiteln zu den sektoralen Empfehlungen wider.

Eine schonende Nutzung von Land(schaft) und natürlichen Ressourcen durch eine **klimaangepasste Raumplanung** ist zentraler Baustein von Klimaanpassung. Dabei sollten folgende Planungsprinzipien verfolgt werden:

- Verantwortungsvoller Umgang mit Flächen. Das Ziel der Netto-Null Versiegelung des Klimaplanes spielt hier eine wichtige Rolle (Stopp der Versiegelung, Rückgewinnung versiegelter oder degradierter Flächen, konsequente Einhaltung der Entwicklung innerhalb von Siedlungsgrenzen).
- Gestaltung von Städten und Ortskernen (Bepflanzungsstrategien, Abschattung ...), Ausstattung mit ausreichend Grün- und Freiflächen und Verwirklichung des Prinzips von „Schwammstädten“, durch die Miteinbeziehung der Aspekte des Naturgefahrenmanagements und des Gesundheitsschutzes in die raumplanerischen Bestimmungen.
- Die Schaffung von neuen naturnahen Flächen mit wichtigen Anpassungsfunktionen bei Aufgabe der aktuellen Nutzung sollte angedacht werden (z.B. Aufweitung der Flüsse mit Schaffung natürlicher Retentionsflächen) und in entsprechenden Instrumenten verankert werden.
- Für die vorhersehbaren Nutzungskonflikte ist ein sozial gerechter und partizipativer Prozess zu entwickeln.
- Stärkung der Raumplanung im Allgemeinen und der verpflichtenden Berücksichtigung von Klimaschutz und Klimaanpassung im Speziellen auf allen Ebenen (z.B. im Gesetz Raum und Landschaft, den Durchführungsverordnungen, in den Gemeindeentwicklungsprogrammen) (→ siehe „Stärkung der Governance“)

Stärkung der Governance durch die Ausrichtung politischer Instrumente an Klimarisiken, die Anpassung institutioneller Strukturen sowie die Bereitstellung von Ressourcen

- Übergreifende Prinzipien:
 - Dynamisierung der Planung durch die Integration von Klimarisiken in die (strategischen) sektoriellen und übersektoriellen Planungsinstrumente, welche sich häufig lediglich am Status Quo ausrichten (z.B. Grünraumplanung, technische Normen im Straßenbau etc.)
 - Spezifizierung von Bestimmungen im Hinblick auf Klimarisiken und Stärkung deren Verbindlichkeiten, um potenzielle Umsetzungslücken zu vermeiden. Gleichzeitig sollte verstärkt abgewogen werden zwischen der Verbindlichkeit provinzieller Standards und der Flexibilität zur Anpassung der Standards an den lokalen Kontext.
 - Nutzungskonflikte durch sektorübergreifende Risiken und Synergien in deren Bewältigung sollten verstärkt in politischen Aushandlungsprozessen und mittels intersektoriellen Gremien und Komitees berücksichtigt werden.
 - Kostenkalkulationen, Investitionsplanungen und Kriterien für Angebotsbewertungen sollten Klimarisiken und deren möglichen systemischen Kosten explizit berücksichtigen, um a priori resiliente Strukturen sicherzustellen

- Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen und Anreize
 - Kontinuierliche Evaluierung der Adäquanz und entsprechende Anpassung (z.B. inhaltliche Erweiterung, Stärkung der Verbindlichkeit etc.) politischer Förderinstrumente, Auflagen, Genehmigungsverfahren und Mindeststandards basierend auf spezifischen Forschungsergebnissen und auf Basis eines eingeführten Monitorings- und Datenerfassungssystems zur Erhebung und Bewertung von Klimarisiken und Anpassungsoptionen
 - Klimaschutz und Klimaanpassung sollten in Anlehnung an das Europäische Klimagesetz sowie nationale und regionale Klimagesetze in anderen Regionen auch in Südtirol mittels eines spezifischen Klimagesetzes gesetzlich verankert werden.
 - Ein zentrales Tool (Klima- bzw. Resilienzcheck) sollte eingeführt werden, um Gesetze, Regulierungen, Strategien und Pläne, Finanzierung und Investitionen, Programme und Förderungen auf kommunaler und provinzieller Ebene bezüglich ihrer Wirkung auf Klimaschutz und Klimaanpassung zu überprüfen und diese entsprechend anpassen zu können.
 - Bereitstellung ausreichender finanzieller Mittel und Ressourcen für die Förderung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz (s.u.)
 - Definition von übersektoriellen Ressourcennutzungshierarchien (v.a. Wasser) für den Umgang mit Extremwetterereignissen wie Dürren, Stürmen und Überschwemmungen (Governance)
 - Erhebung, Zuordnung und Klärung der Zuständigkeiten zwischen privaten Akteuren und (halb)öffentlichen Körperschaften zur Identifikation geeigneter und zur effektiven Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen
- Stärkere Integration und Koordination von Klimaanpassung und Klimaschutz
 - Konsequente Integration (=Mainstreaming) von Anpassung in bestehende sektorale und sektorübergreifende Pläne aller politischen Ebenen (z.B. Wassernutzungsplan, Gefahrenzonenplanung, Gemeindeentwicklungsprogramm, ...).
 - Stärkung der horizontalen Koordination und der Kapazitäten für sektorübergreifende Zusammenarbeit, z.B. durch Einrichtung einer Koordinationsstelle „Klima“ mit Mandat für Klimaschutz und Klimaanpassung und einer entsprechenden Ausstattung an Personal und Finanzen.
 - Bessere vertikale Koordination und Unterstützung der Gemeinden, Unternehmen, Verbände und anderen Institutionen (z.B. Bildungseinrichtungen) für Klimaanpassung und Klimaschutz.
 - Stärkere Abstimmung mit der nationalen und europäischen Ebene inklusive Nutzung von Ressourcen wie Finanzierung und Wissen (z.B. im Rahmen der „Mission Adaptation“ der EU, EU-Charta zu Anpassung etc.).
- Ressourcen und Personal schaffen
 - Planung und Bereitstellung von ausreichend Budget und personellen Ressourcen für sektorübergreifende und sektorale Anpassung. Dabei sollte auch der Bedarf zur Finanzierung von möglichen Klimaschäden explizit in die Finanzierungsprognosen der Sektoren einbezogen werden. Der zusätzliche Finanzierungsbedarf für Klimaanpassung könnte in Südtirol in der Größenordnung von ca. 40 Mio. € pro Jahr liegen (ausgehend von einer Schätzung für Deutschland von einem zusätzlichen Finanzbedarf für Klimaanpassung von ca. sechs bis sieben Mrd. € pro Jahr (Heilmann et al., 2024)). Für eine genauere und auf den Südtiroler Kontext abgestimmte Schätzung bedarf es zusätzlicher Studien.

- Identifizierung der horizontalen und vertikalen Verantwortlichkeiten/Kompetenzen der provinziellen und territorialen Körperschaften/Agenturen/Abteilungen in Bezug auf die Maßnahmen zur Klimaanpassung (klare „risk ownership“).
- Es sollten mehr Mittel in die Ausbildung der Provinzverwaltung zu den Themen Klimawandel und Anpassung investiert werden

Die **Ressourcen** für alle Phasen eines integralen **Risikomanagements** sollten überprüft und gegebenenfalls verstärkt werden (→ siehe sektorische Empfehlungen für den Bereich *Risikomanagement* sowie Empfehlungen aus dem *Forschungsprojekt X-Risk-CC*). Diese Überprüfung des Risikomanagements betrifft nicht nur den Bevölkerungsschutz, sondern auch andere Sektoren (z.B. Gesundheit, Energie, Landwirtschaft, Bankenwesen und Finanzen) sowie Unternehmen, die in Zukunft über die EU-Taxonomie ein Klimarisikomanagement einführen müssen.

Stärkere Einbindung von **Unternehmen, Verbänden und der Zivilgesellschaft**

- Unternehmen in Südtirol sind von direkten Klimarisiken betroffen (z.B. touristische Betriebe, Energieerzeuger, Lebensmittelproduktion). Aber auch indirekte Risiken (Unterbrechung von Lieferketten, Schäden bei Kunden) spielen eine Rolle. Diese Klimarisiken müssen laut EU-Taxonomie ermittelt und Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden. Das Land Südtirol könnte Unternehmen operationell und informell in dieser Aufgabe unterstützen (z.B. über Wissensvermittlung zu Klimarisiken, zu den Anforderungen von EU-Seite im Rahmen der EU-Taxonomie etc.) und sie stärker in Strategien und Maßnahmen zu Erzielung eines klimaresilienten Südtirols einbinden.
- Gleichzeitig spielen Unternehmen mit ihrer innovativen Kraft auch eine Rolle bei der Entwicklung von technischen und naturbasierten Lösungen zur Anpassung. Hier liegt durchaus ein Marktpotential, das z.B. auch in der „Smart-Specialisation-Strategie“ des Landes berücksichtigt werden könnte.
- Verbände spielen in Südtirol eine wichtige Rolle als Vermittler zwischen der Provinz und Akteursgruppen. Sie haben oft ein großes Wissen über die Situation vor Ort und können wesentlich zur Identifikation von Risiken und Vulnerabilitäten und zur Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen, deren Umsetzung und deren Akzeptanz beitragen. Dazu sollten sie aktiv in die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen eingebunden werden und über technische, fachliche und finanzielle Unterstützung seitens der Provinz in ihrem Beitrag zum Anpassungsprozess gestärkt werden.
- Auch die Zivilgesellschaft spielt eine große Rolle. Wohnungen, Häuser und Grundbesitz (z.B. Wälder) müssen klimaresilient gemacht werden. Auch das Verhalten der Bürger und das Risikobewusstsein tragen zu Anpassung bei. Die Beteiligung im Ehrenamt (Weißes Kreuz, freiwillige Feuerwehr, Sozialverbände) kann maßgeblich zu einer klimaresilienten Gesellschaft beitragen.

Partizipation und (Bewusstseins-)Bildung als wichtige Komponente in der Klimaanpassung

- Anpassung sollte gemeinsam mit Stakeholdern umgesetzt, entsprechende geeignete partizipative Prozesse (z.B. Bürgerräte) genutzt und mit entsprechenden Ressourcen ausgestattet werden. Klimaanpassung sollte in bereits laufende partizipative Prozesse (z.B. im Rahmen der Gemeindeentwicklungsprogramme) stärker und explizit adressiert werden.
- Die Vielfalt der Stakeholder im Gebiet anerkennen: In der Provinz gibt es viele verschiedene Akteure, die bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen vor Ort helfen können. Dazu gehören öffentliche und regionale Behörden, private Organisationen, NGOs, lokale Gemeinschaften und zivilgesellschaftliche Gruppen. Diese Akteure sind unterschiedlich stark über das Thema Klimaanpassung informiert und können Maßnahmen vor Ort ergreifen sowie die Provinz bei der Bewältigung von Klimarisiken zu unterstützen.
- Die im Rahmen der Stakeholderanalyse im Klimarisikobericht von Eurac Research identifizierten Gruppen können als Inspiration dienen, für welche Prozesse des „Co-developments“ welche Stakeholdergruppen eingebunden werden sollten. Für lokale Anpassungspläne sollte die Methode der Stakeholderanalyse wiederholt und Teil der Anpassungsplanung werden.

- Macht- und Konfliktverhältnisse zwischen den Stakeholdern (z.B. Lobbyverbände untereinander, Lobbyverbände und Zivilgesellschaft) sollten analysiert und berücksichtigt werden, um mögliche Probleme und Widerstände gegen die Anpassungsmaßnahmen zu erkennen. Daraus sollen Strategien zur Vermittlung entwickelt werden, um eine gute und effektive Zusammenarbeit zu fördern.
- Das Bewusstsein für die Notwendigkeit und Dringlichkeit des Anpassungsbedarfs auf allen Ebenen ist zu erweitern, die Akteure zu sensibilisieren, um das komplexe Thema Anpassung an den Klimawandel greifbarer zu machen
- Bildungs- und Sensibilisierungskampagnen für sektorielle Schlüsselakteure, die Bevölkerung und lokale Entscheidungsträger für die jeweiligen Klimarisiken und Anpassungsmöglich- bzw. Notwendigkeiten durch zielgerichtete Informationskampagnen, regelmäßige Schulungen und Workshops
- Integration von Klimarisiken und Anpassungsoptionen in Aus- und Weiterbildungsprogramme

Klimaanpassung erfordert eine solide Daten- und Wissensbasis

- Viele mögliche Klimawirkungen, vor allem indirekte und kaskadierende, sind für Südtirol kaum erforscht und es liegen wenig aktuelle Daten und keine Szenarien vor. Um spezifische Anpassungsmaßnahmen in Südtirol zu planen und die Integration klimabezogener Aspekte in bestehende Instrumente zu ermöglichen, die konkrete Szenarien berücksichtigen und auf mögliche räumliche Hotspots und kritische Konstellationen eingehen braucht es weitere Forschung.
- Es sollte ein öffentlich zugängliches Daten- und Informationsportal zum Thema Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung geschaffen werden, das nicht nur zum Thema informiert, sondern verschiedene Nutzer (Gemeinden, Unternehmen, Privatpersonen) aktiv in Klimaschutz und Klimaanpassung unterstützt.
- Über Klimarisiken und Anpassungsbedarf In den Bereichen Wirtschaft und Industrie, Gesundheit (mitunter der psychischen Auswirkungen), Bildung und Schulen sowie zu den Auswirkungen auf die soziale Kohäsion besteht besonders wenig Wissen, sowie wenig Bewusstsein und Kompetenz bei den Akteuren. Hier sind Studien aber auch Workshops mit Akteuren zur Bewusstseinsbildung zu empfehlen.
- Bei der Ausarbeitung von sektoralen Anpassungsplänen sollten immer Wissenslücken, Unsicherheiten und der Forschungsbedarf explizit ausgewiesen werden und entsprechende Studien geplant und finanziert werden.
- Der Wissensbedarf zum Thema „Klimarisiken, Klimaanpassung, Klimaresilienz“ sollte zusammen mit Wissenschaftlern, den Stakeholdern der Provinz und der Zivilgesellschaft systematisch gesammelt werden (z.B. im Rahmen von Workshops oder Interviews), eine entsprechende Forschungsagenda entwickelt werden und Forschung über ein entsprechendes Forschungsprogramm gefördert werden (z.B. nach Vorbild des Österreichischen Klimaforschungsprogramms ACRP im Rahmen des §14 Programms).
- Sektorspezifische Forschungsschwerpunkte zur Risikomitigation und Resilienzsteigerung (ähnlich Klimaplan)

Klimaanpassung sollte gemonitort werden (Monitoring)

- Konkrete Maßnahmen sollten formuliert werden und deren Umsetzung regelmäßig (jährlich) monitort werden.
- Auch der Erfolg von Anpassungsmaßnahmen sollte überprüft werden. Die Weiterentwicklung von (Wirkungs-)Indikatoren der Klimawandelanpassung ist gerade auf Grund der Komplexität von Anpassungswirkungsmessung von höchster Relevanz und wird kontinuierlich verfolgt. Sowohl deren Verankerung in Governanceprozessen als auch eine adäquate Berücksichtigung der lokal-spezifischen Gegebenheiten einer Maßnahme müssen dabei sichergestellt werden.
- Dieses Monitoringsystem sollte in das Monitoringsystem des Klimaplanes integriert werden

7.3 Empfehlung für die Entwicklung von detaillierten Anpassungsplänen

Die nachfolgenden Prinzipien und sektorübergreifenden Strategien sollten z.B. in Form von Checklisten Berücksichtigung bei der Ausarbeitung und beim Monitoring von konkreten (sektoralen) Anpassungsplänen und -maßnahmen Anwendung finden.

Für konkrete sektorale Anpassungspläne sollte, aufbauend auf dem Eurac-Klimarisikobericht, eine explizite **Analyse und Bewertung der Risiken** und des **Anpassungsbedarfs** und die **Identifikation von Anpassungsmaßnahmen** durch die entsprechenden Abteilungen bzw. Stakeholder durchgeführt werden. **Die Schritte dazu sind:**

- **Klimarisikobewertung:** wo liegen Schlüsselrisiken und Schwachstellen?
 - Welches sind die aktuellen Klimagefahren und -risiken für diesen Sektor oder dieses System? Welches sind mögliche zukünftige Klimagefahren und -risiken?
 - Welche nicht-klimatischen Faktoren und Entwicklungen tragen zum Klimarisiko bei (Exposition, Vulnerabilität)? Wie können sich diese in Zukunft entwickeln?
 - Wie hoch ist das Risiko (Kriterien: Höhe und Häufigkeit von Schäden und Verlusten, Unumkehrbarkeit, Verlust von Systemfunktionalität, kaskadierende Effekte über Systemgrenzen hinaus...) aktuell und in Zukunft? Welche Risiken sind besonders schwerwiegend?
 - Gibt es räumliche Hotspots? Gibt es andere Konstellationen, die zu einem besonders hohen Risiko führen (z.B. vulnerable kritische Infrastrukturen oder Systeme, vulnerable Gruppen, ...)?
- **Eignung des aktuellen Risikomanagements und Stand der Anpassung:**
 - Inwieweit sind die bisherigen Politikinstrumente, Regelungen, Institutionen, das Risikomanagement und die Umsetzung dieser Instrumente geeignet, die aktuellen und die zukünftigen Klimarisiken auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren? Wo sind die Lücken? (→ siehe “Stärkung der Governance”)
 - Ist klar, wer die spezifische Risiken managen kann/soll („risk ownership)? Unklare Verantwortlichkeiten führen zu Schwächen im Risikomanagement, deshalb ist eine klare Aufteilung und Zuordnung der Rollen und Aufgaben zwischen den involvierten Akteuren und eine entsprechende horizontale und vertikale Koordination wichtig.
 - Wie schnell muss gehandelt werden (unter Berücksichtigung der Schwere des Risikos, der Geschwindigkeit der Zunahme des Risikos sowie des notwendigen Umsetzungszeitraums und der Dauer der Anpassungsmaßnahmen)?
- **Wo besteht der größte Handlungsbedarf?**
 - Schwerwiegende Risiken mit einer geringen Eignung der bisherigen Instrumente und einem langen Umsetzungszeitraum für Anpassungsmaßnahmen haben den dringendsten Handlungsbedarf.
- **Welche konkreten Maßnahmen sollten getroffen werden?**
 - Prioritär sind Maßnahmen für die Risiken mit dem größten Handlungsbedarf

- Weitere Attribute, die beschrieben werden sollten: Wer ist für die Maßnahmen verantwortlich? Wie hoch sind die Kosten und der Aufwand? In welchem Zeithorizont können / müssen die Maßnahmen umgesetzt werden? Welche Konflikte könnten durch die Maßnahmen entstehen (z.B. Konflikte mit bestehender Landnutzung, dem Schutz der Biodiversität, ...)? Welche Synergien könnten mit anderen Zielen entstehen?

Klimaanpassung in allen Bereichen sollte die möglichen Auswirkungen von **deutlich verstärkten** und **neuen klimatischen Gefahren** explizit adressieren und antizipieren.

- Klimaextreme, die intensiver und großflächiger werden (Dürre, Hitze, Sturm, Starkregen)
- Klimaextreme die gemeinsam (Hitze und Dürre; Sturm und Starkregen) oder in Folge hintereinander auftretend (Sturm oder Starkregen nach Dürre)
- Klimaextreme, die für Südtirol bisher wenig relevante Gefahren bzw. Klimafolgen darstellen (z.B. Stürme, Dürre, Waldbrände, gesundheitliche Folgen von Hitze, Auftreten neue Schaderreger, die die Gesundheit von Natur und Mensch schädigen)
- Langfristige Klimaänderungen (z.B. fortschreitende Erwärmung mit heißen und trockenen Sommern und milden und feuchten Wintern) und die damit verbundenen Folgen und Risiken (z.B. verringerte Gesundheit der Wälder, verringerte Wasserverfügbarkeit im Sommer, Rückgang der Schneebedeckung)
- Die Ergebnisse des Klimarisikoberichts sowie des Klimamonitorings von Eurac Research liefern konkrete Informationen über zukünftige Klimagefahren.

Klimaanpassung sollte nicht nur direkte Auswirkungen mindern, sondern auch **Kaskadeneffekte** auf natürliche, gesellschaftliche und wirtschaftliche Systeme berücksichtigen (im Klimarisikobericht sind solche Kaskadeneffekte über Wirkungsketten abgebildet und im Text erläutert).

- Dazu zählen z.B. Folgen auf das Gesundheitssystem, das Energiesystem, auf Unternehmen oder finanzielle Belastungen des Landeshaushaltes durch die Kompensation von Schäden
- Auch Klimarisiken, die durch Klimafolgen außerhalb von Südtirol entstehen, sollten berücksichtigt werden (z.B. erhöhter Wasserbedarf in Norditalien, Unterbrechung von Lieferketten, Verteuerung von Futtermitteln durch Klimaschäden in den Produktionsregionen, ...)
- Entsprechend sollte Klimaanpassung system- und sektorübergreifende gedacht, geplant und umgesetzt werden und auf einer systemischen Risikoanalyse mit Wirkungsketten aufbauen.
- Es sollte damit gerechnet werden, dass es langfristig Grenzen von Anpassung gibt und sich bestimmte Systeme (z.B. Wintersport) oder Elemente (z.B. Gebäude oder landwirtschaftliche Flächen in zukünftigen Gefahrenzonen) nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand anpassen lassen. Fehlanpassungen sollten vermieden werden (siehe unten).

Klimaanpassung mindert Klimarisiken, indem sie neben der Gefahr vor allem die Verwundbarkeit (Vulnerabilität) und die Exposition von betroffenen Systemen reduziert. Deshalb müssen Verwundbarkeit und Exposition identifiziert, mögliche Trends berücksichtigt und Maßnahmen getroffen werden, um **Verwundbarkeit und Exposition langfristig zu senken**. So ergibt sich eine:

- Zunehmende Verwundbarkeit von Ökosystemen und ihrer Funktionen und Leistungen z.B. durch steigende Fragmentierung, Stoffeintrag und invasive Arten
- Zunehmende Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Hitze und anderer klimabedingter gesundheitlichen Gefahren (vor allem vektorübertragene Krankheiten, Infektionskrankheiten) durch Überalterung oder zunehmender sozialer Ungleichheit
- Zunehmende Exposition durch mehr Touristen in Spitzenzeiten und touristischen Hotspots

- Zunehmende Exposition von Infrastruktur (Siedlungen, Gewerbegebiete) durch Neubau oder Erweiterung in potenziellen (neuen) Gefahrenzonen

Im Klimarisikobericht von Eurac Research sind Exposition und Vulnerabilität explizit adressiert. Für sektorale Anpassungspläne sollte eine Vertiefung stattfinden und insbesondere kritische, das Risiko weiter erhöhende, zukünftige Entwicklung von Exposition und Vulnerabilität explizit behandelt werden.

Bei der **Planung von Klimaanpassung** sollte berücksichtigt werden, dass manche Maßnahmen einen großen zeitlichen Vorlauf für die Umsetzung benötigen und, einmal umgesetzt, eine hohe zeitliche Persistenz besitzen. Entsprechend früh sollte die Planung gestartet werden.

- Große Infrastrukturmaßnahmen wie Speicherbecken oder Schutzbauten haben einen langen Planungs- und Genehmigungsvorlauf
- Neue Gesetze oder die Anpassung von Fachplänen und die konsistente Berücksichtigung von Klimaschutz und Klimaanpassung in verschiedenen Fachplänen erfordert viele Jahre an Vorlauf
- Lange Anpassungszeiträume erfordern eine frühzeitige Adressierung des Risikos, auch wenn dies erst langfristige Auswirkungen hat. So muss z.B. der Waldumbau bereits heute Sorge tragen, Waldtypen zu fördern, die auch noch mit dem Klima im Jahr 2100 zurechtkommen; räumliche Strukturen haben eine Lebensdauer von vielen Jahrzehnten und sind möglicherweise nicht an dann vorherrschende klimatische Bedingungen angepasst. Hier kann, z.B. im Gegensatz zur Wahl landwirtschaftlicher Kulturen, nicht „auf Sicht“ gefahren werden, sondern proaktive Anpassungsmaßnahmen getroffen werden.

Klimaanpassung, wie auch Klimaschutz, müssen **sozial ausgeglichen und gerecht** geplant und umgesetzt werden:

- Klimarisiken und die Möglichkeiten zur Klimaanpassung sind nicht gleichverteilt. Ärmere und marginalisierte Bevölkerungsschichten sind z.B. stärker von Hitzeextremen betroffen, da sie in oft in stark versiegelten, dicht bebauten Stadtteilen wohnen und auf Grund der Eigentumsverhältnisse und ihres finanziellen Status nicht die Möglichkeiten zur Schaffung eines angenehmen, klimaresilienten Wohnklimas haben.
- Risiken für Demokratie, Gesundheit, Sicherheit und soziale Gerechtigkeit sollten durch Anpassung minimiert werden.
- Bei der Planung und Umsetzung der Handlungsoptionen, insbesondere in den Aktivitätsfeldern Gesundheit, Bauen und Wohnen, Energie, Raumordnung Verkehrsinfrastruktur sowie Städte – urbane Frei- und Grünräume, sind die unterschiedlichen Bedürfnisse der Generationen und insbesondere die demografische Entwicklung sowie andere soziale Aspekte (z.B. Migrationshintergrund) zu berücksichtigen.
- Die spezifischen Unterschiede zwischen urbanem und ländlichem Raum bedürfen einer gesonderten Betrachtung und sind bei der Maßnahmenkonzeption zu berücksichtigen
- Der Zugang zu Informationen betreffend Fördermöglichkeiten von individuellen Maßnahmen zur Klimawandelanpassung sollte erleichtert werden, mit einem besonderen Fokus auf Gruppen mit geringer sozialer Inklusion

Klimaanpassung sollte nicht nur als reaktive Strategie zur Risikominderung verstanden werden, sondern auch als Beitrag zu einer positiven **Vision eines klimaneutralen, klimaresilienten und lebenswerten Südtirols:**

- Wenn Systeme wie Landwirtschaft, Tourismus oder Wohnen neu gedacht werden und Ziele für eine positive Vision formuliert werden, ergeben sich andere Prioritäten für Anpassung, als wenn der Fokus auf dem Schutz der bestehenden Praktiken und Aktivitäten liegt.

- Dazu können die Ergebnisse aus dem Future-Lab (→ siehe Kapitel 2) für eine Vision Südtirol 2040 als Inspiration dienen

Wesentlich für eine erfolgreiche Anpassung und gestärkte Resilienz ist, den durch Kriterien unterlegten Standard **"guter Anpassung"** sicherzustellen und **Fehlanpassung** zu vermeiden.

- Gute Anpassung heißt, Synergien mit anderen Nachhaltigkeitszielen wie Klimaschutz, Schutz von Biodiversität, Bodenschutz, Akzeptanz in der Bevölkerung, Flexibilität, Anpassung als Beitrag zur sozialen und ökologischen Transformation zu nutzen und Konflikte mit diesen Zielen zu vermeiden (→ siehe [Kriterien für die österreichische Anpassungsstrategie](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/aber-richtig.html#gute-praxis-der-anpassung)) [https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/aber-richtig.html#gute-praxis-der-anpassung?](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/aber-richtig.html#gute-praxis-der-anpassung)
- Klimaanpassung bedeutet, die aktuellen Aktivitäten und den Umgang mit Klimarisiken systematisch zu überprüfen und an die sich ändernden Bedingungen flexibel anzupassen, neue Strategien und Maßnahmen zum Risikomanagement einzuführen und gegebenenfalls auch alte Praktiken aufzugeben.
- Fehlanpassung vermeiden, indem keine Maßnahmen getroffen werden, die vorwiegend reaktiv gesetzt werden und als reine Symptombekämpfung höchstens kurzfristig erfolgversprechend sind, sich jedoch langfristig als kontraproduktiv erweisen.

Literatur

- Rudolf-Miklau, F. 2022: Nature-based solutions in the context of natural hazards - Policy Brief.- Natural Hazard Working Group of the Alpine Convention (PLANALP)
- Heilmann, F., Gerresheim, N., Henze, L., Huwe, V., Ortego, A.K., Krahé, M., Mölling, C., Schulte, S., Schulz, S., Schuster, F., Sigl-Glöckner, P., Steinwart, J., Steitz, J., 2024. Was kostet eine sichere, lebenswerte und nachhaltige Zukunft? Öffentliche Finanzbedarfe für die Modernisierung Deutschlands. Dezernat Zukunft - Institut für Makrofinanzen.

7.4 Sektorspezifische Empfehlungen

7.4.1 Wassermanagement

Übergeordnete Ziele

(→ siehe „Wasser“ in Kapitel 7.1 und Kapitel 7.4.10)

1. **Sicherstellung der Wasserversorgung und -qualität durch Anpassung an Klimarisiken:** Verbesserung der Wasserspeicher- und Verteilungssysteme, Sicherstellung und Erweiterung der Wasserrückhaltekapazität der Landschaft und der Ökosysteme, Sicherstellung von Restwassermengen und Förderung nachhaltiger Wassernutzungspraktiken
2. **Verbesserung der Governance-Strukturen und institutionellen Rahmenbedingungen:** Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Verbesserung der Koordination zwischen verschiedenen Akteuren. Berücksichtigung des Klimawandels in Wassernutzungsplänen.
3. **Förderung der Forschung und Bewusstseinsbildung:** Unterstützung von Forschungsprojekten und Bildungsinitiativen zur nachhaltigen Wassernutzung und zum Schutz der Wasserressource
4. **Prüfung und Verbesserung des derzeitigen Hochwassermanagements,** um auf Starkregenereignisse mit zunehmender Intensität, Ausdehnung und Dauer sowie daraus folgende lokale Überflutungen und großflächigen Hochwässern vorbereitet zu sein. Dabei sollte das volle Potential eines Maßnahmenmix genutzt werden (technisch-infrastrukturelle Maßnahmen, naturbasierte Maßnahmen, verbessertes Flächenmanagement, Frühwarnsysteme, Sensibilisierung und Eigenverantwortung, Versicherungs- und Risikotransferlösungen etc.).

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Sektorübergreifende Zusammenarbeit zu Wassermanagement (Koordinierungsgremium) (Governance)
- Stärkung des integrierten Managements von Wasserknappheitssituationen zwischen den Sektoren auf Provinzebene und zwischen den Provinzen und Regionen im Einzugsgebiet der Etsch (Governance)
- Förderprogramme und finanzielle Anreize zur Unterstützung von Klimaanpassungsmaßnahmen im Bereich der Wassereinsparung und des Wassermanagements (Governance, finanzielle Maßnahmen)
- Einbindung von Klimarisiken in Wassernutzungs- und Bewirtschaftungspläne (Governance, Monitoring und Modelling)
- Entwicklung von Handlungsanweisungen für den kurzfristigen Umgang mit Extremereignissen wie Dürren oder Hochwasserereignissen (Governance) (→ siehe Kapitel 4.7.10)

Partizipation und (Bewusstseins-)Bildung

- Sensibilisierung und Vermittlung von Wissen zu nachhaltiger Wassernutzung und den Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen für die Bevölkerung, die das Wasser nutzt und für die Politik, die Entscheidungen trifft (Bildung, Bewusstseinsbildung)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Implementierung eines umfassenden Wassermanagement-Monitorings (Wasserverfügbarkeit, Wasserverbrauch, Auswirkungen von Wasserknappheit auf verschiedenen Sektoren) als Basis für kurzfristige Interventionen und langfristige Erhebungen (Monitoring und Modelling)
- Entwicklung robuster Zukunftsszenarien (Klima, Wasserbedarf, Wirtschaft, Energie) für Südtirol (Monitoring und Modelling)
- Verbesserung des hydrologischen Modells für Südtirol zur Vorhersage (kurzfristig und saisonal) von Wasserknappheit und Hochwasserereignissen (Monitoring und Modelling)
(→ siehe Kapitel 7.4.10 „Integriertes Hochwassermanagement“)

Effizienteres Management von Wasserressourcen durch nachhaltigere Wassernutzung

- Integrierte Bewirtschaftung von Wassereinzugsgebieten durch: (Governance)
 - Berücksichtigung der Wechselwirkungen und Abstimmung zwischen allen Nutzungen (Landwirtschaft, Energie, Fischerei, Industrie, Ökosysteme, Unterlieger)
 - Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels (langfristige Änderungen wie weniger Wasser im Sommer, Extreme wie Dürre oder Hochwasser)
- Optimierung der Wassernutzung in der Landwirtschaft –Förderung effizienter Bewässerungstechniken und Managementpraktiken (→ siehe Kapitel 7.4.3 „technische und naturbasierte Maßnahmen“)
- Anreize für die Nutzung regenerativer Wasserressourcen (z.B. gereinigtes Abwasser, Regenwasser in städtischen und landwirtschaftlichen Bereichen) (Governance)

Sicherstellung der Wasserversorgung für menschliche Nutzungen

- Verbesserung der Wasserversorgungssysteme durch Modernisierung und Instandhaltung der Wasserinfrastruktur; Effizienzsteigerung der Verteilungsnetze und integrierte Verwaltung der Konsortien (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Erhöhung der Wasserspeicherkapazität durch Neu- und Ausbau von Wasserspeichern (insbesondere in Regionen mit zukünftiger Wasserknappheit) unter Vermeidung möglicher negativer Umweltauswirkungen und Prüfung der Möglichkeit von Mehrfachnutzungspflichten (Landwirtschaft, Hochwasserschutz, Energie, Beschneidung, Brandschutz); Berücksichtigung von Risiken in Verbindung mit dem Klimawandel (z.B. Extremereignisse) (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Einführung bzw. Neufestlegung spezifischer, territorial flexibler Wasserentnahmepläne zur Anpassung an variable Wasserverfügbarkeiten und Sicherstellung der Wasserversorgung auch in Trockenperioden (Governance)
- Anpassung der Konzessionskriterien und Laufzeiten zur Wassernutzung (z.B. Energie, Landwirtschaft etc.) an die neuen und künftigen klimatischen Bedingungen (Governance)
- Förderung einer flexibleren Nutzung der Wasserkraftreservoirs (Pumpbetrieb) (technische und naturbasierte Maßnahmen, Governance)

Berücksichtigung ökologischer Aspekte im Wassermanagement

- Sicherstellung und Erweiterung der Wasserrückhaltekapazität der Landschaft und der Ökosysteme durch Schutz, Pflege und Wiederherstellung von Mooren, Auwäldern und Feuchtgebieten (technische und naturbasierte Maßnahmen) (→ siehe Kapitel 7.4.10 „Integriertes Hochwassermanagement“), Sicherung einer ausreichenden Restwassermenge im Dürrefall, um den erhöhten Wasserbedarf von Ökosystemen und Unterliegern zu bedienen (permanente Sicherstellung des ökologischen Abflusses → Biodiversität) (Governance)

Schutz und Verbesserung der Wasserqualität in Fließgewässern

- Berücksichtigung der Anforderungen aus dem neuen EU-Renaturierungsgesetz
- Projekte zur Aufweitung und Renaturierung von Flüssen wie der Etsch und des Eisack zur Aufwertung des Lebensraumes „Fluss“ und der Reduktion der Hochwassergefahr (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Unterstützung von Projekten zur Wiederherstellung der ökologischen Konnektivität von Fließgewässern (technische und naturbasierte Maßnahmen)

7.4.2 Biodiversität

Übergeordnete Ziele

(→ siehe Kapitel 7.1 „Schutz und die Wiederherstellung von Ökosystemen“)

1. **Strukturelle und systemspezifische Erhaltung der Biodiversität:** Schutz und Wiederherstellung ökologisch wertvoller Flächen unter Berücksichtigung ihrer Funktionen vor dem Hintergrund von Klimarisiken, unter anderem durch die Förderung naturbasierter Lösungen
2. **Berücksichtigung von naturbasierten Lösungen,** die sowohl Klimarisiken auf verschiedene Systeme mindern können als auch dem Schutz von Biodiversität dienen
3. **Verbesserung der Governance-Strukturen und institutionellen Rahmenbedingungen:** Anpassung der gesetzlichen und institutionellen Rahmenbedingungen zur Stärkung des Themas der Biodiversität in Verhandlungs- und Entscheidungsprozessen
4. **Förderung des Monitorings und der Bewusstseinsbildung:** Durchführung von Monitoringmaßnahmen als Grundlage für Sensibilisierungs- und Erhaltungsmaßnahmen

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Integration von Klimarisiken in Planungs- und Managementinstrumente

- Erarbeitung einer Strategie zum Erhalt und zur Stärkung der Biodiversität unter dem Klimawandel sowie zur Stärkung der Rolle von Ökosystemleistungen bei der Minderung von Klimarisiken
- Integration von Biodiversitätsaspekten in alle Politikbereiche und bestehende sektorielle Instrumente (z.B. durch intersektorielle und transdisziplinäre Arbeitsgruppen) sowie stärkere Berücksichtigung der Synergien zwischen Sektoren, etwa mit den Bereichen Raumplanung und Zivilschutz (z.B. durch die stärkere rechtliche Verankerung naturbasierter Lösungen), um so die Relevanz der Biodiversität in Aushandlungsprozessen zu stärken (Governance)
- Einbeziehung dynamischer, zukunftsgerichteter Kriterien zur Integration von Klimarisiken und entsprechenden Anpassungsmaßnahmen bei Schutzmaßnahmen von Arten und Lebensräumen sowie in das Kriterium des „günstigen Erhaltungszustandes“, welches bisher vor allem auf den Status quo ausgerichtet ist (Governance)
- Stärkere Berücksichtigung und Vorüberhebung von möglichen biodiversitätsbezogenen Klimarisiken in Verfahrensabläufen der Grün-Grün Kommission und der Dienststellenkonferenz zu Strategischen Umweltprüfung-Verfahren (Governance)
- Stärkere Ausrichtung des Landschaftsfonds und anderer provinzieller Förderinstrumente an Klimarisiken und Priorisierung besonders vulnerabler Ökosysteme (Governance, finanzielle Maßnahmen)

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Kritische Evaluierung der Wirksamkeit und der Kompatibilität bestehender Politikinstrumente mit dem zu priorisierenden Schutz der Biodiversität und ihrer Funktionen, etwa durch eine konsequente Umsetzung des Naturschutzgesetzes über Durchführungsbestimmungen, der Evaluierung der Adäquanz der Instrumente der Bagatelleingriffe, der Restwasserbestimmungen, Eingriffen ohne Stellungnahmepflicht oder Ausnahmen von Schutzbestimmungen (z.B. für Auwälder oder Ufervegetation) sowie durch die Umsetzung neuer Instrumente wie etwa dem Vertragsnaturschutz (Governance)
- Einrichtung einer zentralen Anlauf- und Koordinationsstelle zum Thema der Neobiota über alle Subsysteme hinweg (Governance)
- Stärkere Berücksichtigung des Raumbedarfs für den Schutz und die Aufwertung von Ökosystemen in raumplanerischen und strategischen Dokumenten, unter Berücksichtigung und Moderation der möglichen Interessens- und Nutzungskonflikte (Governance)
- Komplementierung der wichtigsten Förderinstrumente (Landschaftsfonds, Landschaftspflegeprämien, weitere Instrumente des Vertragsnaturschutzes etc.) durch rechtlich bindende Bestimmungen zu biodiversitätserhaltenden Maßnahmen, wie etwa Flussaufweitungen oder Vernetzungen von Ökosystemen (Governance)
- Gezielte Kooperation mit dem Sektor Landwirtschaft zur Stärkung der Synergien zwischen landwirtschaftlichen Praktiken und dem Erhalt der Biodiversität, etwa durch die Steigerung der Diversität in der Kulturlandschaft oder der Förderung von regionalem Saatgut (Governance, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Berücksichtigung des Biodiversitätsstandpunkts in Gremien (z.B. Wildbeobachtungsstelle oder Landeskommision für landschaftsrechtliche Genehmigung) (Governance)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Bildungs- und Sensibilisierungsmaßnahmen zur (sektorübergreifenden) Bedeutung der Biodiversität für die Risikomitigation als Basis für komplexe Aushandlungsprozesse, beispielsweise bezüglich Flächenverfügbarkeiten (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Forschung und Innovation

- Förderung der Forschung zu klimarelevanten Themen wie den spezifischen Auswirkungen durch den Klimawandel sowie den Anpassungspotenzialen verschiedener Lebensräume und Arten (Wissensbedarf und Forschung)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Flächendeckende Kartierungen ökologisch wertvoller und sensibler Lebensräume sowie deren Klimarisikoeexposition für die Sensibilisierung der öffentlichen Verwaltung und der Zivilgesellschaft sowie als Basis für frühzeitige Anpassungsmaßnahmen (Monitoring und Modelling, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Kontinuierliches Monitoring der Ausbreitung wärmetoleranter Arten und deren Einfluss auf heimische, sensible Arten (Monitoring und Modelling)
- Einrichtung eines umfassenden Datenerfassungssystems zur Sammlung und Analyse klimarelevanter Informationen im Bereich Biodiversität und zum permanenten Monitoring der Zustände sensibler Ökosysteme vor dem Hintergrund sich ändernder klimatischer Bedingungen und menschlicher Einflüsse – Ergänzung des laufenden Biodiversitätsmonitorings (Monitoring und Modelling)

Erhalt und Verbesserung des Zustandes von Ökosystemen und Arten unter Klimawandel

- Proaktive Bereitstellung von Ersatzlebensräumen für und den Transfer von besonders vulnerablen, kleinen und isolierten Teilpopulationen ohne Möglichkeit des Ausweichens in klimatisch geeignetere Zonen (technische und naturbasierte Maßnahmen)

- Umsetzung von temporären oder permanenten Ex-Situ-Erhaltungsmaßnahmen für sensible und von Klimarisiken besonders betroffenen Arten, z.B. in botanischen Gärten (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Förderungen zur Stärkung der Konnektivität der verschiedenen Lebensräume, um Artenmobilität in optimalere Lebensräume zu ermöglichen (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

Förderung der Resilienz von Waldökosystemen (siehe u.a. Kapitel Forstwirtschaft)

- Forcierung des aktiven Waldumbaus (in ständiger Abwägung zur Naturverjüngung) hin zu standortgerechten und klimaresilienten, durchmischten Waldgesellschaften durch eine Anpassung der Förderkriterien, die Ausbildung der Försterinnen und Förster und die Sensibilisierung der Menschen, die Wald besitzen (technische und naturbasierte Maßnahmen, Governance, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Erarbeitung von Strategien zur Bekämpfung von invasiven Arten und dem Erhalt der Waldbiodiversität sowohl bei punktuellen als auch bei flächigen Ausbreitungen von Neophyten (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen, Wissensbedarf und Forschung)
- Erarbeitung einer Strategie zur standortgerechten, flächigen oder punktuellen klimafitten Wiederaufforstung nach großflächigen Schadereignissen oder Waldbränden, falls eine natürliche Verjüngung nicht eintritt oder Gründe des Zivilschutzes eine unmittelbare Wiederbewaldung notwendig machen (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Strukturelle Abwägung zwischen einer Intensivierung der Waldbewirtschaftung bzw. der Holznutzung als Klimaschutzmaßnahme sowie der Stärkung der Diversität durch Diversifizierung der Baumartenzusammensetzung (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Gezielte Kooperation mit den Sektoren Landwirtschaft und Naturschutz zur Stärkung der Biodiversität an Waldrändern und der Verbesserung der Konnektivität von Waldinseln in tieferen Höhenstufen durch Maßnahmen wie Gehölzstreifen, inklusive Aufnahme dieser spezifischen Maßnahmen in die provinziellen Förderinstrumente wie dem Landschaftsfonds oder Landschaftspflegeprämien (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen, finanzielle Maßnahmen)
- Schwerpunktmäßige Förderung punktueller waldbaulicher Maßnahmen in bewirtschafteten Wäldern zur Steigerung der Biodiversität, wie z.B. dem Belassen von Totholz und die Erhöhung der Strukturvielfalt (technische und naturbasierte Maßnahmen, finanzielle Maßnahmen)

Steigerung der Resilienz alpiner Lebensräume

- Passive Erhöhung der Resilienz wichtiger Ökosysteme durch Vermeidung weiterer Störungen und menschlicher Eingriffe, z.B. durch den Ausbau von Schutzgebieten, die Reduzierung des landwirtschaftlichen und freizeitbezogenen Erschließungs- und Nutzungsdruckes und gezielte Lenkungsmaßnahmen für Erholungssuchende (Governance)
- Forcierung der Konnektivität von wertvollen Lebensräumen, besonders von fragmentierten und isolierten Teilpopulationen, in Managementplänen von Natura-2000- oder Schutzgebieten zur Ermöglichung der Mobilität in geeignete Umgebungen (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Berücksichtigung zukünftiger Klimarisiken in Kriterien zur Definition und Klassifizierung von Schutzgraden in Natur- und Nationalparks und den entsprechenden strategischen Dokumenten (z.B. Nationalparkplan), insbesondere für besonders sensible und vulnerable Systeme wie Feuchtgebiete oder gletschergebundene Lebensräume (Governance)
- Unterstützung der Mahd von wertvollen Wiesenflächen in der subalpinen Zone, begleitet von eventuellen Einschränkungen und Kontrollen der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (Governance, finanzielle Maßnahmen, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Ex-Situ-Erhaltungsmaßnahmen für gletschergebundene oder Hochgebirgsarten ohne Ausweichmöglichkeit und ohne Erhaltungsmöglichkeit der funktionellen Ökosysteme (technische und naturbasierte Maßnahmen)

- Integration von Klimaänderungen und Klimarisiken in die Verträglichkeitsprüfungen von Natura 2000-Gebieten zur proaktiven Berücksichtigung des steigenden Drucks auf Ökosysteme (Governance)

Förderung nachhaltiger Bewirtschaftung und Nutzung von Agrarökosystemen

- Ausschluss ökologisch wertvoller Lebensräume (z.B. Magerwiesen) von durch klimatische Änderungen möglich werdenden Kulturänderungen zur Begrenzung der landwirtschaftlichen Intensivierung; Prüfung der ökologischen Auswirkungen bei anderweitigen Änderungen der Kulturformen (Governance)
- Finanzielle Förderungen zum Erhalt von Flächen mit hohem Naturwert, insbesondere von extensiven Wiesen in allen Höhenstufen, Streuobstwiesen und extensivem Weideland sowie Einführung von Förderungen bzw. Kompensationen für die Extensivierung intensiv genutzter Agrarflächen (finanzielle Maßnahmen, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Umsetzung von spezifischen Schutz- und Managementmaßnahmen für Feuchtwiesen sowohl hinsichtlich der Minderung des Nutzungsdruckes als auch hinsichtlich des Risikos von Trockenheit durch Schutzmaßnahmen, Förderungen und Auflagen (Governance)
- Verbesserung der Konnektivität von wertvollen Agrarlebensräumen durch Förderungen zum Erhalt und dem Ausbau strukturgebender Elemente (z.B. Vertragsnaturschutz) (Governance, finanzielle Maßnahmen, technische und naturbasierte Maßnahmen)

Schutz und Wiederherstellung von Mooren und Seen

- Einrichtung und konsequente Kontrolle ausreichend breiter Pufferzonen rund um Feuchtgebiete in Agrarlandschaften zum Schutz vor Störung und Nährstoffeintrag (Governance)
- Anstrengungen zur strukturellen Wiederherstellung von Feuchtlebensräumen insbesondere in Talflächen durch die Aufweitung von Flüssen und der Wiedervernässung von Mooren (auf Basis einer Eruiierung der verlorenen Mooregebiete und einer Identifizierung möglicher Moore zur Renaturierung), wobei die Maßnahmen über Förderungen mittels des Landschaftsfonds und punktuelle Ausgleichsmaßnahmen hinausgehen sollten (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Erhöhung der Konnektivität von wertvollen Lebensräumen durch die qualitative Aufwertung von Gräben als entsprechende Korridore (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Erhebung und Schutz intakter Moore und Feuchtlebensräume durch die Unterbindung von negativen menschlichen Einflussfaktoren wie z.B. durch weiträumige Unterschutzstellungen und begleitenden Monitoringmaßnahmen, vor allem in Zeiten mit Wassermangel (Governance, Monitoring und Modelling)

Biodiversität in Fließgewässern

- Konsequente Ausrichtung von Bestimmungen zu Wasserableitungen (z.B. für landwirtschaftliche oder hydroelektrische Zwecke) und Restwassermengen am obersten Planungsprinzip der „Sicherstellung des ökologischen Abflusses“ und der Vermeidung der Übernutzung durch menschliche Aktivitäten, vor allem in Zeiten von Wassermangel und/oder hohen Wassertemperaturen, auf Basis eines spezifischen Monitoringsystems (Governance)
- Freihaltung und Bereitstellung von Flächen zur verstärkten Renaturierung und Aufweitung von Flüssen sowie zum Schutz bzw. Wiederherstellung von Auwäldern, die über die Kriterien in Förderinstrumenten und Ausgleichsmaßnahmen hinausgehen (technische und naturbasierte Maßnahmen, Governance)
- Verstärkte Integration von Klimawandelaspekten in das Fischereimanagement, sowohl für langfristige (z.B. Bewirtschaftungsstrategie Fischerei) und mittelfristige Planung (z.B. Besatzplanung) als auch für kurzfristige Interventionsmöglichkeiten, z.B. bei hydrologischen Extremereignissen (Governance)

- Forcierung der Wiederherstellung der Konnektivität von künstlich beeinträchtigten Fließgewässern zur Unterstützung der Artenmobilität in thermisch geeignetere Lebensräume (technische und naturbasierte Maßnahmen)

7.4.3 Landwirtschaft

Übergeordnete Ziele

1. **Ausrichtung institutioneller und rechtlicher Instrumente am Prinzip der Klimaresilienz:** Anpassung von Förderinstrumenten, Auflagen und Standards hinsichtlich einer resilienten Landwirtschaft, eines effizienten Wassermanagements und der Stärkung der Biodiversität
2. **Effizientes Wassermanagement in der Landwirtschaft** z.B. durch dürreresistente Sorten und wassersparende Bewässerungstechniken zur Sicherung eines ausreichenden ökologischen Abflusses
3. **Erhöhung der Resilienz des Agrarsektors:** Anpassung der Bewirtschaftung an den Klimawandel durch Förderung, Forschung und Züchtung klimaangepasster Sorten, Kulturen und Nutztierassen.
4. **Förderung der Biodiversität, Bodengesundheit und nachhaltiger landwirtschaftlicher Praktiken:** Schutz ökologisch wertvoller Agrarlandschaften, Förderung agrarökologischer Praktiken zum Humusaufbau und zur Stärkung der Ökosystemfunktionen von Agrarlandschaften

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Integration von Klimarisiken in Planungs- und Managementinstrumente

- Einbindung von Klimarisiken in den Wassernutzungsplan, den Gesamtbonifizierungsplan und deren Planungs- und Umsetzungsinstrumente, die Tätigkeiten der Bonifizierungskonsortien sowie landwirtschaftlichen Betriebspläne (Governance)
- Integration von Klimafolgen, insbesondere des Konflikts zwischen steigendem Bewässerungsbedarf und abnehmender Wasserverfügbarkeit, in die Bewässerungsplanung; Entwicklung flexibler Planungsprinzipien zur Anpassung an temporäre Witterungsbedingungen (Governance)

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen und Anreize

- Kontinuierliche Überprüfung der Eignung und ggf. Anpassung von (Förder-)Instrumenten im Bereich Landwirtschaft hinsichtlich Klimarisiken und Anpassungserfordernissen (Governance)
- Initiierung von Förderungen und Auflagen zur Wasserbedarfsermittlung, dem Monitoring des Wasserverbrauchs und der Wasserqualität, der Planung der Wasserverfügbarkeit, -speicherung, -reinigung, -wiederverwendung und -einsparung in Abstimmung mit dem Wassernutzungsplan (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Überprüfung von Förderungen und Auflagen mit dem Ziel, die Resilienz der Landwirtschaft zu erhöhen und Risiken zu streuen bzw. zu mindern durch Einbeziehung von Aspekten wie: Diversifizierung des Anbaus; Verwendung von Getreidesorten mit unterschiedlichen Reife- und Aussaatzeiten; Anbau trockenresistenter Pflanzen für die Futtermittelproduktion (Tiefwurzler, z.B. Luzerne und Hirsearten), Umstellung auf klimaresiliente Strukturen und Anbauformen, struktureller Schutz vor Naturgefahren (anstatt wie bisher vorwiegend punktuelle, reaktive Interventionen) (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

- Förderung der langfristigen Kohlenstoffspeicherung im Boden (im öffentlichen und privaten Grün)
(Governance)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Sensibilisierung der Landwirte für Klimarisiken und Anpassung an den Klimawandel durch Auf- und Ausbau bestehender Beratungsdienste, gezielte Informationskampagnen, Workshops und Schulungen (Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Integration von Klimarisiken und Anpassungsmöglichkeiten in landwirtschaftliche Aus- und Weiterbildungsprogramme (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Forschung und Innovation

- Erforschung und Förderung der Züchtung und des Anbaus standortangepasster, klimaresistenter Sorten, Kulturen und Nutztierassen (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Forschung und Entwicklung von effizienten Bewässerungstechniken sowie entsprechend angepasste Standards und Auflagen (Wissensbedarf und Forschung)
- Erweiterung der Anpassungstechniken (Hagelschutz, Vollschutzsysteme mit Schutznetzen etc.) zum Schutz vor Schädlingen und Ernteschäden (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Stärkere strukturelle Ausrichtung des Forschungsschwerpunktes des Versuchszentrums Laimburg auf das Thema Resilienz in der Landwirtschaft und Aufnahme des Themas in die mehrjährigen Zielvereinbarungen mit dem Land (Wissensbedarf und Forschung)
- Intensive Forschung zu agronomischen Standardmaßnahmen (z.B. maßvolle Entlaubung) und zu veränderten Biologie von Schadorganismen an den Klimawandel (Wissensbedarf und Forschung); Forschung zu Schwerpunktthemen: Anpassungspotenziale verschiedener Kulturen und Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Biodiversität; Auswirkungen des Klimawandels auf das Tierwohl und die Produktivität; precision/smart farming für zielgerichtete Bekämpfung neuer Schadorganismen (hot spots); Anreicherung des Bodenstickstoffs und Reduzierung des Einsatzes mineralischer/organischer Düngemittel; Anpassung des Arten- und Sortenspektrums (einschl. von Saatgutmischungen) im Grünland; Kohlenstoffspeicherung in Agrarökosysteme; Nutzungen und Einschränkungen von Agri-PV zur Resilienzsteigerung etc. (Wissensbedarf und Forschung)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Aufbau eines umfassenden Datenerfassungs- und Monitoringsystems als Grundlage für kurzfristige Interventionen und langfristige Untersuchungen (Monitoring und Modelling)
- Identifizierung und Erschließung neuer Absatzmärkte für klimaresilientere Kulturen, Produkte oder Produktionsweisen (Governance)

Anpassung der Tierhaltung an klimatische Veränderungen

- Einhaltung der bestehenden Tierwohl-Mindeststandards bei Neu- und Umbauten von Stallungen sowie Erweiterung dieser Kriterien um eine proaktive Klimakomponente wie z.B. einen Klimaaufschlag (climate-proofing von Infrastruktur) (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Stärkere explizite Berücksichtigung von Klimarisiken wie Hitzestress und Extremereignissen bei Maßnahmen im Bereich Tierwohl und Tiergesundheit (Governance)

Schutz und Förderung der Biodiversität in Agrarökosystemen

- Verstärkte Förderung und Integration entsprechender Mindeststandards für die Umsetzung von Maßnahmen zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, wie z.B. die Anlage von Hecken und Pufferzonen (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Stärkere Berücksichtigung und Gewichtung von Biodiversitätsaspekten bei Landumlegungen (technische und naturbasierte Maßnahmen)

7.4.4 Forstwirtschaft

Übergeordnete Ziele

(→ siehe Kapitel 7.1. „Schutz und die Wiederherstellung von Ökosystemen“)

1. Erhöhung der Resilienz des (Schutz)Waldes gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zur Abfederung biotischer und abiotischer Schäden: Förderung eines aktiven Waldmanagements und Verwendung klimaangepasster Baumarten auf Basis dynamischer Planungsinstrumente (z.B. klimawandelangepasste Walddtypisierung)
2. Erhalt und Verbesserung der Biodiversität in den Wäldern: Erhöhung der Vielfalt in der Baumartenzusammensetzung und der vertikalen Bestandsstruktur zur Steigerung der Resilienz gegenüber Klimarisiken
3. Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen: Verbesserung der Governance-Strukturen und Ausrichtung der forstwirtschaftlichen Bestimmungen und Förderungen an Klimarisiken

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Integration von Klimarisiken in Planungs- und Managementinstrumente

- Einbeziehung von Klimarisiken in strategische Instrumente wie Waldbewirtschaftungspläne, Waldkarteien und Waldbewirtschaftungsstrategien sowie deren regelmäßige Überprüfung und Überarbeitung (Governance)
- Stärkere Integration von Klimarisiken in die Förderinstrumente für waldbauliche Maßnahmen, z.B. durch Ausrichtung auf das Ziel eines vielfältigen, resilienten Waldes (Förderung einer Dauerwaldstruktur sowie einer horizontal und vertikal vielfältigen Struktur) durch eine standort- und klimaangepasste Baumartenwahl und die Anwendung geeigneter Verjüngungsverfahren sowie eine angepasste Holznutzung (z.B. geringe Bestandesöffnung) (Governance, finanzielle Maßnahmen)

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Einrichtung eines sektorübergreifenden Koordinierungsgremiums zur Steuerung der Umsetzung der Wald-Agenda 2030 und klare Zuweisung von Verantwortlichkeiten für deren Ziele und Maßnahmen (Governance)
- Bereitstellung ausreichender finanzieller Mittel, um die Kosten der Waldarbeit zu decken und eine Diversifizierung der Baumartenwahl vor dem Hintergrund sinkender Erträge zu ermöglichen (finanzielle Maßnahmen)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Gezielte Sensibilisierungs- und Mobilisierungsprogramme für hofferne, inaktive Waldbesitzer, um die Wertschätzung des Waldes zu erhöhen und eine aktive Waldbewirtschaftung zu fördern (Governance, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Integration von Klimarisiken und Anpassungsanforderungen in die forstliche Ausbildung und andere forstliche Aus- und Weiterbildungsprogramme (Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Sensibilisierung sowie Aus- und Weiterbildung von aktiven Waldeigentümerinnen und Waldeigentümern (v.a. in der Landwirtschaft) hinsichtlich klimabedingter Anpassungen in der Waldbewirtschaftung (z.B. waldbauliches Erziehungssystem - Erhaltung von Dauerwäldern sowie von Beständen mit vielfältiger Altersstruktur und ausreichender vertikaler Strukturierung, klimaangepasste Baumartenwahl etc.) sowie verfügbarer Förderprogramme (v.a. für den Schutzwald) durch dezentrale, modular

aufgebaute Programme und Integration forstlicher Themen in bestehende Ausbildungsformate (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Forschung und Innovation

- Forschung zu klimarelevanten Themen wie der Kohlenstoffspeicherung in Wäldern, dem Anpassungspotenzial verschiedener Baumarten oder den Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldbiodiversität (Wissensbedarf und Forschung)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Weiterentwicklung der Walddatensystem zur Modellierung der Verschiebung von Waldtypen unter verschiedenen Klimaszenarien als Grundlage für Förderkriterien und die Etablierung klimaresilienter Wälder (Governance, Modellierung und Monitoring)
- Aufbau eines Datenerfassungs- und Monitoringsystems zur Früherkennung von (auch und gerade indirekten und kaskadierenden) Klimastressfaktoren wie z.B. neue Schädlinge und die Anpassungserfordernisse an den Klimawandel (Monitoring und Modellierung)
- Monitoring der Kohlenstoffbilanz des Waldes und der Kartierung von Mooren und Feuchtstandorten im Wald als Grundlage für die Umsetzung von CO₂-Kompensationsprojekten und als Anreiz für eine aktive Waldbewirtschaftung (Modellierung und Monitoring)

Biotische und abiotische Risikofaktoren

Schutzwaldmanagement

- Fortführung, Monitoring und evtl. klimabezogene Anpassung (→ siehe Punkt „Governance“) der seit kurzem bestehenden Förderungen im Bereich des Schutzwaldmanagements zur proaktiven Sicherung der Schutzfunktion und der Wiederherstellung nach Schadensfällen (Governance, finanzielle Maßnahmen)
- Prüfung der Notwendigkeit und Umsetzung von kurzfristigen Verbauungsmaßnahmen nach einer Schädigung von Schutzwäldern und dem Verlust der Schutzfunktion (technische und naturbasierte Maßnahmen)

Effizientes Kalamitätsmanagement

- Zusammenarbeit mit Personen aus dem Generalunternehmen, die vom Land auf Abruf bestellt werden können und z.B. bei Borkenkäferkalamitäten ein rasches Eingreifen ermöglichen, um bei Schäden in der Anfangsphase ad hoc eingreifen zu können (Governance)
- Ermöglichung und Unterstützung der Bildung von Forstbetriebsgemeinschaften zur effizienten Umsetzung von Waldpflegemaßnahmen und gemeinsamen Aufforstungskonzepten mit klimaangepassten Baumarten vor dem Hintergrund der stark zersplitterten Waldbesitzstruktur und häufig fehlender Fachkenntnisse bei Menschen, die nur kleine Waldflächen besitzen (Governance, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Fortführung, Evaluierung und ggf. Anpassung (z.B. Flexibilisierung) bestehender sowie Entwicklung neuer (Förder-)Maßnahmen zur raschen und unbürokratischen Unterstützung der Personen, die Wald besitzen, im Schadensfall zur Behebung der direkten Schäden und damit zur Vermeidung von Folgeschäden unter Einbeziehung wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Schädlingsbekämpfung und ggf. gezielter Beratung/Begleitung durch Forstleute (z.B. durch Sofortmaßnahmen), flankiert durch Kommunikationsmaßnahmen an die Personen, die Wald besitzen und die Gesellschaft (Governance, finanzielle Maßnahmen, Bildung und Bewusstseinsbildung)

Management abiotischer Risiken

- Fortsetzung und Intensivierung der bereits unternommenen Anstrengungen zur Entwicklung, Reaktivierung und Verbesserung der logistischen Zugänglichkeit von Waldbrandbekämpfungsinfrastrukturen (technische und naturbasierte Maßnahmen)

- Entwicklung und Anpassung spezifischer, strategischer und proaktiver Planungsinstrumente für die Waldbrandbekämpfung (flankiert von Strategien zur Sensibilisierung der Personen, die Wald besitzen, für Verhaltensänderungen und Bewirtschaftungsstrategien), einschließlich standortspezifischer Überlegungen zur Förderung feuerresistenter Arten, Notfall- und Interventionspläne sowie Wiederherstellungsmaßnahmen, insbesondere für Gebiete mit ehemaligen Schutzfunktionen oder wichtigen Ökosystemleistungen (Governance)

Biodiversität und Verschiebung der Waldtypen

Klima- und standortangepasste Baumarten

- Sicherstellung einer ausreichenden Produktion von klimaangepassten Jungpflanzen in Forstgärten (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen, finanzielle Maßnahmen)
- Abschätzung der Auswirkungen der sich ändernden Baumartenzusammensetzung auf die Holz- und Sägeindustrie und frühzeitige Einrichtung von Koordinationsgremien und politischen Unterstützungsmaßnahmen. (Wissensbedarf und Forschung, Bildung und Bewusstseinsbildung)

Regulierung der Schalenwildpopulation

- Verstärkte Bemühungen um eine einvernehmliche und gegenseitig verständnisvolle Zusammenarbeit zwischen Forst und Jagd und Schaffung besonderer Anreize zur Anpassung der Schalenwildbestände (Governance, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Stärkere Berücksichtigung waldbaulicher Parameter bei der Zielgrößenbestimmung in der Abschussplanung bei gleichzeitiger Einführung alternativer, effektiver Jagdmethoden und Verbesserung der jagdlichen Infrastruktur (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

Förderung der Biodiversität

- Laufende Überprüfung der Strategien zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität vor dem Hintergrund eines sich ändernden Klimas, z. B. durch ein ausgewogenes Verhältnis von Naturverjüngung und künstlicher Verjüngung beim proaktiven Waldumbau oder zwischen bewirtschafteten und naturnahen Wäldern (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Gezielte Zusammenarbeit mit Landwirtschaft und Naturschutz zur Stärkung der Biodiversität an Waldrändern oder zur Vernetzung von Waldinseln (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Entwicklung von Strategien zur Bekämpfung invasiver Arten (u.a. in der Bodenvegetation) und zur Erhaltung der Waldbiodiversität sowohl bei punktueller als auch bei flächiger Ausbreitung von Neophyten, z.B. nach großflächigen Kalamitäten; Prüfung der Notwendigkeit und der Auswirkungen einer begleiteten Einwanderung nicht heimischer Baumarten (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen, Wissensbedarf und Forschung)
- Stärkere Priorisierung von Biodiversitätsaspekten (z.B. Baumartendiversifizierung) bei der Bewältigung von Schadereignissen im Schutzwald (Wiederbewaldung zur Wiederherstellung der Schutzfunktion und der Wasserspeicherkapazität)

7.4.5 Gesundheit

Übergeordnete Ziele

1. **Integration von klimabedingten Gesundheitsrisiken in sektorale und übersektorale Planung:** Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Berücksichtigung von umwelt- und klimabedingten Risiken in allen Politikbereichen
2. **Aufbau eines resilienten Gesundheitssystems:** Sicherstellung einer flächendeckenden Gesundheitsversorgung durch die Anpassung der Gesundheitsinfrastruktur an direkte und indirekte Klimarisiken
3. **Monitoring, Forschung und Sensibilisierung für klimabedingte Gesundheitsrisiken:** Unterstützung von Sensibilisierungsinitiativen zur Prävention klimabedingter Gesundheitsrisiken und zum Schutz der öffentlichen Gesundheit

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Integration von Klimarisiken in Planungs- und Managementinstrumente

- Umfassende und konsequente Umsetzung des Beschlusses der Landesregierung Nr. 2023/862 zur Errichtung des Systems zur Prävention umwelt- und klimabedingter Gesundheitsrisiken auf Landesebene zur systematischen Anwendung des One-Health-Ansatzes; Verknüpfung von Gesundheits- und Klimapolitik; Integration klimabedingter Gesundheitsrisiken in andere Sektoren (health policy mainstreaming) (Governance)
- Stärkere Einbeziehung der durch Umweltzerstörung und Klimawandel bedingten Gesundheitsrisiken in langfristige strategische Instrumente des Gesundheitssektors wie den Landesgesundheitsplan und in Instrumente zu dessen Operationalisierung wie die Gesundheitsverträglichkeitsprüfung von Gesetzen und Plänen (Governance)
- Stärkere Verzahnung der sektoralen Politiken durch Einbeziehung von Gesundheitsrisiken, z. B. durch Stärkung des Zusammenhangs zwischen Raumplanung und Gesundheit, und Berücksichtigung von Fragen der sozialen Benachteiligung (Governance)
- Stärkung der Reaktionsfähigkeit des Risikomanagements durch Integration von Klimarisiken in die Ausbildung der Einsatzorganisationen und in die entsprechenden Einsatz- und Notfallpläne (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Stärkung der sektorübergreifenden Zusammenarbeit bei der Entwicklung und Umsetzung sektoraler und sektorübergreifender Anpassungsmaßnahmen durch die Einrichtung sektorübergreifender Komitees und die konsequente Integration von Gesundheitsaspekten in bestehende Koordinierungsgremien (Governance)
- Regelmäßige Aktualisierung der sektoralen Planungsinstrumente auf der Grundlage der Ergebnisse eines einzuführenden Systems zur Überwachung der Klimaauswirkungen und neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse (Governance, Monitoring und Modelling)
- Stärkung der überregionalen Zusammenarbeit und des Erfahrungsaustausches zur Früherkennung und Bekämpfung von klimabedingten Infektionskrankheiten (Governance)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Ausrichtung der Aus- und Weiterbildungsprogramme für das Gesundheitspersonal am One-Health Ansatz, unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Umwelt, Klima und Gesundheit von Mensch und Tier (Bildung und Bewusstseinsbildung, Governance)
- Aufklärungsprogramme für gefährdete Personengruppen über den Umgang mit Hitze- und Kältewellen in Verbindung mit Frühwarnsystemen und der Bereitstellung angemessener Infrastrukturen und Kapazitäten im Gesundheitssektor (Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Aufklärungsprogramme für die Zivilgesellschaft und die Such- und Rettungsdienste über die Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf die Sicherheit bei Aktivitäten im alpinen Gelände und die Integration von Extremereignissen in die Einsatzpläne (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Forschung und Innovation:

- Förderung von Forschungsprojekten zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Gesundheit, einschließlich der psychischen Folgen (Wissensbedarf und Forschung)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Digitalisierung von Gesundheitsdaten für Forschungszwecke und Aufbau eines umfassenden Gesundheitsmonitorings zur kontinuierlichen Beobachtung und Analyse klimarelevanter Auswirkungen auf die menschliche und tierische Gesundheit unter besonderer Berücksichtigung des Auftretens klimabedingter Infektionskrankheiten (Wissensbedarf und Forschung, Monitoring und Modelling)
- Analyse von Klima- und Mortalitätsdaten und Einführung einer spezifischen Überwachung und eines Registers der hitzebedingten Übersterblichkeit (Monitoring und Modelling)

Sicherstellung der Gesundheitsversorgung

Resiliente Gesundheitsinfrastrukturen

- Verbesserung der Resilienz der Gesundheitsinfrastruktur durch den Ausbau und die Modernisierung von Krankenhäusern und Gesundheitszentren; Berücksichtigung direkter und indirekter Klimarisiken bei der Planung und Dimensionierung von Gesundheitseinrichtungen einschließlich ihrer primären Infrastruktur, z.B. Anpassung der Gebäude an extreme Wetterereignisse (technische und naturräumliche Maßnahmen); besonderer Schutzstatus von Gesundheitsinfrastruktur in der Gefahrenzonenplanung (Governance)
- Kapazitätsanpassungen aufgrund veränderter Tourismusströme und erhöhter Unfallgefahren durch Naturgefahren oder Hitze im Freien; Berücksichtigung von zeitlich und räumlich fokussierten Tourismusströmen bei der Dimensionierung und räumlichen Positionierung von Gesundheitseinrichtungen (Governance)
- Förderung einer dezentralen, flächendeckenden Gesundheitsversorgung durch den Ausbau telemedizinischer Dienste und flexibler, mobiler Gesundheitseinheiten, insbesondere in abgelegenen und von Klimarisiken besonders betroffenen Gebieten (Governance)

Förderung präventiver, ganzheitlicher Gesundheitsmaßnahmen

- Konsequente Integration von Gesundheitsaspekten, insbesondere des Risikos von Hitzewellen, in die Instrumente der Raum- und Stadtplanung (z.B. durch die Schaffung von blauer oder grüner Infrastruktur) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen sozialen Bedingungen. Stärkere Berücksichtigung naturbasierter Lösungen im Gesundheitsmanagement (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für die Integration von Klimarisiken und partizipativen Elementen in die Infrastruktur- und Umwelplanung für vulnerable Bevölkerungsgruppen. (Governance, Bildung und Bewusstseinsbildung)

- Entwicklung von Szenarien und Maßnahmen für Ad-hoc-Interventionen in Krisenzeiten, z.B. für die Versorgung vulnerabler Personengruppen bei extremen Hitzeperioden, die Intervention bei immer häufiger auftretenden Großwetterereignissen oder die Erstellung von Interventions- und Notfallplänen, z.B. durch Kooperationen mit im Krisenfall abrufbaren Dienstleistern (Governance, Wissensbedarf und Forschung)
- Stärkere Einbeziehung von Klimarisiken in die Tiergesundheits- und Lebensmittelhygienevorschriften und Berücksichtigung ihrer Auswirkungen auf die Erzeugung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs (Governance, Wissensbedarf und Forschung)

7.4.6 Tourismus

Übergeordnete Ziele

1. **Anpassung der Tourismusinfrastruktur und -angebote an Klimarisiken:** Verbesserung der Resilienz der Tourismusinfrastruktur und Diversifizierung der Tourismusangebote
2. **Verbesserung der Governance-Strukturen und institutionellen Rahmenbedingungen:** Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Verbesserung der Koordination zwischen verschiedenen Akteuren im Tourismussektor
3. **Management der Tourismusflüsse:** Steuerung der Tourismusflüsse zur Vermeidung von Spitzenbelastungen für Infrastrukturen und die lokale Bevölkerung

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Integration von Klimarisiken in touristische Planungs- und Managementinstrumente

- Verankerung der Stärkung der Resilienz als wesentliches Ziel der touristischen Entwicklung und Integration entsprechender Kriterien in die touristischen Förderinstrumente der Provinz (Governance, finanzielle Maßnahmen)
- Stärkere Ausrichtung der strategischen Programme der Tourismusorganisationen auf Klimaschutz, Klimarisiken und Klimaanpassung. Festlegung entsprechender Mindestinhalte durch die Provinz, die partizipativ und entsprechend den lokalen Gegebenheiten erweitert und angepasst werden können (Governance)
- Planung und Dimensionierung touristischer Infrastrukturen im Hinblick auf Klimawandel und Extremereignisse (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Entwicklung von Förderprogrammen und finanziellen Anreizen auf Betriebs-, Dienstleister- und Destinationsebene zur Unterstützung der Evaluierung der Vulnerabilität und Exposition der touristischen Strukturen und entsprechender Klimaanpassungsmaßnahmen im Tourismussektor, etwa über die Einrichtung eines Resilienzfonds und auf Basis eines Monitoringsystems (finanzielle Maßnahmen)
- Entwicklung neuer und Erweiterung bestehender langfristiger regionaler und lokaler Planungsinstrumente für Vulnerabilitäts- und Expositionsanalysen in Bezug auf Klimarisiken, Makrotrends und kurz- und langfristige Anpassungsmaßnahmen unter Einbeziehung der lokalen Bevölkerung und Verbände (Governance, Monitoring und Modelling, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Regelmäßige Aktualisierung der Tourismusstrategien auf Provinz- und Gemeindeebene sowie Überprüfung der Inhalte auf Basis der Monitoringergebnisse (Governance)

- Regelmäßige Aktualisierung der Tourismusstrategien auf Provinz- und Gemeindeebene sowie inhaltliche Überarbeitung auf Basis der Monitoringergebnisse (Governance)
- Entwicklung sektoraler Strategien zur Wassereinsparung bzw. zum strukturellen Umgang mit Wasserknappheit, einschließlich kurzfristiger Interventionsmöglichkeiten zur Steuerung des Wasserverbrauchs im Tourismussektor bei Wasserknappheit; Aufnahme entsprechender Kriterien in (Bau-)Auflagen und Förderinstrumente (Governance)
- Einführung von Instrumenten zur lang- und kurzfristigen Steuerung von touristischen Strömen unter Einbeziehung von Monitoringergebnissen mit dem Ziel, flexible touristische Ströme sowie ein dynamisches Hotspot-Management zu ermöglichen (Governance, Monitoring und Modelling)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Entwicklung von Sensibilisierungskampagnen zu Anpassungserfordernissen und -möglichkeiten für Betriebe, Dienstleister und Destinationen (Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Sensibilisierungskampagnen und Handlungsanleitungen für Bevölkerung und Gäste zur Stärkung der Eigenvorsorge und Eigenverantwortung gegenüber Sicherheitsrisiken durch extreme Wetterereignisse und zunehmende hydrogeologische Risiken (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Forschung und Innovation

- Forschungsprojekte zu Vulnerabilitäts- und Expositionsanalysen sowie Anpassungspotenzialen von Tourismusinfrastrukturen an den Klimawandel (Wissensbedarf und Forschung)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Entwicklung eines sektorübergreifenden Monitoringsystems für touristische Ströme und Ressourcenverbräuche. Ableitung langfristiger Trends und Wirkungsabschätzung und Simulation geplanter bzw. umgesetzter Anpassungsmaßnahmen auf Betriebs- und Destinationsebene (Monitoring und Modelling, Bildung und Bewusstseinsbildung)

Resilienz des touristischen Angebotes

Sicherstellung der Resilienz der öffentlichen und touristischen Infrastruktur

- Bewertung und Verbesserung der Resilienz der touristischen Infrastruktur durch Ausbau und Modernisierung bestehender Einrichtungen zum Schutz vor klimatischen Extremereignissen und zur Anpassung an klimabedingte Makrotrends, wie z.B. die Konzentration von Tourismusströmen auf schneesichere Gebiete, z.B. durch Einführung entsprechender Förderungen auf Betriebs- und Destinationsebene (etwas über Bezirksgemeinschaften), Mindeststandards im Rahmen von Zertifizierungen oder infrastrukturelle Neu- und Ausbaumaßnahmen (Monitoring und Modelling, Wissensbedarf und Forschung, technische und naturbasierte Maßnahmen, Governance)
- Berücksichtigung von Naturgefahren in der künftigen Planung von Infrastrukturen (Governance)
- Vermeidung der Ausbreitung in Gebiete außerhalb der Siedlungsgrenzen zur Verringerung des Flächenverbrauchs und der Exposition gegenüber erhöhten Restrisiken (Governance)
- Schaffung von Anreizen und Auflagen für den Einsatz erneuerbarer Energien und die Errichtung von Speicherinfrastrukturen in touristischen Einrichtungen zur Reduzierung des täglichen und saisonalen Stromspitzenbedarfs (finanzielle Maßnahmen)
- Proaktive Bewertung und gegebenenfalls Erhöhung der Kapazität und des Angebots der Mobilitätsinfrastruktur auf der Grundlage der Verlagerung der Tourismusströme (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Anpassung der Katastrophenschutzpläne und der Ressourcenzuweisung an die Verlagerung der Touristenströme (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

Risikominderung durch Diversifizierung

- Verankerung des Ganzjahrestourismus auf einem verträglichen Niveau als wesentliches Ziel in den Provinz- und Gemeindeplanungs- und -finanzierungsinstrumenten sowie in den IDM-Leitlinien zur Entflechtung der Tourismusströme und zur Vermeidung von zeitlichen und räumlichen "Hotspots" (Governance, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Diversifizierung des touristischen Angebots durch Entwicklung und Vermarktung zusätzlicher bzw. alternativer Tourismusformen sowie Anpassung, Umbau und Neuausrichtung vorhandener Infrastrukturen und Aktivitäten; Verankerung entsprechender Grundsätze als Schwerpunkt der IDM und der regionalen und lokalen Tourismusorganisationen sowie in den Förder- und Finanzierungsinstrumenten (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Vulnerabilitäts- und Expositionsanalyse zur Identifizierung von Gebieten mit geringer Schneesicherheit, um infrastrukturelle Fehlanpassungen zu vermeiden und das touristische Angebot frühzeitig auf Sommer- und Nebensaison Tourismus auszurichten (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Flexibilisierung der touristischen Dienstleistungen und Diversifizierung der Nutzung der touristischen Infrastruktur durch Integration saisonaler und temporärer Angebote zur Anpassung an die schwankende touristische Nachfrage (technische und naturbasierte Maßnahmen)

7.4.7 Siedlungen, Infrastruktur und Kulturgüter

Übergeordnete Ziele

(→ siehe Kapitel 7.1. „Schutz von kritischer Infrastruktur“)

1. **Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen:** Verankerung von Risikominderung und Anpassung an den Klimawandel in der Raumplanung (mainstreaming)
2. **Förderung naturbasierter und multifunktionaler Lösungen in der Raum- und Infrastrukturplanung:** Förderung transformativer Lösungen zur Risikominderung in verschiedenen Sektoren
3. **Vermeidung der Bodenversiegelung und Steuerung entsprechender Nutzungskonflikte:** Netto-Null-Versiegelung als Planungsziel und entsprechende Ausrichtung der Raumplanungsinstrumente

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Integration von Klimarisiken in Planungs- und Entscheidungsprozesse

- Stärkung der Raumplanung in ihrer (querschnittsorientierten) Bedeutung und Verankerung von Klimaschutz und Klimaanpassung sowie des Resilienzprinzips in Gesetzen, Verordnungen, Durchführungsverordnungen und Fachplänen auf allen politischen Ebenen, insbesondere in den bestehenden Fachstrategien (=mainstreaming) (Governance)
- Stärkere Berücksichtigung des Klimawandels bei der Planung von Gefahrenzonen und stringenter Verankerung des Prinzips des Restrisikos in den Nutzungsaufgaben (→ siehe Kapitel *Risikomanagement*) (Governance)
- Erweiterung des Fokus der bereits stark institutionalisierten Landschaftsplanung mit ihren bereits vorhandenen Instrumenten wie Genehmigungspflichten für Eingriffe, Stellungnahmerechte von Kommissionen, Nutzungsbeschränkungen auf Provinz- und Gemeindeebene oder

Unterschützstellung von Flächen und Strukturen um Aspekte der Klimarisiken und der Anpassung an den Klimawandel (Governance)

- Einbeziehung von Klimarisiken in die Kostenkalkulation, die Bewertungskriterien und die Genehmigung von Infrastrukturprojekten (Governance, finanzielle Maßnahmen)

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Einführung (und flächendeckende Umsetzung auf Basis der Strategie der Provinz) eines „Klimachecks“ als zentrales Instrument zur Klimaprüfung von Raumordnungsplänen, um die Kompatibilität kommunaler Instrumente (z.B. Gemeindeentwicklungsprogramm) mit standardisierten und verbindlichen Vorgaben und Mindestinhalten auf Landesebene sicherzustellen (Governance)
- Erhöhung der Verbindlichkeit kommunaler strategischer und operativer Instrumente (z.B. Gemeindeentwicklungsprogramm für Raum und Landschaft (GProRL), Landschaftspläne und Durchführungspläne etc.) hinsichtlich der Integration von Klimarisiken und Klimawandelanpassung; finanzielle, personelle und fachliche Unterstützung bei der Erarbeitung spezifischer kommunaler Anpassungsstrategien, wie in den europäischen Vorgaben vorgesehen (Governance)
- Stärkere Betonung der interkommunalen Planungsebene in der Raumplanung zur Umsetzung ganzheitlicher, von Gemeindegrenzen unabhängiger Lösungsansätze im Freiraum- und Naturgefahrenmanagement (Governance)
- Dynamische und regelmäßige Überprüfung und Anpassung raumplanerischer Festlegungen, Planungs- und Entscheidungsprozesse vor dem Hintergrund sich ändernder klimatischer Bedingungen und neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, um fehlangepasste Strukturen mit hoher zeitlicher Persistenz zu vermeiden (Governance)
- Bereitstellung ausreichender finanzieller und personeller Mittel zur Planung und Umsetzung anpassungsrelevanter Maßnahmen in der Raumplanung und Infrastrukturentwicklung (finanzielle Maßnahmen, Governance)
- Stärkung der sektorübergreifenden Zusammenarbeit bei raumplanerischen Entscheidungsprozessen und Verankerung der Raumplanung in den entsprechenden Gremien und Ausschüssen (Governance)
- Siehe allgemeine Empfehlungen zu *Governance*: Mindestvorgaben (z.B. Leitlinien zur Erstellung des GProRL) vs. Flexibilität zur Berücksichtigung der Divergenzen zwischen Stadt und Land (Governance)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Durchführung von Bildungs- und Sensibilisierungsmaßnahmen zur Förderung des Bewusstseins für die sektorübergreifende Bedeutung der Raumplanung bei der Anpassung an den Klimawandel (und umgekehrt) (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Forschung und Innovation

- Forschung zu klimarelevanten Themen wie der Resilienz von Infrastrukturen, der Anpassungspotenziale verschiedener Baumaterialien und der Auswirkungen des Klimawandels auf die Raum- und Gefahrenzonenplanung (Wissensbedarf und Forschung)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Aufbau eines kontinuierlichen Monitoringsystems zur Überprüfung der Wirksamkeit der durchgeführten Anpassungsmaßnahmen und zur frühzeitigen Erkennung von Anpassungsbedarf (Monitoring und Modelling)

Klimafitte Siedlungsstrukturen

Grün- und Freiraumplanung

- Berücksichtigung des Prinzips der „maßvollen Verdichtung“ bei der Festlegung der Siedlungsdichte als Balance zwischen der Begrenzung der Zersiedelung durch kompakte Siedlungsstrukturen und der

proaktiven Freihaltung anpassungsrelevanter Flächen (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

- Frühzeitige Freihaltung, Bereitstellung und Priorisierung von (zukünftig) anpassungsrelevanten Flächen und Strukturen wie grüne und blaue Infrastruktur, Retentionsflächen oder Frischluftschneisen in (inter)kommunalen Planungsinstrumenten und -kriterien und Integration von Klimarisiken in entsprechende Bedarfsberechnungen (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Stärkung der Relevanz naturbasierter Lösungen für das Management von Klimarisiken in Siedlungsgebieten und Verfolgung einer entsprechenden Orts- und Stadtplanung (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

Gebäuderesilienz und Bodenschutz

- Konsequente und verbindliche Ausrichtung der strategischen kommunalen Planungsinstrumente auf den Schutz der Ressourcen Boden und Wasser, insbesondere auf das Ziel der Netto-Null-Versiegelung bis 2040 (z.B. konsequente Umsetzung der Siedlungsbegrenzungen z.B. in Bezug auf die touristische Entwicklung im Gemeindeentwicklungsprogramm), wie im Strategieplan der Provinz und den entsprechenden Aktionsprogrammen verankert (Governance)
- Verschärfung der Vorschriften zur Reduzierung der Bodenversiegelung durch Verankerung in den operativen Planungsinstrumenten der Gemeinden (z.B. Gemeindeplan für Raum und Landschaft) und Ausdehnung der Verpflichtung zum Bodenschutz auf alle Nutzungsgruppen (Haushalte, Gewerbe etc.) (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Naturangepasstes Bauen und stärkere Förderung und Berücksichtigung der Verpflichtung zum Einsatz naturbasierter Lösungen zur Verbesserung der Resilienz bei Neubauten und im Gebäudebestand, wie z.B. Dach- und Fassadenbegrünungen, und Aufnahme entsprechender Kriterien in die Bauauflagen des geförderten Wohnungsbaus (technische und naturbasierte Maßnahmen, finanzielle Maßnahmen, Governance) (→ siehe Maßnahmenbündel „Integriertes Hochwassermanagement in Kapitel 7.4.10)
- Konsequente Umsetzung provinzieller und kommunaler Instrumente zur Entsiegelung (z.B. Entsiegelungsoffensive oder Aktionsplan Bodenversiegelung des Strategieplans der Provinz) bzw. Rückgewinnung versiegelter und degradierter Flächen (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen) (→ siehe Maßnahmenbündel „Integriertes Hochwassermanagement in Kapitel 7.4.10)

Flächennutzung und Nutzungskonflikte

- Schutz sowie Prüfung der Wiederherstellung und Neuschaffung von Naturräumen mit wichtigen Anpassungsfunktionen, die ggf. die Aufgabe bisheriger Nutzungen erfordern (z.B. Aufweitung von Fließgewässern mit Schaffung natürlicher Retentionsflächen), bei gleichzeitiger Minderung und Moderation von (Land-)Nutzungskonflikten durch partizipative Prozesse. Die Erhaltung der Ökosysteme muss jedoch Vorrang haben (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen) (→ siehe Kapitel 7.4.10.)
- Umsetzung von Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung (Berücksichtigung der demographischen Entwicklung und der Bedürfnisse der verschiedenen Generationen) und zum Abbau sozialer Ungleichheiten, die durch die Schaffung von Grün- und Freiflächen entstehen können (Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Begleitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Bodenversiegelung durch Sensibilisierungs- und Kompensationsmaßnahmen sowie partizipative und inklusive Prozesse zur Moderation von Interessen und Vermeidung von Nutzungskonflikten

Anpassung der Infrastrukturplanung an klimatische Veränderungen

- Verstärkte Berücksichtigung zukünftiger Klimabedingungen bei der Planung von Verkehrsinfrastrukturen zur proaktiven Anpassung an Klimarisiken (climate-proofing), insbesondere bei den funktionalen und geometrischen Standards für Planung, Bau und Instandhaltung von Infrastrukturen sowie bei

den Kriterien für die Erneuerung oder Revision von Seilbahnkonzessionen (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

- Berücksichtigung des Klimaeinflusses bei der Planung und Dimensionierung von Wasser- und Abwasserinfrastrukturen und anderen kritischen Infrastrukturen (z.B. Energie, → siehe *Kapitel 7.4.8*) (technische und naturbasierte Maßnahmen)

Kulturelles Erbe

- Berücksichtigung von Klimarisiken in den Planungs- und Bewertungskriterien des Ensemble- und Denkmalschutzes für besonders gefährdete Strukturen bei Extremwetterereignissen (Governance)
- Weiterentwicklung von Maßnahmen zum Schutz von Kulturgütern, u.a. Durchführung von Erosionsschutzmaßnahmen und Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens in gefährdeten Gebieten zum Schutz kulturell wertvoller Güter und Strukturen (technische und naturbasierte Lösungen)

7.4.8 Energie

Übergeordnete Ziele

1. **Sicherstellung der Energieversorgung und -sicherheit in Südtirol durch Anpassung an Klimarisiken:** Verbesserung der Resilienz der Energieinfrastruktur, Förderung erneuerbarer Energien und Implementierung energieeffizienter Technologien
2. **Verbesserung der Governance-Strukturen und der institutionellen Rahmenbedingungen:** Stärkere Ausrichtung der rechtlichen Rahmenbedingungen auf Klimarisiken und Verbesserung der horizontalen und vertikalen Koordination
3. **Förderung der Forschung und Erweiterung der Datenbasis:** Unterstützung von Forschungsprojekten und Datenerhebungen zur Entwicklung von Szenarien als Grundlage für proaktive Anpassungsmaßnahmen

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Integration von Klimarisiken in Planungs- und Managementinstrumente

- Stärkere Berücksichtigung der lokal spezifischen (zukünftigen) Auswirkungen klimatischer Einflüsse auf die Versorgungssicherheit bei der Planung und Dimensionierung sowie Instandhaltung von Netzinfrasturkturmaßnahmen (z.B. Abwägung Freileitung vs. Erdkabel etc.) (Governance, Monitoring und Modelling)
- Erweiterung des bisherigen Fokus auf reaktive Maßnahmen im Naturgefahrenmanagement zur proaktiven Erhöhung der Resilienz des Energiesystems über die Vorgaben der Gefahrenzonenplanung hinaus (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Integration der Klimarisiken und der damit verbundenen möglichen Systemkosten in die Investitionsplanung des Energiesystems mit Bereitstellung entsprechender Mittel, z.B. durch einen Resilienzfonds (finanzielle Maßnahmen)
- Anpassung der Kriterien und Laufzeiten der Konzessionsvergabe für Energieprojekte an die neuen klimatischen Bedingungen (Governance)
- Stärkere Verankerung von energetischen Fragestellungen in Bestimmungen der Raumplanung zur räumlichen und strategischen Planung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (Energieraumplanung) (Governance)

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Stärkere vertikale Koordination aufgrund der komplexen Kompetenzverteilung sowie mit den Nachbarregionen (Governance)
- Zusammenarbeit mit regionalen und überregionalen Energieversorgungs- und Verteilungsunternehmen zur frühzeitigen Adressierung von Risiken für die Versorgungssicherheit (Governance)
- Erarbeitung von Notfallplänen und Verfahren bei durch Extremereignisse und durch Wassermangel eingeschränkte Energieproduktion, inklusive Frühwarnsystemen zur Änderung des Verbraucherverhaltens und der frühzeitigen Priorisierung von Nutzungen, begleitet von Maßnahmen zur Vermeidung von Nutzungskonflikten (Governance)
- Entwicklung von Szenarien und Handlungsanweisungen zum Umgang mit Blackouts, die durch Extremereignisse, Produktions- oder Nachfrageschwankungen ausgelöst werden (Governance, Monitoring und Modelling)
- Verstärkte Ausrichtung der existenten Förderinstrumente zur Energieeffizienzsteigerung sowie der entsprechenden Kriterien am Aspekt der Gebäudekühlung und der Minderung des Kühlbedarfs, etwa durch die Erweiterung und Neuausrichtung des Klimahaus-Instrumentes (Governance, finanzielle Maßnahmen)
- Überprüfung und Erhöhung der Kohärenz des bestehenden Fördersystems mit Prinzipien der Klimaresilienz (Governance, finanzielle Maßnahmen)
- Verstärkte Integration von Aspekten des Kühlbedarfs in Bestimmungen der Gebäudeplanung, vor allem von nicht-Wohngebäuden (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Regelmäßige Überprüfung und Überarbeitung der Investitionspläne, der rechtlichen Bestimmungen und der Konzessionskriterien vor dem Hintergrund sich ändernder klimatischer Eigenschaften und wissenschaftlichen Erkenntnissen (Governance, finanzielle Maßnahmen)
- Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der sozialen Ungleichheit, welche sich z.B. durch steigende Energiekosten ergeben
- Überprüfung der teils restriktiven provinziellen Bestimmungen im Bereich der erneuerbaren Energien (z.B. Agri-PV, Windkraft) vor dem Hintergrund klimatischer Auswirkungen auf die primäre Energiequelle Wasserkraft und Aspekten der Versorgungssicherheit, unter frühzeitiger Berücksichtigung von Konflikten mit anderen Sektoren und Nutzungskonflikten (Governance)
- Stärkere Fokussierung der existenten Förderinstrumente auf den Ausbau erneuerbarer Energien, vor allem für von Wasserknappheit betroffene Gebiete (Governance, finanzielle Maßnahmen)
- Etablierung von Koordinationsgremien zur Integration von systemischen Energiemanagementmaßnahmen in verschiedene Sektoren (Governance)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Bildungs- und Sensibilisierungsmaßnahmen bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem und der Verantwortung der Verbraucherinnen und Verbraucher (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Forschung und Innovation

- Verstärkte Untersuchung der möglichen Synergien zwischen Mitigation und Adaption im Energiebereich und Umsetzung entsprechender (Pilot)Maßnahmen, wie z.B. im Bereich der Agri-PV (Wissensbedarf und Forschung, Governance)
- Evaluierung der Rolle der Energiegemeinschaften in der Stärkung der Versorgungssicherheit und Umsetzung entsprechender Kommunikationsmaßnahmen und Anreize (Wissensbedarf und Forschung, Governance)

Verbesserung der Daten- und Wissensbasis

- Spezifische Risikobewertung und Analyse der langfristigen Auswirkungen klimatischer Änderungen auf die Versorgungssicherheit und das Energiesystem sowie entsprechende zeitliche und örtliche Simulationen der Dimensionen Energieerzeugung, -verteilung und -verbrauch als Grundlage für proaktive Interventionsmaßnahmen, vor allem hinsichtlich schnee- und gletscherabhängiger Wasserkraftsysteme (Monitoring und Modellierung)
- Erstellung eines Modells zur besseren Vorhersage und Bewältigung von Energieknappheit als Basis für kurzfristige Interventionsmaßnahmen (Monitoring und Modelling)

Resiliente Energiesysteme

Resiliente Energieübertragungsinfrastruktur

- (Überregionale) Aufweitung und Modernisierung von Stromnetzen zur Resilienzsteigerung, etwa durch die ringförmige Strukturierung von Stromnetzen (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Erhöhung der Flexibilisierung der Energienachfrage durch Lastmodulation auf regionaler Ebene und der Verringerung von Lastspitzen aufgrund des steigenden Kühlbedarfs (technische und naturbasierte Maßnahmen, Bildung und Bewusstseinsbildung)

Sicherstellung der Energieversorgung

- Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen zur Verringerung der Energienachfrage von Haushalten, Unternehmen und dem öffentlichen Sektor durch Vorschriften in der Bebauungsplanung, unter Berücksichtigung sozialer Aspekte (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Verstärkte Umsetzung von Effizienzsteigerungsmaßnahmen im Bereich der Produktionsanlagen (z.B. Repowering) (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Flexibilisierung der Energienachfrage und Anpassung an variable Energieverfügbarkeiten, etwa durch Sektorkopplung oder die Förderungen und Errichtung von Kurz- und Langzeitspeichern (technische und naturbasierte Maßnahmen)

Effizienteres Management der (Energie)Infrastruktur

- Förderung oder Verpflichtung zur Mehrfachnutzung von Speicherbecken und Festlegung von Notfallmechanismen in Zeiten von Wassermangel (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Prüfung des (langfristigen) Bedarfs an neuen und Bewertung bestehender Speicherinfrastrukturen zur Anpassung an sich ändernde hydrologische Zyklen und zur kurzzeitigen bis saisonalen Speicherung bzw. Dämpfung von Schwankungen im Wasserdargebot (technische und naturbasierte Maßnahmen, Wissensbedarf und Forschung)

7.4.9 Wirtschaft

Übergeordnete Ziele

1. **Erhöhung der Klimawandelresilienz in Unternehmen:** Förderung von Anpassungsstrategien, Sensibilisierung und technische Unterstützung für Unternehmen zur Bewältigung klimabedingter Herausforderungen
2. **Förderung nachhaltiger Wirtschaftsstrukturen:** Entwicklung von Kreislaufwirtschaftsmodellen, nachhaltigen Lieferketten und naturbasierten Lösungen
3. **Verbesserung der Infrastruktur und Notfallplanung:** Sicherstellung der betrieblichen Kontinuität durch robustere Infrastrukturen und effektive Notfallpläne

Maßnahmenbündel und Empfehlungen

Governance

Stärkung der institutionellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen

- Förderung von Maßnahmen zur Wassereffizienz und -einsparung in Unternehmen (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Einrichtung eines Fonds zur Unterstützung von Unternehmen bei der Durchführung von (Klima-)Risiko- und Vulnerabilitätsanalysen sowie der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen (Governance, finanzielle Maßnahmen)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Sensibilisierung von Unternehmen (insbesondere KMU) für Klimarisiken und deren Auswirkungen auf Geschäftsmodelle, einschließlich Best-Practice-Beispielen zur erfolgreichen Risikominderung, durch die Einrichtung eines Beratungsdienstes zur Erstellung von Wesentlichkeits- (CSRD: Corporate Sustainability Reporting Directive) und Klimarisikoanalysen (EU-Taxonomie for sustainable activities) (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Anpassung der Arbeitsbedingungen und Betriebszeiten an Klimarisiken

- Anpassung der Arbeitszeiten an klimatische Bedingungen, um Hitzebelastungen zu minimieren (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Einführung von hitzefreien Tagen und Bereitstellung von ausreichend Schatten und Trinkmöglichkeiten (technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Anpassung von Arbeitsplätzen, insbesondere durch Klimatisierung und verbesserte Entwässerungssysteme (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Entwicklung flexibler, innovativer Arbeits(zeit)-Modelle, die an die klimatischen Extreme oder die Auswirkungen von Extremereignissen angepasst sind (Governance)

Förderung nachhaltiger Lieferketten und Kreislaufwirtschaft

- Aufbau lokaler Lieferketten und Kreislaufwirtschaftsmodelle, um Abhängigkeiten und indirekte Klimarisiken zu verringern (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Durchführung branchenspezifischer Risikoanalysen für Lieferketten und Entwicklung von Diversifizierungsstrategien und flexibler Logistik (Monitoring und Modelling, Governance)
- Einführung von Klimastresstests für Banken und andere Finanzinstitute (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Einführung von Standards zur transparenten Kommunikation der möglichen Klimarisiken gegenüber Kunden und Zulieferern (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Verbesserung der Notfallplanung

- Ausarbeitung und Implementierung betrieblicher Notfallpläne zur schnellen Reaktion auf klimabedingte Ereignisse (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Entwicklung und Förderung von Versicherungsinstrumenten gegen klimabedingte Schäden (Governance)

7.4.10 Risikomanagement

Übergeordnete Ziele

1. **Verfolgung eines integralen Ansatzes im Risikomanagement:** Identifizierung von integralen Maßnahmen entlang aller Phasen des Risikokreislaufs zur strukturellen Stärkung des Naturgefahrenmanagements, u.a. unter Berücksichtigung und Umsetzung der Handlungsempfehlungen aus dem Forschungsprojekt X-Risk-CC von Eurac Research
2. **Stärkung des Instrumentes der Gefahrenzonenplanung:** Zur proaktiven Klimarisikoversorge die Gefahrenzonenplanung stärker auf zukünftige Klimaänderungen ausrichten
3. **Anpassung rechtlicher und finanzieller Instrumente:** Anpassung und Entwicklung technischer, rechtlicher und finanzieller Rahmenbedingungen für eine wirksame (Klima-)Risikominderung
4. **Überprüfung und Verbesserung des derzeitigen Hochwassermanagements,** um auf Starkregenereignisse mit zunehmender Intensität, Ausdehnung und Dauer und den daraus resultierenden lokalen Überschwemmungen und großflächigen Überflutungen vorbereitet zu sein. Dabei sollte das volle Potenzial eines Maßnahmenmixes ausgeschöpft werden. (technisch-infrastrukturelle Maßnahmen, naturbasierte Maßnahmen, verbessertes Flächenmanagement, Frühwarnsysteme, Sensibilisierung und Eigenverantwortung, Versicherungs- und Risikotransferlösungen)
(→ dezidiertes Maßnahmenbündel „integriertes Hochwassermanagement“)

Maßnahmenbündel und Empfehlungen (entlang des Risikokreislaufes für ein integrales Risikomanagement)

Prävention

Governance

- Verankerung der Risikoanalyse unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels als strategische Grundlage für alle Aspekte des Naturgefahren- und Risikomanagements (z.B. für die Priorisierung von Schutzmaßnahmen, die Bereitstellung von Fördermitteln, die Anpassung von Schutzkonzepten und -systemen an intensivere und potenziell kaskadierende Ereignisse etc.) (Governance, finanzielle Maßnahmen, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Schaffung der technischen, gesetzlichen und finanziellen Rahmenbedingungen für Analysen zur Erhebung der Exposition, möglicher Objektschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Verringerung der Schadensanfälligkeit an Einzelgebäuden und Siedlungen (Governance, finanzielle Maßnahmen, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Verlagerung der Verträglichkeitsprüfung von Gebäuden in die frühen Phasen der Bauplanung (statt wie bisher kurz vor Projektabschluss), um frühzeitige Anpassungsmaßnahmen und Auflagen zur Verringerung der Vulnerabilität und Exposition zu ermöglichen; flankierende Regelungen in kommunalen Bebauungsplänen (Governance)
- Einrichtung einer zentralen provinziellen Struktur für die Bewertung von Klimarisiken und die Koordination des Naturgefahrenmanagements, ausgestattet mit ausreichenden personellen und finanziellen Ressourcen sowie klar definierten und umfassenden, zur kommunalen Ebene abgegrenzten Zuständigkeiten und Kompetenzen (z.B. zur Anpassung technischer Normen oder zur Überwachung von Gefahrenzonenplänen) (Governance)
- Stärkung des ehrenamtlichen Engagements im Katastrophenschutz als wesentliche Säule des Krisen- und Katastrophenmanagements durch Abbau von Bürokratie und Auflagen (Governance)

Gefahrenzonenplanung

- Fachliche und rechtliche Weiterentwicklung des Gefahrenzonenplanes zu einem dynamischen Planungs- und Arbeitsinstrument, das laufend mit neuen, insbesondere klimarelevanten Datengrundlagen aktualisiert wird (z.B. mit einem digitalen Geländemodell, Niederschlagsdaten oder numerischen (Klima-)Daten). Erweiterung des Instrumentariums um neue mögliche Prozesse und Szenarien (z.B. Klimaszenarien oder Erkenntnisse zu Extremwetterereignissen mit sich ändernden Jährlichkeiten, Intensitäten und Unsicherheiten) (Governance)
- Aufwertung und verstärkte Umsetzung des Restrisikokonzepts in Normen, Vorschriften und in der Kartierung (Governance)
- Der Errichtung von Schutzbauten folgt meist eine Reduktion der Gefahrenstufe für das „geschützte“ Gebiet (im Rahmen der Anpassung der Gefahrenzonenpläne und der Gefährdungsbeurteilung). Verstärkte Berücksichtigung des Restrisikos durch die klimatische Veränderung (und ihrer Auswirkungen auf Frequenz und Intensität von Extremereignissen) sowie der möglich werdenden Bautätigkeit im „neuen, geschützten“ Gebiet ergibt (Bebauungs-Verbauungsspirale) (Governance)
- Einführung der Flächenvorsorge als Instrument zur proaktiven Freihaltung von relevanten Flächen zur Risikominderung, wie z.B. hydrogeologische Vorbehaltsflächen, Retentionsflächen etc. (Governance)

Stärkung der Schnittstellen zwischen Gefahrenzonenplanung und Zivilschutzplanung

- Abstimmung der Planung und des Einsatzes im Katastrophenfall mit den Gefahrenszenarien (Governance)
- Entwicklung und Durchführung von „Risiko-Checks“ als Standortbestimmung für die Gemeinden und zur Definition abgestimmter Maßnahmen zur Risikominderung (Governance)
- Stärkung der Verbindlichkeit kommunaler Maßnahmen und Verankerung von Klimarisiken in der kommunalen Raumplanung, z.B. durch die Berücksichtigung von Hitze- und Starkregenrisiken in raumplanerischen Instrumenten (in Ergänzung zum Gefahrenzonenplan) (Governance)

Schutz/strukturelle Maßnahmen

- Berücksichtigung des Klimawandels bei der Planung, Projektierung und Instandhaltung von Schutzbauten (z.B. durch Berücksichtigung von Überlastfällen) (Monitoring und Modellierung, technische und naturbasierte Maßnahmen)
- Stärkere Ausrichtung der rechtlichen Instrumente auf die Verbesserung des Wasserrückhalts in der Landschaft (siehe Punkt „Gefahrenzonenplanung“) und den verstärkten Einsatz naturnaher Lösungen für den Hochwasser- und Geschieberückhalt (technische und naturbasierte Maßnahmen, Governance)
- Schaffung technischer, rechtlicher und finanzieller Rahmenbedingungen für die Umsiedlung aus Gefahrenzonen (finanzielle Maßnahmen, Governance)

Partizipation und (Bewusstseins)Bildung

- Stärkung der Eigenvorsorge und Eigenverantwortung der Bevölkerung durch gezielte und kontinuierliche Bildungsmaßnahmen, Sensibilisierungskampagnen und Veranstaltungen (Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Integration der Klimarisiken in die Aus- und Fortbildungsprogramme der professionellen und freiwilligen Organisationen des Katastrophenschutzes und der Selbstständigen (Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Programme zur Sensibilisierung von Behörden und öffentlichen Verwaltungen für die Auswirkungen und Risiken des Klimawandels (Bildung und Bewusstseinsbildung)

Stärkung der Datens- und Wissensbasis

- Sammlung und Analyse relevanter Daten zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Eintrittswahrscheinlichkeit, Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren zur Integration in technische Normen oder Gefahrenzonenpläne (Wissensbedarf und Forschung, Monitoring und Modellierung)

Vorsorge und Einsatz

- Verbesserung der Monitoring-, Frühwarn-, Warn- und Alarmsysteme zur besseren Vorhersage und Warnung vor extremen Wetterereignissen (z.B. Entwicklung und Einführung eines Frühwarnsystems für Gewitter in der Provinz Bozen) (Monitoring und Modellierung, Bildung und Bewusstseinsbildung)
- Entwicklung von Szenarien und Maßnahmen für Ad-hoc-Einsätze in Krisenzeiten, z.B. für die Versorgung der Bevölkerung bei extremen Hitzeperioden oder für den Einsatz bei immer häufiger auftretenden Großwetterereignissen (Governance)
- Erstellung neuer bzw. Anpassung bestehender Notfall- und Einsatzpläne auf der Grundlage dieser Szenarien, einschließlich der Überprüfung, Zuweisung und Aufstockung der personellen, technischen und finanziellen Ressourcen für die Planung und Durchführung von Einsätzen (Governance)
- Verbesserung und Ausbau der Krisenkommunikation (Bildung und Bewusstseinsbildung, Governance)

Wiederaufbau

- Anpassung der Richtlinien und Standards für die Vergabe von Wiederaufbauförderungen an die Vorgaben der Gefahrenzonenplanung und an vergangene Ereignisse (finanzielle Maßnahmen, Governance)
- Frühzeitige Bereitstellung zusätzlicher finanzieller Mittel bzw. Einführung (und ggf. verpflichtende Anwendung) neuer Versicherungsmodelle (z.B. Dürreversicherung, Elementarschadenversicherung) zur Abdeckung der zunehmenden Schäden durch den Klimawandel (finanzielle Maßnahmen, Governance)
- Frühzeitige Berücksichtigung der klimabedingten Exposition von Infrastrukturen und Siedlungsstrukturen bei der Planung von Instandsetzungs- und Wiederaufbaumaßnahmen nach Naturgefahrenereignissen im Sinne eines „build-back-better“-Ansatzes zur Stärkung der zukünftigen Resilienz (Governance, technische und naturbasierte Maßnahmen)

Integriertes Hochwassermanagement

- Umfassende Evaluierung des derzeitigen Hochwassermanagements (z.B. im Rahmen einer Studie) und Anpassung der derzeitigen Bemessungsgrundlagen für Schutzbauten und strategische Planungsunterlagen (30-, 100-, 300-jährliche Ereignisse) an den Klimawandel, einschließlich der Berücksichtigung bzw. Simulation plausibler „worst case“-Szenarien (angesichts der Häufung von 100-jährlichen Ereignissen im Alpenraum in den letzten Jahren). Entsprechende Integration in bzw. Überarbeitung von strategischen Managementinstrumenten (z.B. Hochwasserrisikomanagementplan, Gefahrenzonenplan etc.) (Governance)
- Verbesserung des Flächenmanagements (z.B. Schaffung von Retentionsräumen, Stopp der Versiegelung / Förderung der Entsiegelung, Renaturierung von Auen, evtl. auch Rückbau / Umsiedlung). Erhebung des Potenzials (z.B. Studie) dieser Flächen zur Minderung des Hochwasserrisikos (Governance) (s.o.). Maßnahmen zur Flächenvorsorge sowie Maßnahmenbündel „Klimafitte Siedlungsstrukturen“ und „Flächennutzung und Nutzungskonflikte“ der Empfehlungen zur *Siedlung* und Maßnahmenbündel „Berücksichtigung ökologischer Aspekte in der Wasserwirtschaft“ zur *Wasserwirtschaft*)
- Verbesserung der technischen Infrastruktur und der Schutzbauten (z.B. Profilaufweitungen, Verstärkung von Dämmen und Hochwasserrückhaltebecken) (Governance) (s.o. Maßnahmenbündel „Schutz/strukturelle Maßnahmen“)
- Verbesserung des Risikomanagements auf Gebäudeebene durch Verringerung der Anfälligkeit, Sensibilisierung der Bevölkerung und Prüfung des Einsatzes von Versicherungslösungen (Governance,

technische und naturbasierte Maßnahmen) (→ siehe Maßnahmenbündel „Gebäuderesilienz und Bodenschutz“ im Kapitel *Siedlungen*)

- Verstärkte Ausrichtung der Vorsorge- und Interventionsmechanismen auf Hochwasserereignisse (inkl. entsprechender Kapazitätsausstattung und -verteilung für den Katastrophenfall) (Governance) (s.o. Maßnahmenbündel „Vorsorge und Einsatz“)
- Verbesserung des Monitoring- und Frühwarnsystems im Hinblick auf das Auftreten von Hochwasserereignissen (Governance) (siehe oben Maßnahmenbündel „Vorsorge und Einsatz“)

8 Mitwirkende an diesem Bericht

Autorinnen und Autoren	Institut/ Center	Einrichtung	
Marc Zebisch	Center for Climate Change and Transformation	Eurac Research	
Lydia Pedoth	Center for Climate Change and Transformation	Eurac Research	
Michael Pörnbacher	Center for Climate Change and Transformation	Eurac Research	
Kathrin Renner	Center for Climate Change and Transformation	Eurac Research	
Uta Fritsch	Communication	Eurac Research	

Mariachiara Alberton	Institut für Vergleichende Föderalismusforschung	Eurac Research	
Giacomo Bertoldi	Institut für Alpine Umwelt	Eurac Research	
Jakob Bisignano	Mitarbeiter Studien	Institut für Wirtschafts- forschung der Handelskammer Bozen	
Philipp Corradini	Institut für Regionalentwicklung	Eurac Research	
Alice Crespi	Center for Climate Change and Transformation	Eurac Research	
Chiara Crippa	Institut für Erdbeobachtung	Eurac Research	

Viola Ducati	Institut für Alpine Umwelt	Eurac Research	
Frederik Eisendle	Institut für Alpine Notfallmedizin	Eurac Research	
Andreas Hilpold	Institut für Alpine Umwelt	Eurac Research	
Christian Hoffmann	Institut für Regionalentwicklung	Eurac Research	
Clara Horvath	Institut für Regionalentwicklung	Eurac Research	
Verena Kircher	Institut für Regionalentwicklung	Eurac Research	

Georg Lun	Direktor	Institut für Wirtschafts- forschung der Handelskammer Bozen	
Federica Maino	Institut für Regionalentwicklung	Eurac Research	
Steffi Misconel	Institut für Erneuerbare Energie	Eurac Research	
Nikolaus Obojes	Institut für Alpine Umwelt	Eurac Research	
Andrea Omizzolo	Institut für Regionalentwicklung	Eurac Research	
Chiara Pellegrini	Institut für Erneuerbare Energie	Eurac Research	

Urban Perkmann	Direktor des Amtes für Studien	Institut für Wirtschaftsforschung der Handelskammer Bozen	
Matteo Giacomo Prina	Institut für Erneuerbare Energie	Eurac Research	
Giulia Roveri	Institut für Alpine Notfallmedizin	Eurac Research	
Wolfram Sparber	Institut für Erneuerbare Energie	Eurac Research	
Giacomo Strapazzon	Institut für Alpine Notfallmedizin	Eurac Research	
Felix Thaler	Institut für Regionalentwicklung	Eurac Research	

9 Danksagung

AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE

Diese Studie wurde durch die Förderung Nr. 22328/2022 im Rahmen des Forschungsprogramms 2019-2021, Projekt „Entwicklung einer Klimaanpassungsstrategie für die Autonome Provinz Bozen“, unterstützt.

Ein besonderer Dank gilt den verschiedenen Abteilungen, Ämtern, beteiligten Gesellschaften und Körperschaften der Autonomen Provinz Bozen, den Mitgliedern der Steuerungsgruppe für ihre Unterstützung und allen, die aktiv an den Workshops teilgenommen sowie durch ihre wertvollen Informationen und fachlichen Rückmeldungen maßgeblich zum Gelingen dieses Projektes beigetragen haben.

Wir bedanken uns auch bei allen Kolleginnen und Kollegen, die mit ihrem Fachwissen und ihrer Erfahrung das Projekt unterstützt haben: Manuela Bernardi, Claudio Callagher Zandonella, Fabio Carnelli, Alberto Dianin, Andrea Galletti, Sonja Gantioler, Lion Glückert, Sigrid Hechensteiner, Carlo Marin, Georg Niedrist, Aaron Penn, Massimiliano Pittore, Elisa Ravazzoli, Alessio Tardivo, Rocco Scolozzi, Vittoria Zadra.