

Anhang 5 Physikalische Grundlagen

1 Wissenslücken und offene Fragen

| | | |
|----------------------------------|---------------------------|---|
| <p>Prozessverständnis</p> | <p>Klimasystem</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Analyse relevanter Wirkungsketten (z. B. alpiner Permafrost, dessen Degradation und Auswirkungen, etc.) – Kippunkte und deren Auswirkungen insbesondere auf die Schweiz (7 von 9 Kippunkten des globalen Klimas sind in den Polargebieten) – Wolkenphysik (Wolkenimpfung, Nebelauflösung) – Aerosol-Klima-Interaktion/Feedbacks <ul style="list-style-type: none"> Direkte Wirkung: <ul style="list-style-type: none"> • Aerosol-Strahlungswirkung: • Russ (z. B. Wald-/Buschbrände) • Atmosphärische physikalisch-chemische Umwandlung (Link zu indirekten Effekten) • Trockene Abbauprozesse Indirekte Wirkung: <ul style="list-style-type: none"> • Aerosol-Wolken-Interaktion: • Einfluss auf Wolkenkeimbildung in Wasser- und Eiswolken durch Aerosolumwandlung • Atmosphärische physikalisch-chemische Umwandlung (Link zu direkten Effekten) • Feuchte Abbauprozesse – Wechselwirkungen zw. Wolken und Zirkulation/Klima (Dies ist eine der grossen Challenges von WCRP. Ein für Europa speziell relevantes Problem ist der Einfluss diabatischer Prozesse (z. B. durch latentes Heizen in Wolken) auf den Stormtrack und Extremwetter) – Persistenz von Wetterlagen – Änderungen der Eisschilde, insbesondere marine Eisschilde, Eisschelfe und Gletscherausstroeme (sind nur unzureichend verstanden, werden aber die Meeresspiegelentwicklung in Zukunft dominieren) – Änderung des Meereises und damit auch der lokalen und globalen Strahlungsbilanz und der vertikalen Mischung des Ozeans – Ableitung von Prozessen durch Untersuchung polarer Eisbohrkerne und mariner Sedimente über viele glaziale Zyklen – Treibhausgase: Freisetzung durch Schmelzen des Permafrosts; Änderung der CO₂-Aufnahme im Südozean |
|----------------------------------|---------------------------|---|

| | | |
|-----------------|--|---|
| | Extremereignisse | <ul style="list-style-type: none"> – Häufung von Extremereignissen auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen – 4D Anatomie von Extremereignissen (insbesondere vertikale und zeitliche Dimension) (Wie entwickeln sich z. B. Hitzewellen/Dürren/lange Niederschlagsperioden in der Zeit und welche anomale Vertikalstruktur ist mit ihnen verbunden? Hintergrund: Relativ oft werden Hitzewellen, Starkniederschläge und Dürren als 2D bodennahe Phänomene betrachtet, und dabei ihre Vertikalstruktur und zeitliche Substruktur (teilweise) vernachlässigt. Lange Extremereignisse (Dürren über Monate, nasse Perioden (wet spells) über mehrere Wochen) haben jedoch oft eine interessante zeitliche Substruktur, d.h. ihre Amplitude variiert und oft sind neue Wettersysteme dafür verantwortlich (z. B. der Aufbau einer neuen blockierenden Lage), dass eine Dürre weitergeht. Diese zeitliche Variabilität geht einher mit interessanten Prozessen in der Vertikalen: z. B. kann Kaltluftadvektion in der Höhe eine Hitzewelle beenden, indem sie die Atmosphäre labilisiert, Konvektion ausgelöst wird, und es am Boden zu einer Abkühlung kommt. Aus unserer Sicht sind die vertikale und zeitliche Dimension von Extremereignissen bisher zu wenig systematisch untersucht und läge hier ein grosses Potenzial für ein umfassenderes Verständnis und Vorhersage dieser Phänomene.) |
| | Nährstoffhaushalt und Treibhausgase | <ul style="list-style-type: none"> – Inwieweit begrenzen Nährstoffe die C-Aufnahme des Bodens – jetzt und in einem zukünftigen Klima? – Wie sieht die Treibhausgasbilanz von natürlichen und landwirtschaftlichen Ökosystemen aus? – Zeitliche Veränderung der Aufnahmefähigkeit des fossilen CO₂s durch die Biosphäre – Wechselwirkungen zwischen Nährstoff- und Kohlenstoffkreislauf |
| Methoden | Modellierung | <ul style="list-style-type: none"> – Digitaler Wetter- und Klima-Zwilling für den Alpenraum (Schnittstelle zw. Klima- und Impaktmodellierung/Entwicklung von hochaufgelösten Klimamodellen; hilft bei der Reduktion der Unsicherheiten in Projektionen des zukünftigen Klimas, insbesondere auch in Bezug auf nicht-lineare und/oder abrupte Änderungen (Tipping Points), und robustere Aussagen für Extremereignisse; Hier sind grosse Synergien möglich in der Zusammenarbeit zwischen Hochschulen, Universitäten, MeteoSchweiz, den Forschungszentren des ETH-Bereichs (insbesondere C2SM), dem ETH Projekt EXCLAIM und dem Oeschger Centre. In diesem Themenbereich könnte die Schweiz an die von der EU initiierten Forschungsprogramme, die im Rahmen der Destination Earth (DestinE) Initiative entstehen, anknüpfen (siehe digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth). Dazu gehören auch zahlreiche HORIZON Projekte, welche dabei die Forschung übernehmen. Im Rahmen eines nationalen Forschungsprojekts kann die Entwicklung eines digitalen Zwillings für den alpinen Raum und die Schweiz im speziellen entwickelt werden, als Schlüssel zur Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels und der Risikoabschätzung. Der Fokus wäre beim digitalen Modellansatz, sowohl für die vergangene Zeit (z. B. Re-Analysen, Assimilation, Datenqualität), wie auch die Zukunft (z. B. Klimaszenarien, Vorhersagen, Auflösung und Prozesse im Alpenraum etc.). Der Ansatz mit digitalen Zwillingen ermöglicht die Beantwortung komplett neuartiger Fragestellungen durch direkte Kopplung der Impaktmodelle mit den Digitalen Zwillingen. Thematisch beschränkt sich die Forschung damit bei weitem nicht auf Wetter und Klima, sondern kann zahlreiche Umweltthemen einschliessen. Die Entwicklung von digitalen Zwillingen kann nur im Rahmen eines nationalen Forschungsprogramms umgesetzt werden, da sie die interdisziplinäre Zusammenarbeit über eine breite Palette von Fachgebieten benötigt (Klimamodellierung, Impaktmodellierung, Informatik, KI etc.). – Regionale und lokale Informationen spezifisch für die Schweiz für die Anpassung und Risikominimierung |
| | Messungen | <ul style="list-style-type: none"> – Kombination atmosphärische Messsysteme Verstärkte Verbindung von in-situ, kolonnen-integrierten und Satelliten-basierten Messungen der atmosphärischen Veränderungen, um vertikale Profile für raumzeitliche Variationen zu dokumentieren (Quellen, Senken, Transport) |
| | Datenverarbeitung | <ul style="list-style-type: none"> – Entwicklungen im Bereich Data Science (Neue Methoden erlauben die effizientere Nutzung der grossen Datenmengen aus Beobachtungen und Modellen), Machine Learning und künstliche Intelligenz |

| | | |
|----------------|---------------------------|---|
| Impacts | Natürliche Systeme | <ul style="list-style-type: none"> – Biosphäre aufgrund des Klimawandels (z.B. Höhen-Migration der Pflanzen im Alpenraum, Albedo-Vegetations-Rückkopplungen für die spezifischen Ökosysteme (Abschmelzen der Gletscher, Vegetationsentwicklung) – Kryosphäre: Naturgefahren durch Auftauen des Permafrost (Bergstürze, Steinschlag etc). [Markus Leuenberger] – Hydrosphäre: Wassermanagement mit schwindendem Speichervolumen durch die Gletscher; Verschiebung des Abflussverhaltens; Wasserversorgungseinschränkungen, Verschmutzung des Grundwassers – Pedosphäre: Veränderungen der Kohlenstoffspeicher durch Klimawandel, Abbau von ertragsreichen Böden durch Entwässerung (Berner Seeland) – Änderung der polaren Ökosysteme mit Einfluss auf die Nahrungskette, aber auch der lokalen und globalen Strahlungsbilanz – Welche Wirkungsketten in natürlichen und anthropogenen Systemen werden durch sehr seltene Dürre- und Hitzeereignisse ausgelöst, die in den nächsten Jahrzehnten und Jahrhunderten zu erwarten sind? – Zusammenhang zwischen Zeitskalen der Persistenz von Wetterlagen und verschiedenen Folgen z.B. auf Gesundheit oder Landwirtschaft – Einflüsse auf Umweltstressoren (Gase, Partikel, Pollen, Lärm, Hitze, Kälte, Feuchte, verunreinigtes Wasser; der Alpenraum reagiert äusserst sensitiv auf Klimaveränderungen (Temperatur 2,5-mal so hoch als im globalen Mittel) |
| | Extremereignisse | <ul style="list-style-type: none"> – Fähigkeit zur Vorhersage kurzfristiger Auswirkungen bei sich abzeichnenden Extremereignissen und in Bezug auf Szenarioprojektionen für extreme Hitze – Wann, wo und in welchem Umfang führt Wasserstress bei Pflanzen zu Baumsterben und Produktivitätseinbussen in Wäldern, Weiden und Ackerland? – Welche Wirkungsketten in natürlichen und anthropogenen Systemen werden durch sehr seltene Dürre- und Hitzeereignisse ausgelöst, die in den nächsten Jahrzehnten und Jahrhunderten zu erwarten sind? |