
BERICHTE ZUR
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

2015

WASSER WIRT SCHAFT

- 05** Aqua-Stress
Das Projekt Aqua-Stress beurteilt die indirekten Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Wasserwirtschaft, durch beispielsweise Nährstoffeinträge. Mittels Modellverbund – einer Kombination von fünf Modellen – sollen die Auswirkungen und Folgen auf die Wasserwirtschaft bundesweit untersucht werden.
- 13** CILFAD
Ziel des Projektes ist die Analyse potenzieller Auswirkungen des Klimawandels auf Niederschlag und hydrologische Trockenheit in Österreich. Dadurch sollen die Risiken eines geänderten Wasserdargebots und die Folgen für die Wasserwirtschaft besser abschätzbar werden.
- 21** DynAlp
Entwässerungssysteme und Wasserversorgungsanlagen sind für Städte von höchster Bedeutung. Aufgrund der langen Lebensdauer der Anlagen ist eine vorausschauende Planung essenziell. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines strategischen Planungstools für die städtische Wasserinfrastruktur unter Berücksichtigung des Klimawandels und der Stadtentwicklung.
- 29** SeRAC-CC
Das Projekt untersucht den Einfluss des Klimawandels auf die Abflussreaktion von kleinen alpinen Einzugsgebieten. Drei Einzugsgebiete in verschiedenen Höhenlagen werden herangezogen, um kritische Kombinationen von Systemzuständen und meteorologischen Bedingungen zu identifizieren.
- 37** DSS_KLIM:EN
Neben dem Klimawandel steht die Wasserkraft in Österreich auch mit anderen Sektoren in Wechselwirkung. Im Projekt wird eine objektive Daten-Diskussionsbasis geschaffen sowie ein *Decision Support System* zur Beurteilung der Wechselwirkungen mit den Sektoren Klimawandel, Energiewasserwirtschaft, Ökologie, Feststoffhaushalt/Flussmorphologie und Sozioökonomie entwickelt.
- 44** Alle geförderten Projekte im Überblick

” Mit ACRP erarbeiten wir für die drängendsten Fragen des Klimawandels Antworten und Lösungen. Österreich hat als Alpenland eine außergewöhnliche Stellung, hier wird der Klimawandel besonders hart zuschlagen. Dafür müssen wir uns rechtzeitig wappnen. Mit unserer Initiative geben wir international den Takt vor.“

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer

Vorwort

Der Temperaturanstieg von +2°C seit 1880 stellt uns schon heute in Österreich vor große Herausforderungen, wie 240 WissenschaftlerInnen im österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel 2014 belegen. Neben steigenden Temperaturen ist auch mit einer zeitlichen und räumlichen Verlagerung von Niederschlägen und einer Zunahme von Trockenperioden zu rechnen. Österreich zählt zwar zu den wasserreichsten Ländern weltweit, dennoch gilt es die möglichen Veränderungen durch den Klimawandel ernst zu nehmen und Vorkehrungen für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung mit gegenwärtigen und zukünftigen Maßnahmen zu treffen. Die Ressource Wasser ist aber nicht nur selbst direkt vom Klimawandel betroffen, sondern beeinflusst auch andere Sektoren wie die Land- und Forstwirtschaft, Energiewirtschaft oder den Tourismus.

Die Grundlagen für die notwendigen Maßnahmen werden durch das Förderprogramm „Austrian Climate Research Programme (ACRP)“ des Klima- und Energiefonds geschaffen. Seit 2007 wurden 145 Projekte gefördert, die die wissenschaftliche Basis für die nationalen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel liefern.

Im Folgenden stellen wir Ihnen ausgewählte Forschungsberichte zur Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft vor. Die behandelten Fragestellungen bilden eine wichtige Grundlage für die notwendigen Schritte zur Klimawandelanpassung.

Eine anregende Lektüre wünscht Ihnen
Ihr Klima- und Energiefonds Team



Projektleitung

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. **Matthias Zessner**

Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft



Beteiligte Institutionen

- Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
- Universität für Bodenkultur Wien, Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung
- BMLFUW, Abt. Nationale Wasserwirtschaft
- Amt der OÖ Landesregierung, Abt. Anlagen-, Umwelt- und Wasserrecht
- Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abt. Wasser- und Abfallwirtschaft
- Amt der Sbg. Landesregierung, Naturschutzgrundlagen und Sachverständigendienst
- Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft in der Steiermark
- IKSD – Internationale Kommission zum Schutz der Donau
- Universität Hamburg, Forschungsstelle Nachhaltige Umweltentwicklung, Deutschland
- Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, Department Catchment Hydrology, Deutschland
- Bundesamt für Wasserwirtschaft – Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt



Gute Gründe für das Projekt

- Die Auswirkungen klimatischer und sozioökonomischer Veränderungen auf die österreichische Landnutzung, die Bewirtschaftungsintensität und die daraus resultierenden Nährstoffverluste sowie ableitbaren Folgen für die Quantität und Qualität der Gewässer sind bislang nicht untersucht worden.
- Mithilfe eines integrativen Modellverbunds können verschiedene klimatische und sozioökonomische Szenarien untersucht und anhand ökologischer und ökonomischer Indikatoren bewertet werden.
- Die Ergebnisse können eine Grundlage für die Weiterentwicklung von Agrarumwelt- und Wasserschutzpolitiken sein.

Aqua-Stress

*Water resources under climatic stress.
An integrated assessment of impacts on water availability and water quality under changing climate and land use.*

Direkte und indirekte Folgen klimatischer und sozioökonomischer Veränderungen für die österreichische Wasserwirtschaft

Klimatische Veränderungen und die damit einhergehenden Folgen stellen für unsere Gesellschaft und Umwelt eine große Herausforderung dar.

Meteorologische Aufzeichnungen der letzten Jahrzehnte weisen für Österreich einen steigenden Temperaturentrend aus. So hat die mittlere Lufttemperatur seit Mitte der 1970er Jahre um bis zu 1,5°C zugenommen. Diesem allgemeinen Temperaturentrend folgt die mittlere Wassertemperatur der österreichischen Flüsse, die im Lauf der letzten 30 Jahre einen Anstieg um ca. 1,5°C im Sommer und 0,7°C im Winter aufweist. Eine Erhöhung der mittleren Lufttemperatur um 1°C bewirkt eine Zunahme der mittleren Wassertemperatur um ca. 0,8°C.

Bei der Niederschlagsentwicklung wird im österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel auf hohe Unsicherheiten hingewiesen „*Obwohl schon zu*

Mitte des 21. Jahrhunderts die ... Tendenz zu mehr Niederschlag im Winter und weniger Niederschlag im Sommer im Median zu erkennen ist, zeigen die Modelle in dieser Periode keinerlei Einigkeit über die Richtung der Änderung und die Unsicherheiten sind sehr groß“. Zukünftige Änderungen können damit regional unterschiedlich zu einer Zu- oder Abnahme des Niederschlages führen.

Entsprechende Klimaänderungen haben direkte Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft unseres Landes. Steigende Wassertemperaturen beeinflussen beispielsweise biologische Abläufe und chemische Randbedingungen. Dazu zählen unter anderem die diversen Umsatzprozesse aquatischer Organismen, die Sauerstofflöslichkeit und der pH-Wert. Neben dem Einfluss der Temperatur hängt die Gewässergüte allerdings auch vom Wasserdargebot ab. In diesem Zusammenhang können sich insbesondere längere Trockenperioden negativ auf die Beschaffenheit unserer Gewässer auswirken.

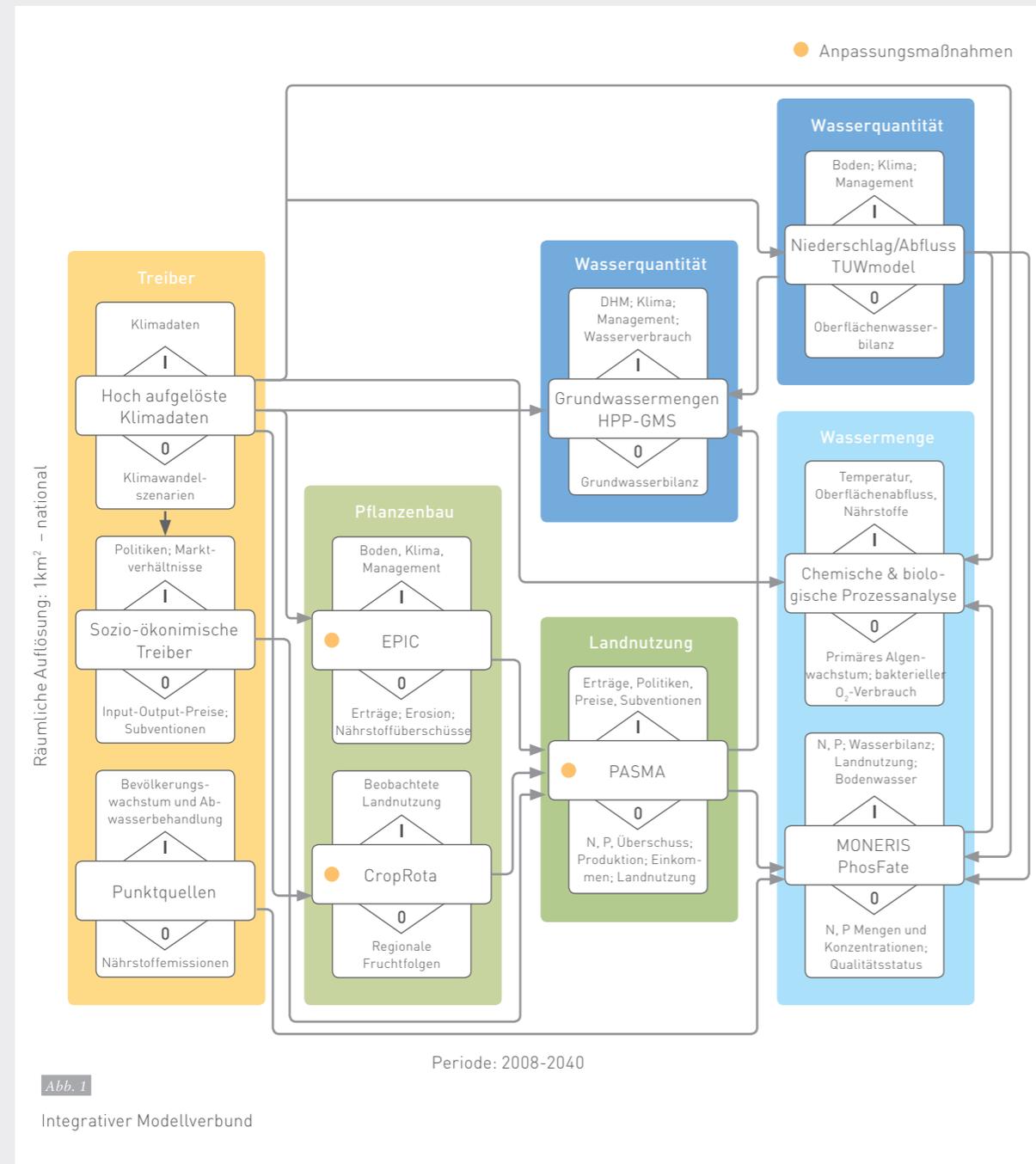


Abb. 1 Integrativer Modellverbund

Abgesehen von diesen beispielhaft angeführten direkten klimatischen Folgen ist jedoch auch mit indirekten zu rechnen, die noch wenig untersucht sind. Im Fokus des Projekts Aqua-Stress stehen deshalb die indirekten Auswirkungen der landwirtschaftlichen Landnutzung auf die Wasserwirtschaft. Die Landwirtschaft nutzt die Ressource Wasser sowohl in Form von Regen- und Beregnungswasser als auch in Form von Beeinflussungen der Gewässer infolge stofflicher Belastungen. Über die Eintragspfade Grundwasser-, Drainage-, Oberflächenabfluss und Bodenerosion gelangen heute nennenswerte Mengen an Nährstoffen – von Bedeutung sind vor allem Stickstoff und Phosphor – und Sedimenten von landwirtschaftlichen Flächen in Oberflächengewässer. Klimatische Veränderungen führen zu Anpassungen beispielsweise der Bodenbearbeitung, Kultur- und Sortenwahl, der Düngungsintensität, des Viehbestands und der Beregnungsintensität. Diese Anpassungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bestimmen in der Regel auch die emittierten Nährstoffmengen und beeinflussen damit nicht nur die Bereitstellung von Trink- und Brauchwasser, sondern auch den ökologischen Gewässerzustand gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Integrativer Modellverbund, Indikatoren und Fallbeispiele

Im Rahmen des Projekts Aqua-Stress werden mittels integrativem Modellverbund, einer Kombination aus fünf verschiedenen Modellen, die Auswirkungen klimatischer und sozioökonomischer Veränderungen auf die landwirtschaftliche Produktion und Bewirtschaftung sowie die daraus resultierenden Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer dargestellt. Abb. 1

In weiterer Folge werden die Einflüsse auf die Gewässergüte und die Wasserverfügbarkeit für rund 350 (Teil-)Einzugsgebiete, die nahezu das gesamte Bundesgebiet abdecken, untersucht. Zu diesem Zweck werden gemeinsam mit verschiedenen InteressensvertreterInnen (Stakeholdern) Szenarien entwickelt, die mithilfe des integrativen Modellverbunds analysiert und anhand ökonomischer und ökologischer Indikatoren (z.B. landwirtschaftliches Produktionsvolumen, Stickstoff- und Phosphoremissionen in Oberflächengewässer, Veränderung der Gewässergüte in Bezug auf Nährstoffe, Subventionsvolumen für Gewässerschutzmaßnahmen) quantifiziert werden.

In einem Fallbeispiel wird darüber hinaus der Einfluss extremer Wetterbedingungen wie beispielsweise eine lang andauernde Trockenheit auf den Grundwasserkörper im Seewinkel (Abb. 2) und die daraus ableitbaren Folgen für den Grundwasserspiegel bzw. die Wasserverfügbarkeit mit einem Grundwassermodell untersucht. Ein weiteres Fallbeispiel beschäftigt sich mit den Auswirkungen geänderter Niederschlagsverhältnisse und angepasster Kulturartenverteilungen auf die Bodenerosion von landwirtschaftlichen Flächen. Mithilfe des Phosphoremissions- und transportmodells *PhosFate* werden die partikuläre Phosphorfracht der Pram im Innviertel sowie die Wirksamkeit von Gewässerrandstreifen für die Reduktion partikulärer Phosphoremissionen abgeschätzt.

Stakeholderprozess und Szenarienentwicklung

Ein anderer Schwerpunkt des Projekts bezieht sich auf die Darstellung von und die Diskussion über Unsicherheiten der Projektergebnisse. Große Bedeutung

Abb. 2

Fallbeispiel Seewinkel

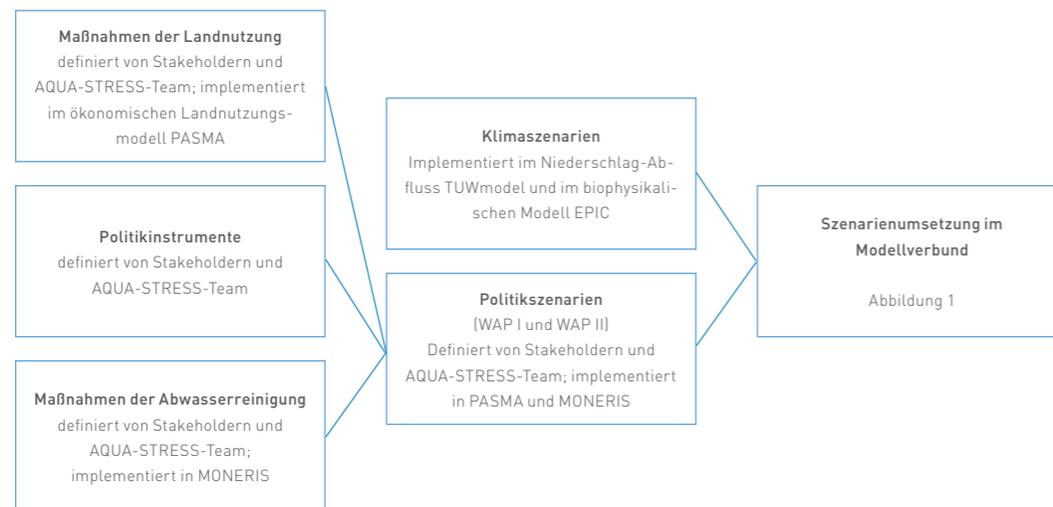


Abb. 3

Prozedere der Szenarienentwicklung in Kooperation mit den Stakeholdern

wird hierbei der Mitwirkung von Stakeholdern in allen Phasen des Projekts, beginnend bei der Szenarienentwicklung bis hin zur Ergebnisdiskussion und -bewertung, beigemessen, was im Folgenden näher beschrieben ist.

Stakeholder nehmen in Aqua-Stress einen zentralen Platz ein. Sie sind in einem Stakeholder-Advisory Board (SAB) organisiert, das sich aus VertreterInnen des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, einzelner Landesverwaltungen, der Landwirtschaftskammern sowie der Donauschutzkommission zusammensetzt und damit die maßgeblichen AkteurInnen an der Schnittstelle zwischen Landnutzung und Wasserwirtschaft abdeckt. Das SAB wurde bereits in der Projektantragsphase aktiv. In einem ersten Workshop wurden Forschungsprobleme und Forschungsfragen diskutiert. So kann gewährleistet werden, dass Aqua-Stress lebensweltliche Problemstellungen verfolgt und Ergebnisse mit hoher Relevanz für politische und administrative Entscheidungen bereitstellt.

Eine wichtige Aufgabe des SAB in Aqua-Stress ist die Unterstützung bei der Definition der Klima- und Politiksznarien. Szenarien sind die Grundlage für die Modellierung von alternativen Entwicklungspfaden im integrativen Modellverbund. Sie dienen nicht als Prognoseinstrument für die Zukunft, sondern sollen die Wirkung politischer Instrumente des Gewässerschutzes unter Klimawandel ausloten und damit sowohl Klimawandelfolgen als auch den Spielraum für Anpassungsmaßnahmen aufzeigen. In Abb. 3 ist das Prozedere zur Szenarienentwicklung dargestellt. Im Modellverbund beeinflussen verschiedene Politikinstrumente (z.B. Agrarumweltprogramm, Dün-

gungsgrenzwerte) – gebündelt als Politikportfolios in Politiksznarien – Entscheidungen der Landnutzung und Abwasserreinigung. Die in den Szenarien zusammengefassten Annahmen zu den Treibern Klima und Politikinstrumente dienen als Eingangsgrößen in den Modellverbund, über welchen die Wirksamkeit unterschiedlicher Politikportfolios unter unterschiedlichen Klimabedingungen auf Indikatoren wie landwirtschaftliches Produktionsvolumen oder Aspekte des Gewässerzustandes dargestellt und verglichen werden kann.

Die Szenarien in Aqua-Stress bestehen aus zwei Teilen: den Klimaszenarien und den Politiksznarien. Der Modellierungshorizont reicht bis 2040. Die Klimaszenarien schreiben einen in der Vergangenheit beobachteten Temperaturtrend von rund +1,5°C bis 2040 fort. Große Unsicherheiten bestehen bei den zukünftigen Niederschlagsmengen und -verteilungen. Da sich politische Maßnahmen auch an Extremsituationen orientieren müssen, werden drei Niederschlagsszenarien gewählt:

- mit heutigen Bedingungen (SIMILAR),
- mit einer trockeneren (DRY) Situation,
- mit einer feuchteren (WET) Situation.

Die Politiksznarien beschreiben einerseits die allgemeine landwirtschaftliche und wirtschaftspolitische Situation (z.B. Produktivitätsentwicklung, Landverlust durch Siedlungsentwicklung), andererseits aber auch spezielle Instrumente zur Beeinflussung der Wasserqualität und -quantität. Die allgemeine Situation, dargestellt in den Szenarien *Business As Usual* sowie *IMPact* bleibt über alle Politiksznarien gleich. In den beiden Wasserschutzsznarien (WAP I und WAP II) werden jene Politikinstrumente zu je einem Politik-

Informationskasten Szenarien

Das Politikscenario BAU schreibt die derzeitigen Politiken aus folgendem Grund fort: bisher war eine stetige Extensivierung der Landwirtschaft im Rahmen der Agrarumweltpolitik zu beobachten. Dem Trend einer weiteren Extensivierung stehen eine wachsende Weltbevölkerung, Diskussionen um eine „nachhaltige Intensivierung“, internationaler Wettbewerb und Liberalisierung von Agrarmärkten, Produktivitätssteigerungen durch den Klimawandel sowie das Bewusstsein um die Effekte nationaler Politiken auf indirekten Landnutzungswandel (z.B. Rodung von natürlichen Wäldern in anderen Weltregionen aufgrund von nationalen Extensivierungsmaßnahmen auf produktiven Flächen) entgegen.

Das Impact-Szenario IMP übernimmt die Politiken des BAU und zeigt die Folgen der Klimawandelszenarien Dry und Wet und der damit in Zusammenhang stehenden autonomen Anpassungsstrategien der Landwirtschaft auf.

Das Szenario WAP I rückt den Schutz der Gewässer in den Vordergrund. Die bisherige Politikstrategie verpflichtender Maßnahmen zur Aufrechterhaltung eines Minimalstandards der Gewässergüte auf Grundlage der EU-Gesetzgebung wird in Problemgebieten verschärft. Dazu zählen Grundwassersanierungsgebiete und Einzugsgebiete von

Fließgewässern, in denen Belastungen über den Umweltqualitätszielen für Nitrat und Phosphat auftreten. Es werden dort Maßnahmen zur Erreichung der Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie verstärkt, wo Grenz- und Zielwerte zurzeit oder in Zukunft aufgrund veränderter Rahmenbedingungen nicht eingehalten werden können. Neben den verpflichtenden Maßnahmen wird die freiwillige Komponente über das Agrarumweltprogramm ÖPUL gestärkt, indem Maßnahmen mit Bezug zur Gewässerschonung (Erosionsminderung, verringerter Nährstoffeinsatz) in den besonders betroffenen Regionen gesetzt oder neue Maßnahmen eingeführt werden. Damit wird eine Politik formuliert, die zu einem gezielten räumlichen Einsatz von Agrarumweltzahlungen führt („Targeting“ als Begriff für eine zielgerichtete Umweltpolitik).

WAP II setzt die Politik aus WAP I mit zum Teil verschärften Grenzwerten fort. Der wesentliche Unterschied liegt in der Anwendung freiwilliger Maßnahmen auf das gesamte Bundesgebiet. Somit wird einem noch größeren Umweltbewusstsein der Politik und Gesellschaft gegenüber dem Gewässerschutz Rechnung getragen. Das Prinzip des Targetings weicht dem Wunsch nach einer gleichmäßigen Anwendung des Agrarumweltprogramms.

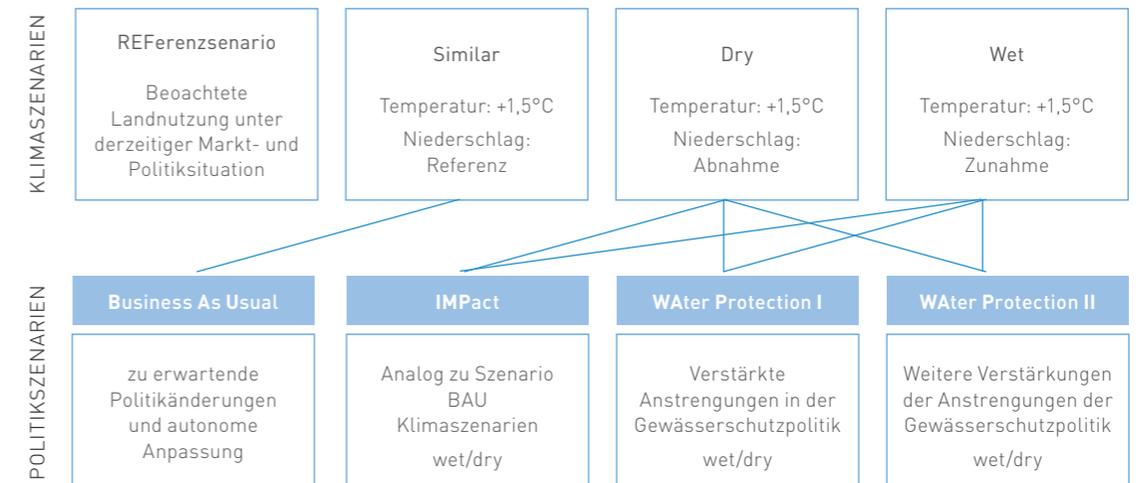


Abb. 4

Szenarienüberblick

portfolio zusammengefasst, von denen eine Verbesserung der Gewässergüte erwartet wird. Im integrativen Modellverbund werden die Klimawandel- und Politikszenerien miteinander kombiniert. [Abb. 4](#) Details zu den Szenarien können dem Informationskasten entnommen werden.

Nutzung der Projektergebnisse

In Aqua-Stress wird der integrative Modellverbund auf das österreichische Bundesgebiet angewendet und vertiefende Untersuchungen in Beispielregionen durchgeführt.

Die Ergebnisse können damit eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Managementstrategien im Zusammenspiel von Land- und Wasserwirtschaft unter geänderten Klimabedingungen liefern.

Die Nutzung der Methode ist allerdings nicht auf Österreich beschränkt. Das Projekt soll vielmehr auch als Pilotstudie für zukünftige Anwendungen dieses oder eines ähnlichen Modellverbundes auf internationale und länderübergreifende Flusseinzugsgebiete dienen.

Matthias Zessner



Projektleitung

Assoz.Prof. DI Dr. techn. **Gregor Laaha**

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Angewandte Statistik und EDV



Beteiligte Institutionen

- Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Abteilung Klimaforschung



Gute Gründe für das Projekt

- Die Kenntnis zukünftiger Wasserressourcen in Trockenzeiten ist eine wichtige Grundlage für Wirtschaft und Umweltpolitik.
- Die Beurteilung von Klimafolgen auf das Wasserdargebot auf Basis von Klimamodellen ist mit großen Unsicherheiten behaftet, weshalb alternative Informationsquellen in die Beurteilung einbezogen werden sollten.
- Das Projekt CILFAD verwendet einen innovativen Drei-Standbeine-Ansatz, der die Informationen aus beobachteten Abflussänderungen (Trends), Klimaprojektionen mit Wasserhaushaltsmodellen und stochastische Simulationen von Klimavariablen miteinander kombiniert.

Climate Impacts on Low Flows And Droughts
Eine Studie der Klimafolgen auf Niederwasserabflüsse
in Österreich

Wieviel Wasser wird fließen?

Österreichs Flüsse und Bäche bilden einen einzigartigen Lebensraum für eine Vielzahl heimischer Tier- und Pflanzengesellschaften. Fließgewässer sind seit jeher aber auch eine wirtschaftliche Lebensader unseres Landes und erfüllen wichtige ökonomischer Funktionen, wie etwa Wasserversorgung und -entsorgung, Transport, Energie, Fischerei, Erholung und Tourismus.

Viele dieser Funktionen werden durch das Wasserdargebot in den trockenen Perioden des Jahres bestimmt, da solche Niederwasserereignisse einen limitierenden Zustand für sie darstellen. Dabei ist neben der Abflussmenge auch der Auftretenszeitpunkt von Niederwässern von Bedeutung. So sind etwa für die Wassergüte sommerliche Niederwasserperioden besonders ungünstig, wenn die in Niederwasserperi-

oden typischerweise erhöhten Stoffkonzentrationen mit hohen Wassertemperaturen einhergehen. Solche Sommerniederwässer treten für gewöhnlich im Flachland auf und werden durch andauernde Hitze und Trockenheit ausgelöst. In den Alpen treten Niederwässer im Winter auf und sind auf Frost und Schneebedeckung zurückzuführen. Änderungen von Temperatur und Niederschlag, wie sie durch aktuelle Klimamodelle prognostiziert werden, lassen daher negative Folgen auf das Niederwasserdargebot befürchten, die sich saisonal unterscheiden.

Obwohl die Entstehungsmechanismen von Niederwässern also bekannt sind und Klimaprognosen aus globalen und regionalen Klimamodellen vorliegen, ist eine zuverlässige Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf Niederwässer dennoch schwierig.

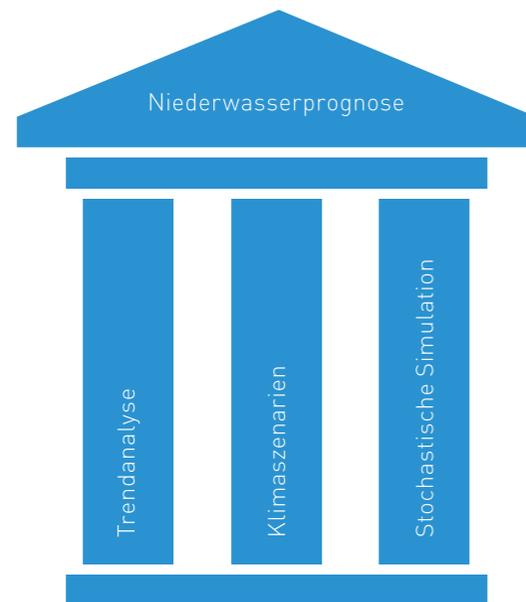


Abb. 1

Drei-Standbeine-Ansatz zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederwasserabfluss

Insbesondere eine klimabedingte Änderung der Niederschläge im Alpenraum in ihrer jahreszeitlichen und regionalen Verteilung ist eine schwer prognostizierbare Größe – ein Umstand, der in Kombination mit der hohen Komplexität alpiner Abflussbildungsprozesse zu erheblichen Unsicherheiten bei der Abflussprognose führt.

Innovativer Forschungsansatz

Während sich bisherige Niederwasserstudien primär auf die recht unsicheren Klimamodellprognosen stützen, wurde im Rahmen des Projektes CILFAD eine alternative Methodik gewählt. Diese besteht aus einem Mehr-Standbeine-Ansatz, der unterschiedliche Informationsquellen erschließt. ^{Abb. 1} In Analogie zu Bauwerksgründungen in unsicherem Terrain weisen die einzelnen Informationsfundamente zu große Unsicherheiten auf, um für sich alleine ein tragfähiges Ergebnis zu erzielen. **Der Mehr-Standbeine-Ansatz stützt sich hingegen auf unterschiedliche Informationsfundamente und ermöglicht somit ein robusteres Ergebnis als Analysen, die sich auf einzelne Informationsquellen stützen.**

Das erste Standbein der Klimawandelanalyse bilden die zeitlichen Charakteristiken der gemessenen Niederwasserabflüsse. Hierzu wurde eine umfassende Trendstudie durchgeführt, die lokale Analysen (an 408 Einzelpegeln in Österreich und in den Nachbarregionen in Bayern, Slowakei und Ungarn) sowie räumliche Trend- und Raum-Zeit-Analysen in kohärenter Weise kombiniert. Die Untersuchung fokussiert zunächst auf das Erkennen von realen, d.h. in den letzten 30 bis 50 Jahren tatsächlich gemessenen

Änderungen des Niederwasserabflusses. In einem weiteren Schritt werden die beobachteten Trends in die Zukunft fortgeschrieben und bilden so ein einfaches Szenario für den Klimawandel unter der Annahme, dass die beobachteten Trends zukünftig fort dauern.

Das zweite Standbein bilden Klimaprojektionen mit Wasserhaushaltsmodellen, wie sie auch in vielen internationalen Studien verwendet werden. Für die Klimaprognosen wurden verschiedene Simulationsläufe aus dem *reclip:century* Projekt für die IPCC-Szenarien A1B, B1 und A2 erschlossen. Ihre regionalen Signale wurden zunächst im Vergleich zu langjährigen Klimabeobachtungen, die aus dem HISTALP-Projekt für den Alpenraum vorliegen, analysiert. Die Analyse stützt sich auf meteorologische Trockenheitsindizes, wie den Standardisierten Niederschlagsindex (SPI) oder den Palmer-Index (scPSI), für die im Untersuchungsgebiet ein guter Zusammenhang mit dem Niederwasserabfluss nachgewiesen werden konnte. Die Analysen zeigen für die österreichischen Alpen und den Norden Österreichs eine gute Übereinstimmung von Simulationen und Beobachtungen. In diesen Regionen ist das Vertrauen in zukünftige Szenarien größer als im Süden und Osten Österreichs, wo die Simulationsläufe von den Beobachtungen stärker abweichen. Die aus den Klimaszenarien prognostizierten Änderungen von Niederschlag und Temperatur wurden schließlich als Eingangsgrößen im Wasserhaushaltsmodell *TUWmodel* verwendet, um Klimaprojektionen der Abflüsse unter Anwendung des gängigen *Delta-Change-Ansatzes* zu berechnen.

Das dritte Standbein bildet ein innovativer Ansatz, der stochastische Simulationen der für den Wasserhaushalt maßgeblichen Klimagrößen mit dem

Die Klimafolgen auf den Wasserhaushalt sind eine schwer prognostizierbare Größe. Die Informationen der Klimamodelle alleine sind zu unsicher, um hier eine zuverlässige Abschätzung zu ermöglichen.

Wasserhaushaltsmodell kombiniert. Während beim *Delta-Change-Ansatz* die aus Klimaszenarien prognostizierte Änderung Eingang findet, werden beim stochastischen Ansatz die Zeitreihencharakteristiken von Niederschlag und Temperatur mit einem statistischen Modell für die Projektion erschlossen und in die Zukunft fortgeschrieben. Die Simulationsläufe werden durch das Wasserhaushaltsmodell in ein Ensemble von Abflussreihen transformiert, die in der Folge statistisch ausgewertet werden. Das Verfahren ermöglicht eine Abschätzung des erwarteten zeitlichen Trends und dessen Vertrauensband unter der Annahme, dass beobachtete Trends der ins Modell eingehenden Klimagrößen fortauern. Diese Annahme ist schwächer als jene der Trendszenarien beobachteter Abflüsse, da die Abflussbildungsprozesse im Einzugsgebiet ein hochgradig nichtlineares Verhalten aufweisen, das sich mit dem Klimasignal überlagert. Wie beim ersten Standbein, der Niederwassertrendanalyse, basiert der Ansatz auf tatsächlich beobachteten Änderungen und ist somit als realer anzusehen als die Szenarien der Klimamodellierung.

Synthese der Informationen

Von den Einzelanalysen ist bekannt, dass die Unsicherheiten jedes Verfahrens erheblich sein können. Bei Trendanalysen des Niederwassers (1. Standbein) sind die Datenreihen meist zu kurz, um aus ihnen gesicherte Aussagen über ein Trendverhalten abzuleiten. So sind Persistenz und Linearität der Trends, welche für die Prognose angenommen werden, schwer verifizierbare Annahmen. Bei den stochastischen Projektionen (3. Standbein) ist die Informationslage günstiger als bei Trendanalysen des Niederwassers,

da meteorologische Messreihen in der Regel länger vorliegen als jene des Abflusses. Jedoch sind längere Messreihen oft inkonsistent und die Unsicherheiten des stochastischen Modells werden durch Fehler des Wasserhaushaltsmodells verstärkt. Schließlich bieten globale und regionale Klimamodelle, wie sie bei den Klimaprojektionen (2. Standbein) verwendet werden, zwar eine einzigartige Möglichkeit, die Wirkung von Treibhausgasemissionen auf das Klima abzuschätzen, die Modellstruktur ist jedoch zu grob, um kleinskalige Größen wie Niederschläge zuverlässig ableiten zu können. Vor allem in Gebirgsregionen und klimatischen Übergangsbereichen sind Klimaprojektionen des Niederschlags daher mit hohen Unsicherheiten behaftet, welche wiederum durch das Wasserhaushaltsmodell verstärkt werden.

Innerhalb des Mehr-Standbeine-Ansatzes werden die verschiedenen Verfahren überlagert und miteinander verglichen. Da unterschiedliche Informationen verwendet werden, entsteht dabei ein Informationsgewinn. Bei der Synthese können zwei Fälle auftreten: Im ersten Fall stimmen die Projektionen gut überein. Da sie aus unterschiedlichen Informationsquellen erstellt wurden, steigt unser Vertrauen in die Prognose und eine Mittelung der unabhängigen Prognosewerte wird in der Regel eine bessere Schätzung als die Einzelanalysen ergeben. Im zweiten Fall liefern die Prognoseverfahren unterschiedliche Aussagen. Aufgrund der jeweiligen Datenlage sind die Verfahren unterschiedlich zuverlässig. In diesem Fall würden wir in einem ExpertInnenenansatz die Projektionen nach ihrer relativen Güte, die regional unterschiedlich ausfallen wird, gewichten, um zu einer Gesamtschätzung zu kommen. Da sich die unterschiedlichen Informationen widersprechen wird unser Vertrauen

in die Prognose aber geringer sein als im Fall der sich stützenden Prognosen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde in der vorliegenden Studie unterschieden, ob es sich bei den Aussagen um tragfähige (harte) Aussagen handelt oder weniger Vertrauen in diese Aussagen gelegt werden kann (mittelharte sowie weiche Aussagen). Die Vorgehensweise ist analog zum IPCC-Report des UNO Weltklimarats und hat den Vorteil, dass die Unsicherheit der Prognosen in Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel berücksichtigt werden kann.

Ergebnisse der Studie

Die Ergebnisse der Studie bestehen in Methodenentwicklungen und Prognosen für Österreich und Nachbarregionen in Bayern, Slowakei, Ungarn. Die Aussagen beziehen sich auf die mittlere Änderung der Niederwasserabflüsse für die Prognosezeiträume 2021-2050 und 2051-2080 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1976-2008.

Aufgrund der Trendanalysen [Abb. 2](#) konnten vier Regionen mit ähnlichem Trendverhalten unterschieden werden: Alpen, Nordösterreich, Osten und Südosten, Südwesten. Für die Region nördlich der Alpen ergeben Trendextrapolation der beobachteten Niederwasserabflüsse und stochastische Projektionen keine signifikanten Änderungen, Klimamodellszenarien hingegen einen geringen Anstieg in naher Zukunft, sowie eine Abnahme in fernerer Zukunft. Die Synthese aller Informationen lässt somit keine signifikante Änderung in der Periode 2020-2050 (mittelharte Aussage) und eine geringe Abnahme in der Periode 2050-2080 (weiche Aussage) erwarten. Die Region südlich der

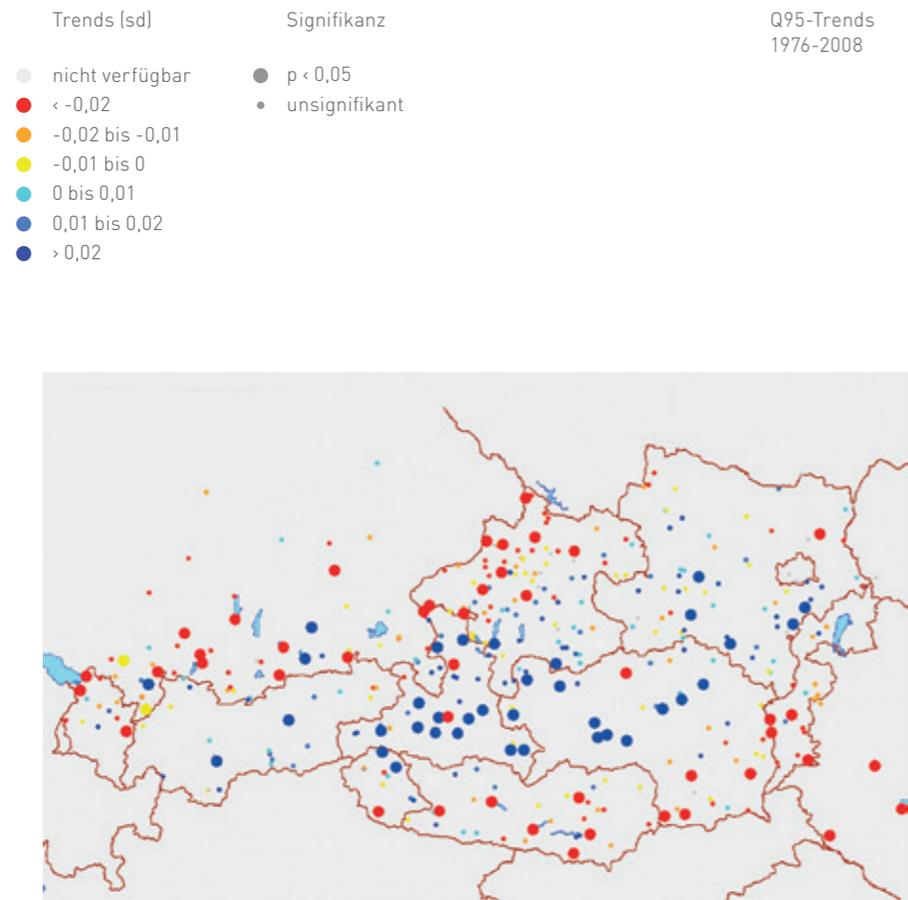


Abb. 2

Trends gemessener Niederwasserabflüsse innerhalb der Periode 1976-2008.

Berechnungen basieren auf den Jahreswerten von Q95 (Abfluss, der an 95% der Tage im Jahr erreicht oder überschritten wird).

Blaue Symbole: Abflusszunahme, rote Symbole: Abflussabnahme; große Symbole kennzeichnen signifikante Trends. Trends sind in Standardabweichung pro Jahr angegeben.

Alpen lässt eine Untergliederung in zwei Zonen mit unterschiedlichen Klimafolgen erkennen. Der Südwesten (etwa Oberkärnten) verhält sich ähnlich wie die Region nördlich der Alpen. Hier führen alpine Einflüsse der höhergelegenen Gewässerabschnitte zu einer Dämpfung von klimabedingten Trends zu geringeren Niederwasserabflüssen (mittelharte bis weiche Aussage). Der Südosten (Burgenland, Weststeiermark, Ostkärnten) zeigt ein räumlich homogenes Verhalten. Die Niederwasserprojektionen ergeben für 2021-2050 eine Abnahme von etwa 15% (mittelharte Aussage) und für 2051-2080 eine deutlichere Abnahme von etwa 20-30% (weiche bis mittelharte Aussage). In den Alpen zeigen Klimaszenarien eine gute Übereinstimmung mit beobachteten Trends. Hier treten Niederwässer typischerweise im Winter auf und sind durch die saisonale Lufttemperatur gesteuert, deren Entwicklung durch Klimamodelle relativ gut prognostizierbar ist. Die kombinierte Information der Projektionen ergibt eine Zunahme um 20-40% für 2020-2050 (harte bis mittelharte Aussage) und um 30-50% für 2050-2080 (mittelharte Aussage).

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes CILFAD wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederwasserabfluss in Österreichs Flüssen und Bächen durch Anwendung eines innovativen Drei-Standbeine-Ansatzes untersucht. In den Alpen Österreichs werden die Abflüsse bei Winterniederwasser wegen höherer Lufttemperaturen deutlich zunehmen, was als günstig zu betrachten ist. In den Flachlandregionen Ost- und Südösterreichs kann eine Abnahme der Abflüsse bei Niederwasser eintreten.

Hierdurch kommt es vor allem im Sommerhalbjahr zu einem geringeren Wasserdargebot, was als ungünstig zu betrachten ist. Keine signifikanten Änderungen der Niederwasserabflüsse sind im Norden und Südwesten Österreichs zu erwarten. Die Ergebnisse der Studie stützen sich auf unterschiedliche Informationsquellen und sind daher robuster als Einzelanalysen, die sich entweder auf beobachtete Trends oder auf Klimaprojektionen stützen. Verbleibende Unsicherheiten sind u.a. auf relativ kurze Messzeiträume zurückzuführen, die eine Einschätzung des Klimawandels in Bezug auf die natürliche Klimavariabilität erschweren. Für eine bessere Einschätzung könnten Klimarekonstruktionen herangezogen werden, die im Folgeprojekt DALF-Pro untersucht werden sollen.

Gregor Laaha



Projektleitung

Assoz. Prof. Dipl.-Ing. Dr. **Manfred Kleidorfer**

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Umwelttechnik



Beteiligte Institutionen

- hydro & meteo GmbH & Co KG, Lübeck, Deutschland (www.hydrometeo.de)
- alpS GmbH, Innsbruck, Österreich (www.alps-gmbh.com)
- hydro-IT GmbH, Innsbruck, Österreich (www.hydro-it.com)



Gute Gründe für das Projekt

- Städtische Infrastrukturnetzwerke wie Entwässerungssysteme oder Wasserversorgungsanlagen sind von höchster Bedeutung für den Lebensraum Stadt.
- Durch die Veränderungen des Klimas muss mit einer Zunahme von Starkregenereignissen, sowohl in deren Häufigkeit als auch in der Intensität gerechnet werden.
- Wenn Anpassungsmaßnahmen für städtische Entwässerungssysteme geplant werden ist es notwendig, Klimawandeleinflüsse und Stadtentwicklung gemeinsam zu betrachten.

www.dynalp.com

DynAlp

Dynamic Adaptation of Urban Water Infrastructure for Sustainable City Development in an Alpine Environment

Herausforderungen für die siedlungswasserwirtschaftliche Infrastruktur durch Klimawandel und Stadtentwicklung

Motivation und Zielsetzung

Städtische Infrastrukturnetzwerke wie Entwässerungssysteme oder Wasserversorgungsanlagen sind von höchster Bedeutung für den Lebensraum Stadt. Sie schaffen die Grundlage für Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung, ihre Zuverlässigkeit ist eine Bedingung für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung des urbanen Raums. Diese Anlagen der Grundversorgung der Bevölkerung haben eine sehr lang Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren (in einigen Fällen auch länger) und sollten daher vorausschauend geplant werden. Mit sich ändernden Randbedingungen durch ein sich änderndes Klima, eine veränderte Besiedlungsstruktur (wachsende oder schrumpfende Städte), veränderte Nutzungsgewohnheiten durch die Bevölkerung (z.B. sinkender oder steigender Wasserbedarf) oder veränderte umweltrelevante Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Anlagen können Anpassungsmaßnahmen notwendig werden.

Durch die Veränderungen des Klimas muss mit einer Zunahme von Starkregenereignissen, sowohl in deren Häufigkeit als auch in der Intensität gerechnet werden. Dies bedeutet, dass bestehende Entwässerungsnetze, deren Zweck es ist, Niederschlagswasser schadlos aus besiedelten Gebieten in die Flüsse abzuleiten, überlastet werden. Damit steigt einerseits die Überflutungsgefahr, das Risiko für Sachschäden und im Extremfall auch die Gefahr für Leib und Leben, und andererseits auch die Belastung für Flüsse durch Zunahme der Schmutzemissionen aus dem Entwässerungssystem. Gerade der Sommer 2015 hat mit seiner hohen Zahl an Gewitter- und Starkniederschlagsereignissen mit Überlastung von Entwässerungsnetzen gezeigt, welche Folgen hier immer häufiger auf uns zukommen können.

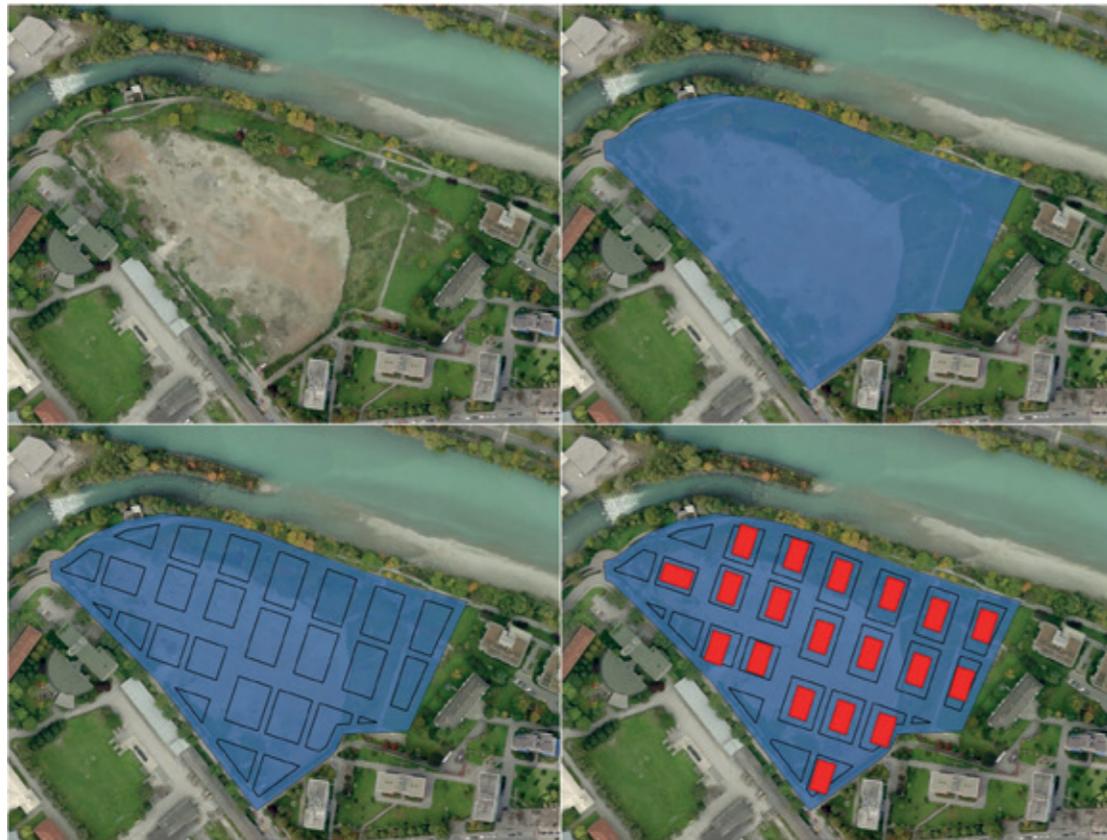


Abb. 1

Besiedelung von Freiflächen im Stadtentwicklungsmodell

Zusätzlich zu Veränderungen des Niederschlags durch klimatische Veränderungen führen Bevölkerungswachstum und Stadtentwicklung, im Besonderen die Versiegelung von Oberflächen und Landnutzungsänderungen, zu einer erhöhten Belastung der urbanen Wasserinfrastruktur. Speziell der Anschluss neu besiedelter Flächen im Stadtgebiet an das bestehende Kanalisationssystem kann das Risiko einer Überflutung steigern.

Durch den gezielten Einsatz von Verfahren, die das Niederschlagswasser gar nicht mehr bis zur Kanalisation leiten, kann die Belastung für das Netz und damit die Überflutungsgefahr gemindert werden.

Solche Verfahren sind beispielsweise Infiltrationsanlagen (Mulden, Rigolen, etc.), welche den anfallenden Regenabfluss vor Ort in den Untergrund versickern. Das Einbeziehen dieser Konzepte in die Betrachtung der Stadtentwicklung hilft auch positive Auswirkungen zu berücksichtigen, wenn beispielsweise bereits erschlossene und bebaute Gebiete mit diesen Kenntnissen neu entwickelt werden. Dies kann sogar so weit gehen, dass ein klimawandelbedingter Anstieg der Niederschlagsintensität durch dezentrale Regenwasserbehandlung kompensiert werden kann.

Das Projekt DynAlp behandelt diese Fragestellungen. Es untersucht, welchen Einfluss Klimawandel auf die für die Siedlungsentwässerung relevanten Niederschlagsereignisse hat, wie sich prognostizierte Bevölkerungsänderungen in der Stadtentwicklung auswirken und was dies für die Leistungsfähigkeit bestehender Entwässerungssysteme bedeutet. Dabei wurde ein Stadtentwicklungsmodell erstellt und mit einem hydrodynamischen Kanalnetzmodell kombiniert. Niederschlagsdaten unter Berücksichtigung des Klima-

wandels wurden für verschiedene Emissionsszenarien mittels lokalem statistischem Downscaling für die Simulationen bereitgestellt. Es wurden die kombinierten Einflüsse von Klimawandel und Stadtentwicklung auf das Entwässerungssystem sowie die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen untersucht. Die Ergebnisse sind in einer Web-GIS-Umgebung visualisiert, um sie in einfacher Weise EntscheidungsträgerInnen und der interessierten Öffentlichkeit zugänglich und verständlich zu machen.

Fallstudie Innsbruck

Als Fallstudie zur Entwicklung und Demonstration dieser Vorgangsweise wurde die Stadt Innsbruck ausgewählt. Innsbruck zählte mit Jahresende 2000 112.350 EinwohnerInnen mit Hauptwohnsitz, wobei nur etwa ein Drittel des 105 km₂ großen Gemeindegebietes als Dauersiedlungsraum genutzt werden kann. Prognosen der Österreichischen Raumordnungskonferenz weisen für 2030 bzw. 2050 einen Zuwachs der Bevölkerung auf 151.000 bzw. 166.000 EinwohnerInnen an, wobei die Stadt schon Ende 2014 einen Zuwachs auf 130.000 EinwohnerInnen aufweist. Die Stadt wird durch ein Mischsystem entwässert, d.h. Schmutz- und Regenwasser werden gemeinsam in Kanälen abgeführt und bei Überschreitung eines bestimmten Bemessungsabflusses an verschiedenen Stellen im Stadtgebiet in den Inn entlastet. Die für die Bemessung der Siedlungsentwässerung relevanten Starkniederschläge geschehen im Zuge von Gewitterereignissen während der Sommermonate.



Abb. 2

Visualisierung der Simulationsergebnisse in einer Weboberfläche

Stadtentwicklung

Die Modellierung der Stadtentwicklung und der Landnutzungsänderungen ist oft sehr aufwendig, da der Datenbedarf hoch und das Einrichten lauffähiger Modelle anspruchsvoll ist. Eine Vielzahl an existierenden Simulationsprogrammen ist verfügbar, sie sind meist jedoch für andere Zielsetzungen als den Einsatz in der Siedlungswasserwirtschaft konzipiert. Ebenso sind diese Stadtentwicklungsmodelle oft zu komplex, um von Städten (bzw. den Betreibern der Netze) mit kleiner bis mittlerer EinwohnerInnenzahl eingesetzt zu werden. Oft sind die notwendigen Eingangsdaten (z.B. Einkommensdaten) aufgrund des Datenschutzes in Österreich auch nicht verfügbar. Daher wurde ein eigenständiges Stadtentwicklungsmodell erstellt. Dieses beinhaltet eine umfassende Simulation der Entwicklung der Stadt in der räumlichen und zeitlichen Dimension, gleichzeitig werden aber relativ wenige Eingangsdaten benötigt. Dadurch ist ein schneller und unkomplizierter Einsatz möglich, zudem ist das Modell auf die Kopplung mit siedlungswasserwirtschaftlichen Rohrnetzmodellen wie EPA SWMM (Entwässerung) oder EPANet (Wasserversorgung) ausgelegt. Das Modell unterscheidet dabei nach Typ der Fläche (Wohnen, Gewerbe, Industrie), Bebauungsdichte und der maximalen Bauhöhe, welche für die neuen, zu besiedelnden Bereiche in Abhängigkeit von bereits existierenden Strukturen ermittelt wird. Anschließend werden für die Siedlungswasserwirtschaft relevante Parameter anhand der simulierten Bebauung und neu verteilten Bevölkerung berechnet. Dazu zählen der Trockenwetterabfluss, die an das Kanalsystem angeschlossene versiegelte Fläche, oder auch der Wasserbedarf. Der Minimalbedarf für diese Berechnungen sind eine Bevölkerungsprojektion und die verfügbaren

Freiflächen für den gewünschten Prognosezeitraum. Zusätzliche, optionale Randbedingungen wie etwa maximale Bevölkerungs- oder Bebauungsdichte, Gebäudehöhe oder frühestmögliches Besiedlungsjahr können als Parameter eingegeben werden. Der Vorteil bei der Verwendung eines derartigen Modelles gegenüber der manuellen Definition von Entwicklungsgebieten liegt vor allem daran, dass auf einfache Weise stochastische zukünftige Entwicklungen für unterschiedliche Entwicklungsszenarien erstellt werden können. Ziel ist es daher nicht, eine bestimmte Zukunft besonders exakt vorherzusagen, sondern eine Bandbreite möglicher Entwicklungen zu testen bzw. zu untersuchen, wie robust verschiedene Anpassungsmaßnahmen auf diese Bandbreiten reagieren. Dies ist in Hinblick auf die Unsicherheiten in der Prognose der Stadtentwicklung der zielführendere Zugang. [Abb. 1](#)

Klimawandel

Entwässerungssysteme werden entsprechend geltender Normen und Regelblätter so bemessen, dass für bestimmte Wiederkehrzeiten (Jährlichkeit) in Abhängigkeit der Landnutzung eine Überlastung des Kanalsystems vermieden wird. Das bedeutet, dass beispielsweise in Stadtzentren eine Überlastung maximal alle fünf Jahre, in ländlichen Gebieten einmal pro Jahr, zulässig ist. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Überlastung gleichzeitig mit einem Schaden verbunden ist. Die Wiederkehrzeiten dafür sind höher und liegen bei einmal in 10 Jahren für ländliche Gebiete und einmal in 30 Jahren für Stadtzentren. Diese Wiederkehrzeiten basieren auf statistischen Auswertungen von aufgezeichneten Niederschlagsdaten aus der Vergangenheit.

Als Folge des Klimawandels ist zu erwarten, dass sich die Niederschlagsintensitäten erhöhen und damit die Wiederkehrzeiten verschieben. Also wird ein Ereignis, das beispielsweise derzeit einmal in 10 Jahren auftritt, häufiger vorkommen bzw. ein Ereignis, das zukünftig einmal in 10 Jahren auftritt, stärker sein. Für die Verwendung in Kanalnetzmodellen ist es notwendig, dass Niederschlagsdaten in einer zeitlichen Auflösung von 5 bis maximal 15 Minuten vorliegen. Alternativ zu real aufgezeichneten Ereignissen können auch aus Regencharakteristiken abgeleitete Modellregen verwendet werden. Im Projekt DynAlp wurden basierend auf bereits verfügbaren Klimawandelprojektionen (reclip:century-Daten und alpine Niederschlags-Rasterdaten EUR04M APGD von MeteoSuisse) für die Emissionsszenarien A1B, A2 und B2 und historischen Niederschlagszeitreihen die Änderung der Intensitäten für Ereignisse unterschiedlicher Wiederkehrzeit zwischen 0,5 (2 Mal pro Jahr) und 100 (alle 100 Jahre) für die Periode 2021-2050 ermittelt und der Periode 1971-2000 gegenübergestellt. Daraus wurden „zukünftige“ Modellregen des Typs Euler II erstellt, um die Leistungsfähigkeit des Entwässerungsnetzes zu untersuchen.

Kanalnetzberechnung und Überflutungsrisiko

Um die Einflüsse aus Stadtentwicklung und Klimawandel zu untersuchen, wurden hydrodynamische 1D-Simulationen des Entwässerungsnetzes gekoppelt mit 2D-Simulationen der Oberfläche durchgeführt. Die 2D-Simulationen erlauben es, Informationen über den Wasserstand auf der Oberfläche im Überflutungsfall zu erhalten und damit detailliertere Aussagen über gefährdete Gebiete und Gebäude zu tätigen. Dazu wurden für den Innenstadtbereich detaillierte Aufnahmen der Gebäude gemacht und ermittelt, welcher Wasserstand eine Gefährdung darstellt. Dies ist für jedes Gebäude unterschiedlich und hängt beispielsweise von der Höhe der Bordsteinkante, der Lage von Kellerfenstern und Lichtschächten ab oder ob der Eingang ebenerdig oder über Stufen erreichbar ist. Durch Verschneiden dieser Gebäudeinformation mit den ermittelten Wasserständen kann die Überflutungsgefahr für jedes Gebäude individuell ermittelt werden.

Aus der Kombination unterschiedlicher Stadtentwicklungsszenarien (unterschiedliche Bevölkerungsprognosen, unterschiedliche Verteilung), unterschiedlicher Klimaszenarien, verschiedener Anpassungsmaßnahmen und unterschiedlicher Wiederkehrzeiten ergibt sich eine Vielzahl (ca. 100.000) unterschiedlicher Simulationen. Diese Simulationsergebnisse werden anschließend statistisch ausgewertet. Um diese Daten aber auch direkt nutzbar zu machen und EntscheidungsträgerInnen sowie der interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wurde eine Web-GIS-Umgebung erstellt. Über die Auswahl verschiedener Parameter (z.B. Klimaszenario, Stadtentwicklungsszenario, Wiederkehrzeit) werden sofort die entsprechenden Simulationsergebnisse angezeigt. Abb.2

Zusammenfassung und Ausblick

Wenn Anpassungsmaßnahmen für städtische Entwässerungssysteme geplant werden ist es notwendig, Klimawandeleinflüsse und Stadtentwicklung gemeinsam zu betrachten. **Zur Vermeidung falscher Entscheidungen, die sich aufgrund der langen Lebensdauer der Anlagen noch lange Auswirken können, sollten Anpassungsmaßnahmen möglichst so geplant werden, dass sie unter einer großen Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen zufriedenstellend funktionieren.** Gleichzeitig kann Anpassung auch eine Chance darstellen, die bestehenden Systeme nachhaltiger zu machen. Interessant in diesem Zusammenhang ist vor allem die integrierte Planung der Stadt und ihrer Infrastruktur. Gerade für die Siedlungswasserwirtschaft interessante Anpassungsmaßnahmen durch dezentrale Niederschlagswasserbehandlung (beispielsweise durch Gründächer, Grünflächen zur Versickerung oder Regenwasserspeicherung in Teichen), können gleichzeitig auch andere erwünschte Wirkungen in der Stadt haben (z.B. Verminderung von Hitzeinseln). Gleichzeitig ist es aber auch wichtig, derartige Maßnahmen auf möglich negative (zukünftige) Wirkungen hin zu untersuchen, um eine möglichst umfassende Entscheidungsgrundlage in der Anpassungsplanung zu gewährleisten.

Manfred Kleidorfer



Projektleitung

A.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. **Friedrich Schöberl**, ^{Dr.} **Gertraud Meißl**
 Universität Innsbruck, Institut für Geographie



Beteiligte Institutionen

- Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren, Abteilung Gebietswasserhaushalt, Innsbruck
- Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie
- Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Deutschland



Gute Gründe für das Projekt

- Während in Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf hydrologische Einzugsgebiete meist größere Gebiete bearbeitet werden, bei denen der Einfluss der Gebiets-eigenschaften wegen Ausmittelungstendenzen geringer ist, gab es zu kleinen Einzugs-gebieten (< 10 km²) bei hochintensiven Starkregen bisher wenige Daten.
- Hydrologische Modelle arbeiten üblicherweise mit fixen Parametersätzen z.B. zur Land-nutzung. Die Ergebnisse des Projektes SeRAC-CC zeigten jedoch, dass sich beispiels-weise die Abflussreaktion von intensiv genutzten Almflächen zu Beginn der Weidesaison deutlich von jener am Ende der Weidesaison unterscheidet. Es gilt nun Wege zu finden, wie dies in der Modellparametrisierung berücksichtigt werden kann.
- Das Projekt verdeutlicht die Unsicherheiten bei der Ermittlung von Bemessungsereig-nissen, denen bei der Projektierung von Schutzmaßnahmen künftig in besonderem Maße Rechnung getragen werden muss.

www.uibk.ac.at/geographie/serac-cc

SeRAC-CC

Sensitivity of the Runoff Characteristics of Small Alpine Catchments to Climate Change

Viele Siedlungen in den Alpen liegen auf Murschutt- und Schwemmkegeln kleiner alpiner Täler mit einer Einzugsgebietsfläche von < 10 km². Hochwasser- und Murereignisse können dort daher großen Schaden anrichten, insbesondere auch aufgrund der – gebiets-größenbedingten – sehr kurzen Vorwarnzeit.

Im Gegensatz zu größeren Gebieten, bei denen Aus-mittelungseffekte stärker in den Vordergrund treten, wird die Abflussreaktion kleiner alpiner Einzugsge-biete auf Niederschlagsereignisse sehr stark von den Gebietseigenschaften gesteuert.

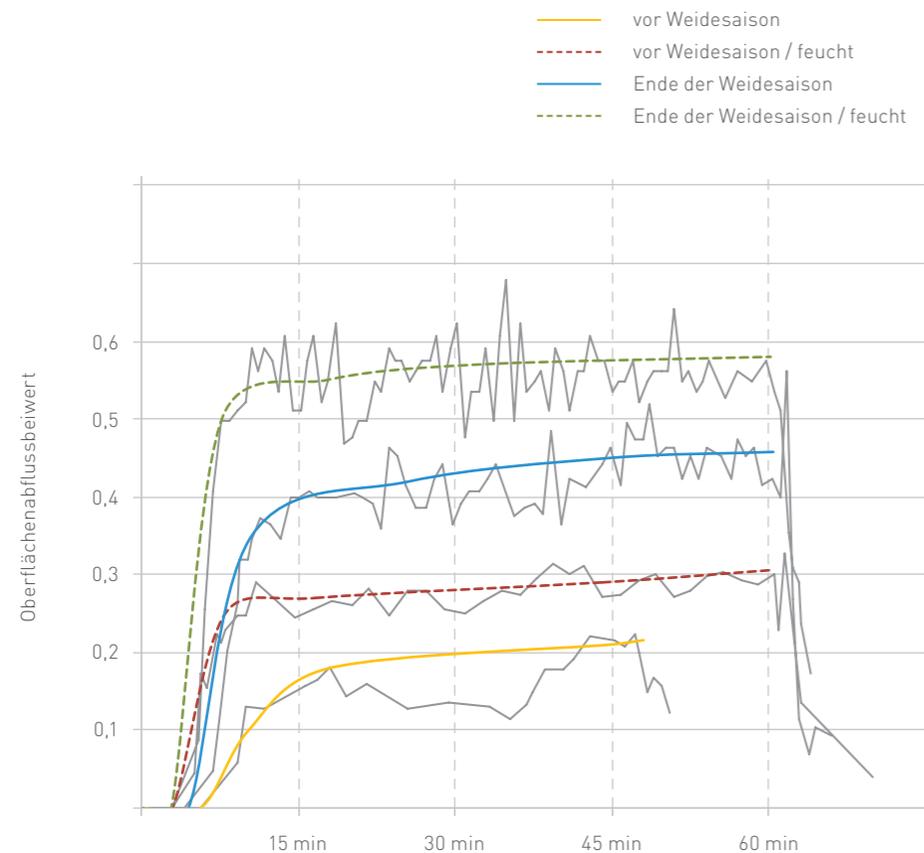


Abb. 1

Oberflächenabfluss bei unterschiedlichen Systemzuständen an einem Weiderasen im Brixenbachtal vor der Weidesaison und nach deren Beendigung.

Der durchgezogene Graph zeigt die Reaktion bei trockenen Verhältnissen, der strichlierte bei den Folgeversuchen bei hoher Vorfeuchte aufgrund der vorangegangenen Beregnung.

Die Höhe des im Siedlungsgebiet ankommenden Spitzenabflusses (in m^3/s) hängt ab von

- der naturräumlichen Ausstattung der Einzugsgebietsteilflächen (geologische Eigenschaften, Relief, insbesondere Anbindung an das Gerinnenetzwerk, Boden, Vegetation),
- dem aktuellen Systemzustand der Einzugsgebietsteilflächen (z.B. Bodenwassergehalt, Existenz einer hydrophoben Auflage, Bodenverdichtung durch Beweidung, Bodenfrost, Schneedecke) und
- den Eigenschaften des Niederschlagsereignisses (Dauer und Intensität, Ausmaß der Überregnung des Einzugsgebiets, Schneefallgrenze).

Veränderungen der Niederschlagsseigenschaften und/oder der in einem Einzugsgebiet auftretenden Systemzustände in ihrer Bandbreite bzw. ihrem zeitlichen Ablauf wirken sich entscheidend auf den zu erwartenden Spitzenabfluss bestimmter Auftretenswahrscheinlichkeiten aus, der der Planung von Schutzmaßnahmen zugrunde gelegt wird.

Das Projekt SeRAC-CC zielte daher darauf ab, den Einfluss des Klimawandels auf die Abflussreaktion von kleinen alpinen Einzugsgebieten zu untersuchen.

Es wurden kritische Kombinationen von Systemzuständen und meteorologischen Bedingungen identifiziert und ihre zukünftigen Auftretenswahrscheinlichkeiten analysiert. Um die erwarteten Abhängigkeiten von der Höhenlage und den Niederschlagsregimen zu berücksichtigen, wurden drei Einzugsgebiete untersucht, die niedrige, mittlere und höhere Lagen repräsentieren:

1. Einzugsgebiet des Ruggbachs

7 km^2 , 400-1.100 m ü.d.M.

in der Molassezone (Bregenzer Wald) am Alpennordrand (Vorarlberg, Österreich)

2. Einzugsgebiet des Brixenbachs

9 km^2 , 900-2.000 m ü.d.M.

in der Grauwackenzone (Kitzbüheler Alpen) nördlich des Alpenhauptkamms (Tirol, Österreich)

3. Einzugsgebiet des Längentals

9 km^2 , 1.900-3.000 m ü.d.M.

in den kristallinen Stubai Alpen am Alpenhauptkamm (Tirol, Österreich)

Methoden

- Feldmessungen, insbesondere Starkregensimulationen, um die Niederschlags-Abflussreaktion repräsentativer Standorte bei verschiedenen Systemzuständen hinsichtlich Bodenfeuchtegehalt, Beweidungszustand und Existenz einer isothermen Schneedecke zu bestimmen,
- Aufbereitung von Klimaszenarien: Einerseits wurden regionale Klimamodelle (ALADIN – ARPEGE, REMO und RegCM3 – ECHAM5) fehlerkorrigiert sowie räumlich und zeitlich disaggregiert. Zu Vergleichszwecken wurden andererseits mithilfe des statistisch-empirischen Expanded-Downscaling-Verfahrens (EDS) auf Basis der globalen Modelle MPI-ESM-MR, CNRM-CM5 und IPSL-CM5 Szenarien für hochintensive Starkregen für die Testgebiete erstellt.

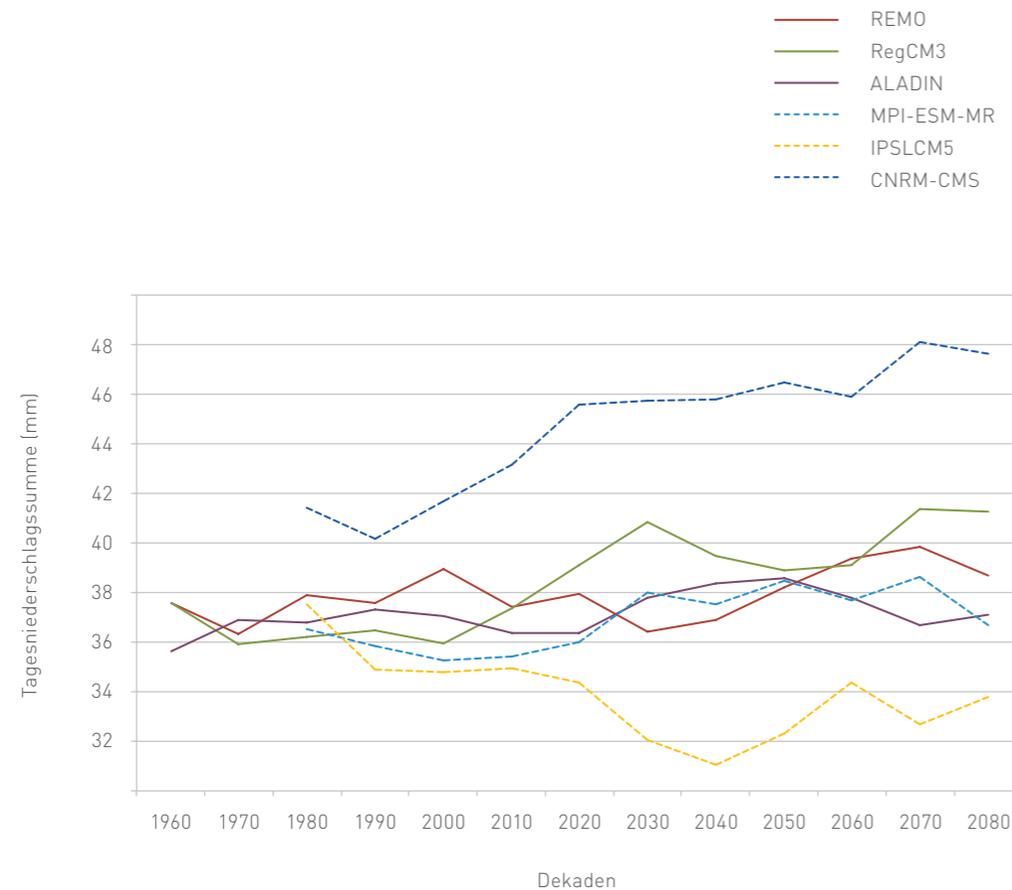


Abb. 2

Entwicklung der Tagesniederschlagssumme mit einer Unterschreitenswahrscheinlichkeit von > 99,5% für das Brixenbachtal.

Durchgezogene Linien basieren auf regionalen Klimamodellen (SRES A1B). Strichlierte Linien zeigen Szenarien, die mithilfe des Expanded-Downscaling-Verfahrens (EDS) aus globalen Klimamodellen (RCP 8,5) abgeleitet wurden.

- Kontinuierliche hydrologische Simulationen mit dem Niederschlags-Abflussmodell HQsim, angetrieben durch Klimaszenarien, um zu ermitteln, wie sich saisonale Systemzustandsmuster verändern.
- Ereignisbasierte hydrologische Simulationen mit dem Niederschlags-Abflussmodell ZEMOKOST, um die Bandbreiten aktueller und zukünftiger Spitzenabflüsse zu simulieren sowie
- Sensitivitätsstudien zur Abschätzung von Auftretenswahrscheinlichkeiten.

Projektergebnisse

a)

Die Abflussreaktion kleiner alpiner Einzugsgebiete (< 10 km²) auf Niederschlagsereignisse verändert sich in Abhängigkeit vom Systemzustand und den Niederschlagsereignisseigenschaften. Im Rahmen des Projekts wurden der Einfluss (1) des Bodenwassergehalts zu Ereignisbeginn, (2) der Beweidungsintensität und (3) der Existenz einer isothermen Schneedecke untersucht. Der Grad der Empfindlichkeit hängt von der Größe jener Einzugsgebietsteilflächen ab, die bei mittlerem (nicht kritischem oder günstigem) Systemzustand eine mittlere Infiltrationskapazität haben. Die Abflussreaktion von Flächen mit sehr hoher (z.B. Wald) bzw. sehr niedriger (z.B. Sättigungsflächen) Infiltrationskapazität bei mittleren Bedingungen verändert sich bei Änderungen des Systemzustands (z.B. erhöhte Bodenfeuchte) kaum. Flächen mit mittlerer Infiltrationskapazität reagieren hingegen sehr sensitiv auf Veränderungen des Bodenwassergehalts sowie auf Oberbodenverdichtung aufgrund von mechanischer Belastung, z.B.

Beweidung. Je größer der Anteil dieser Flächen an der Gesamteinzugsgebietsfläche ist, desto sensibler reagiert der Spitzenabfluss auf den Klimawandel.

Abb. 1 zeigt die Größenordnung systemzustandsbedingter Abflussveränderungen am Beispiel einer Starkregensimulation (Beregnung einer 80 m² großen Fläche, Dauer des Versuchs 1 h, Intensität 100 mm/h) auf einem Weiderasen im Brixenbachtal. Der entstandene Oberflächenabfluss bei hoher Vorfeuchte war ca. 1,3 Mal höher als bei trockenen Verhältnissen. Noch größere Veränderungen zeigte die Auswirkung der Beweidung: Der Oberflächenabfluss erwies sich am Ende der Weidesaison als annähernd doppelt so hoch wie vor Beginn der Weidesaison. Über den Winter sorgt Bodenfrost und im Frühjahr das Pflanzenwachstum wieder für die Lockerung des verdichteten Oberbodens.

b)

Aussagen zur zukünftigen Entwicklung von Starkniederschlagsereignissen müssen wegen der Limitierungen in den Klimamodellen und den statistischen Auswertungen mit Vorsicht interpretiert werden. Analysen der Intensität von Starkniederschlagsereignissen zeigen aber einen klaren Anstieg im Ausmaß von bis zu 10%. Abb. 2

Analysen der vertikalen Stabilität der Luftmassen (Showalter-Index) deuten auf eine Zunahme der Auftretenswahrscheinlichkeit von Starkniederschlagsereignissen mit sehr hoher Intensität. Aufgrund der Deutlichkeit des Klimasignals und der physikalischen Plausibilität der Befunde muss die Zunahme der Starkniederschlagsintensität auf der lokalen Skala (konvektive Zellen) bei der Ermittlung von Bemess-

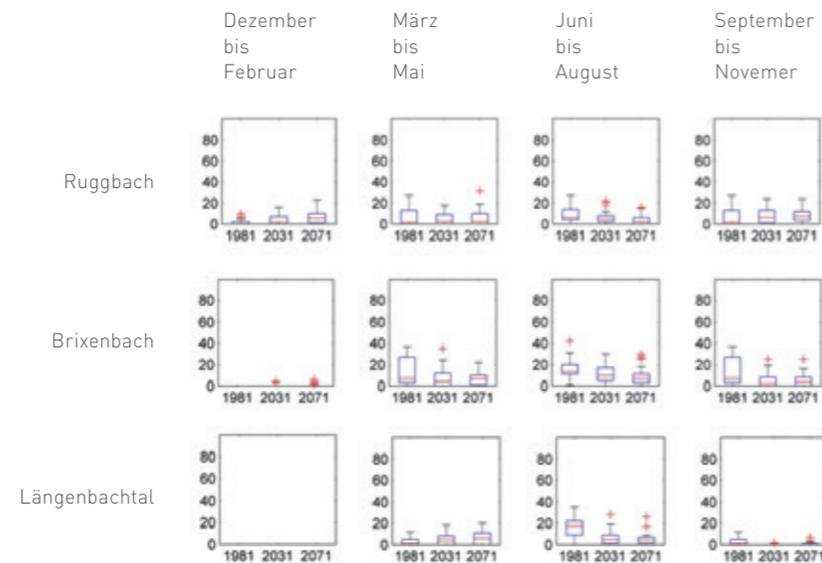


Abb. 3

Bloxplots mit der Anzahl der Tage mit kritischem Bodenwassergehalt

y-Achse = Anzahl der Tage, an denen ein im hydrologischen Modell HQsim definierter Bodenwassergehaltsschwellenwert überschritten wird. Das Modell wurde angetrieben durch das Klimaszenario REMO.

Die Jahre auf der x-Achse zeigen den Beginn der untersuchten Zeitabschnitte an (1981-2010, 2031-2060, 2071-2100).

sungsereignissen, also Ereignissen, anhand derer Schutzmaßnahmen geplant werden, trotz der bekannten Modellunsicherheiten jedenfalls berücksichtigt werden.

c)

Die Abnahme der Schneedecke in Ausdehnung und Dauer sowie die steigende Evapotranspiration aufgrund der höheren Lufttemperaturen führen unabhängig von der exakten Festlegung des Schwellenwerts für kritische Zustände zu einer Abnahme der Tage mit kritischem Systemzustand im Sommer (Juni bis August) um die Hälfte oder mehr. [Abb. 3](#) Im Frühling (März bis Mai) kann für das Einzugsgebiet des Ruggbachs kein Trend, für das des Brixenbachs eine Abnahme und für das des Längentalbachs eine Zunahme der Tage mit kritischem Bodenwassergehalt festgestellt werden. Diese Unterschiede sind in der differierenden Höhenlage der Einzugsgebiete begründet. Für den Herbst und Winter zeigten die Simulationen unterschiedliche Ergebnisse je nach Klimaszenario, es zeichneten sich keine belastbaren Trends zur Veränderung der Auftretenswahrscheinlichkeit von kritischem Bodenwassergehalt ab.

d)

Somit sind teilweise gegensätzliche Entwicklungen zu erwarten: Auf der einen Seite zeigen die Projektergebnisse eine Zunahme der Intensität von Starkregenereignissen und eine Verlängerung der Periode, in der Gewitter wahrscheinlich auftreten. Auf der anderen Seite deuten die Simulationen auf die Vorverlegung der Perioden mit hohem Bodenwassergehalt in Abhängigkeit von der Höhenlage im Frühling und auf eine Verringerung der Tage mit kritischem Bodenwassergehalt im Sommer hin.

Derzeit kann keine verlässliche Aussage getroffen werden, welche Auswirkungen das auf die Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Niederschlags-Abflussereignisse hat.

e)

Die Projektergebnisse legen jedoch eine Erweiterung der Bandbreite zukünftiger Spitzenabflüsse nahe. Nimmt man nach dem Clausius-Clapeyron-Gesetz eine Zunahme der Regensumme für jedes Gewitterereignis um 7% pro Grad Temperaturzunahme (Temperatur zu Ereignisbeginn) an, erhöht sich der Spitzenabfluss um ca. 11% \pm 2,5% (untersuchter Bereich 1°-5°C Temperaturanstieg). Bei einem Zusammentreffen ungünstiger Systemzustände mit erhöhten Niederschlagsintensitäten ist somit mit einer Zunahme der zu erwartenden Spitzenabflüsse zu rechnen.



Projektleitung

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. **Helmut Habersack**

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
CD Labor für Innovative Methoden in Fließgewässermonitoring, Modellierung und Flussbau



Beteiligte Institutionen

- Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement
- Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie
- Joanneum Research Graz, Forschungsgruppe Regionalpolitik, Risiko- und Ressourcenökonomik



Gute Gründe für das Projekt

- Die Idee: Analyse der Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Wasserkraft und Ökologie zur Schaffung eines verbesserten Verständnisses komplexer Zusammenhänge
- Der Rahmen: Interdisziplinäre Forschung durch Vernetzung österreichischer ForscherInnen und ExpertInnen
- Der Output: Wissenschaftliche Informationsgrundlage und Entscheidungshilfe zur Unterstützung aktueller Herausforderungen der Wasserkraft im Bereich der Klima- und Energiepolitik

Entwicklung eines *Decision Support Systems* zur Beurteilung der Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Energie aus Wasserkraft und Ökologie

Die Wasserkraft bildet das Rückgrat der Stromerzeugung in Österreich und deckt derzeit etwa 67,2% des Strombedarfs (E-Control, 2013). Sie ist nahezu CO₂-neutral und liefert einen bedeutenden Beitrag zur Erreichung von Klimaschutzziele.

Dennoch ist die Rolle der Wasserkraft in Österreich von einer zunehmend politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Diskussion geprägt. Österreichs PolitikerInnen und EntscheidungsträgerInnen sind mit wichtigen, integrativen und zum Teil auch kontroversiellen Entscheidungen, wie zum Beispiel der Umsetzung der Energiestrategie Österreich, des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans oder der Anpassungsstrategie an den Klimawandel konfrontiert. Das Aufeinandertreffen verschiedener Interessen, wie Klimaschutz, Energiewirtschaft und Gewässerschutz gibt Anlass zur grundsätzlichen Auseinandersetzung mit der gegenwärtigen Situation und der zukünftigen Entwicklung der Wasserkraft in Österreich.

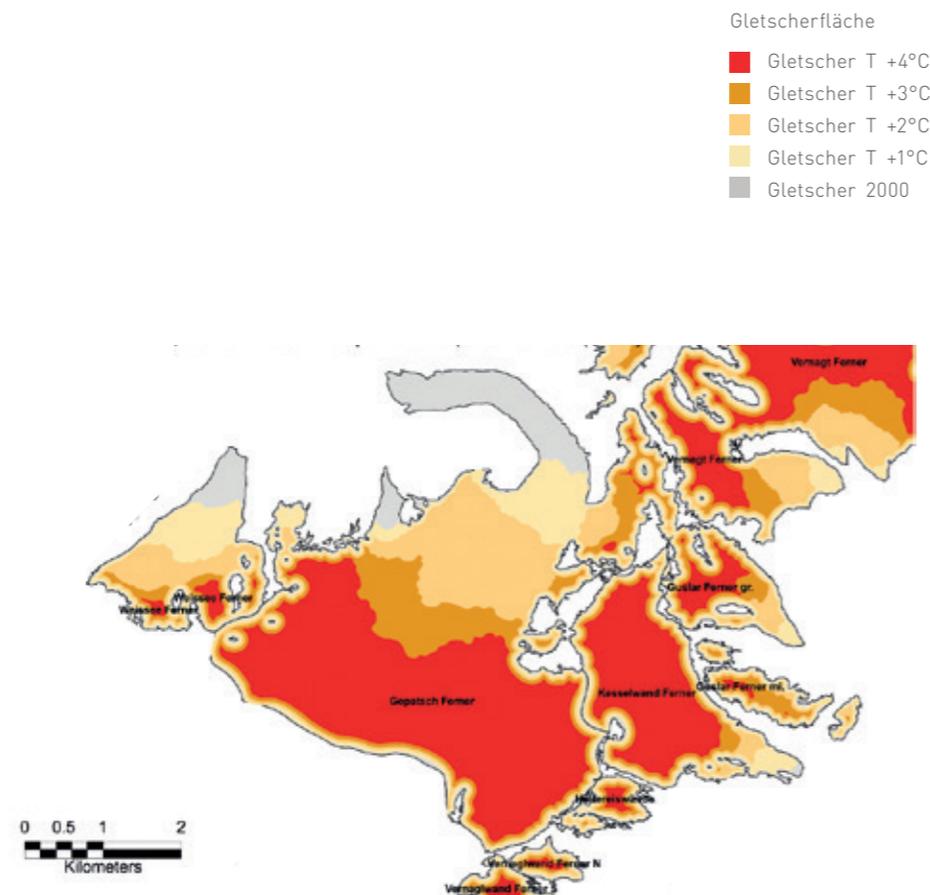


Abb. 1

Rückgang der Gletscherfläche bei einem Temperaturanstieg von 1, 2, 3 und 4 Grad Celsius am Beispiel des Gepatschferners. (Basisjahr 2000)

Ausgangsbasis: Gletscherverteilung nach HAO (2007)

Gemäß der Erneuerbare-Energien-Richtlinie EE-RL (2009/28/EC) soll bis 2020 der EU-Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 20% steigen.

Österreich ist entsprechend dem im Dezember 2008 verabschiedeten Klima- und Energiepaket der EU dazu verpflichtet, den Anteil erneuerbarer Energieträger bis 2020 auf 34% zu erhöhen.

Zudem ist im aktuellen Regierungsprogramm der österreichischen Bundesregierung das Ziel verankert, das Wasserkraftpotenzial künftig noch stärker nutzbar zu machen (Republik Österreich, 2008). Die Länder wurden angehalten, Kriterienkataloge zum Ausbau der Wasserkraft zu erstellen und ein bundesweiter Kriterienkatalog soll zu mehr Transparenz bei der Beurteilung neuer Kraftwerksprojekte beitragen (BMLFUW, 2011). Die Energiestrategie Österreich (2010) sieht durch gegebene energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen und Anreize im Ökostromgesetz eine Ausbaugröße der Klein-, Mittel- und Großwasserkraftwerke von 12,6 Petajoule (PJ) oder 3,5 Terrawattstunden (TWh) vor. 0,7 TWh können davon durch Effizienzsteigerungen und Revitalisierungen bestehender Standorte nach modernen Standards erreicht werden. Somit wird eine realistische Ausbaugröße mit mindestens 2,8 TWh angenommen (BMWFJ und BMLFUW, 2010). Durch Verankerung des „öffentlichen Interesses“ zukünftiger UVP-pflichtiger Energieprojekte in der aktuellen Novelle des Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetzes EIWOG (2010) wurden zusätzliche Weichenstellungen für große Kraftwerksprojekte geschaffen.

Fast gleichzeitig mit der Energiestrategie Österreich (2010) wurde der Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan NGP (2009) im Rahmen der Umsetzung der

EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EC) veröffentlicht. Erstmals lag eine umfassende Beurteilung des ökologischen Zustands der Fließgewässer Österreichs (> 10 km² Einzugsgebiet) vor (BMLFUW, 2010). Hierbei entsprachen 37% der Fließgewässer laut NGP dem Umweltziel „sehr guter und guter Zustand“ bzw. „gutes Potenzial“. Die restlichen 63% wiesen einen schlechteren ökologischen Zustand auf, was zu 94% auf die belastungsspezifischen Ergebnisse der Qualitätskomponenten Fische und Makrozoobenthos zurückzuführen ist (BMLFUW, 2010).

Insbesondere der starke Ausbaugrad der Wasserkraft wird als wesentliche Ursache für den unbefriedigenden ökologischen Zustand österreichischer Fließgewässer angesehen (Jungwirth et al., 2003). Ein weiterer Ausbau könnte bekannte ökologische und flussmorphologische Auswirkungen, wie z.B. eine Beeinträchtigung der Gewässerstrukturen und der Habitatqualität oder einen negativen Einfluss auf die Feststoffdurchgängigkeit haben. Dies würde jedoch im Widerspruch zu den Vorgaben der EU-WRRL (Verschlechterungsverbot bzw. Verbesserungsgebot) stehen.

Neben gewässerökologischen Aspekten, kann auch der Klimawandel, z.B. durch die Änderung der Niederschlags- und Abflussverhältnisse oder den starken Rückgang der Gletscher, einen wesentlichen Einfluss auf die Stromerzeugung aus Wasserkraft haben. Je nach Klimaszenario wird von einem Rückgang der nationalen jährlichen Stromerzeugung durch Wasserkraft zwischen 6 und 15% bis Ende dieses Jahrhunderts ausgegangen. (Stanzel und Nachtnebel, 2010)

Um dennoch wichtige politische Meilensteine (z.B. Entwicklung einer Anpassungsstrategie an den

Wasserkraftwerke in Österreich Engpassleistung

- ▲ Laufkraftwerke
- Speicherkraftwerke
- Pumpspeicherkraftwerke

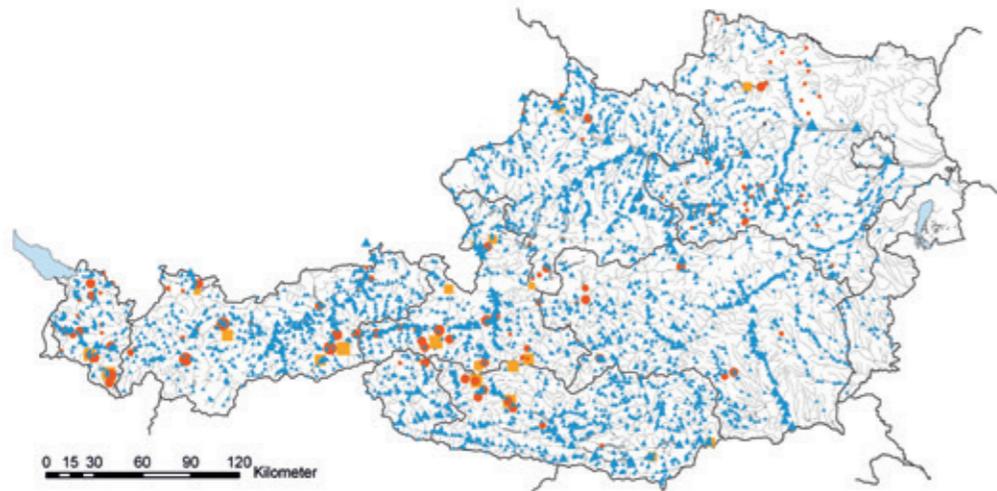


Abb. 2

Wasserkraftwerke in Österreich

Datenbasis: HAÖ (2007), Wasserbuch Länder (2010/2011)

Klimawandel, die Umsetzung der Energiestrategie Österreichs oder des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans) zu erreichen, kann die Analyse möglicher Wechselwirkungen der Wasserkraft in Österreich mit anderen Sektoren und das Aufzeigen von Synergien, Potenzialen und Konflikten von großer Bedeutung sein.

Projekt DSS_KLIM:EN

Ziel des Projektes DSS_KLIM:EN war es, eine objektive Daten- und Diskussionsbasis zu schaffen sowie ein Decision Support System zur Beurteilung der Wechselwirkungen zu entwickeln. Dazu wurden auf sektoraler Ebene Grundlagendaten erarbeitet und fachgebietsbezogene Analysen durchgeführt. So wurde beispielsweise im Arbeitspaket „Klimawandel“ eine GIS-basierte Datengrundlage (z.B. Darstellung des Rückgangs der Gletscherflächen) zur Analyse der Klimasensitivität verschiedener Wasserkraftwerkstypen erarbeitet.

Abb. 1

Im Arbeitspaket „Energiewasserwirtschaft“ wurde ein Klassifikationsschema der österreichischen Wasserkraftwerke mit insgesamt 20 verschiedenen Wasserkraftwerkstypen definiert und eine GIS-basierte Kraftwerksdatenbank entwickelt, die erstmals einen umfassenden Überblick über alle über 5.000 Wasserkraftwerke in Österreich ermöglichte.

Abb. 2

Zudem wurden Szenarien des zukünftigen theoretischen Wasserkraftausbaus gebildet. Aufbauend auf der IST-Situation des ökologischen Zustands der österreichischen Fließgewässer, wurde im WP Ökologie

das Modell „Staufluss“ entwickelt, mit dessen Hilfe zukünftige Ausbauszenarien ökologisch, bezogen auf den Staufluss als beispielhaften Eingriff in Fließgewässer, beurteilt werden können. Auf sozioökonomischer Ebene wurden verschiedene Kraftwerkstypen hinsichtlich ökonomischer Kriterien untersucht.

Der zweite Schwerpunkt des Projektes umfasste die integrative Bearbeitung. Aufbauend auf Kriterien der Sektoren Klimawandel, Energiewasserwirtschaft, Ökologie, Feststoffhaushalt/Flussmorphologie und Sozioökonomie wurden Kraftwerks-Steckbriefe für jeden Sektor erarbeitet, die eine objektive Beurteilung existierender Wasserkraftwerkstypen ermöglichten. Zudem wurden Werkzeuge, wie z.B. eine Vernetzungsmatrix zur Analyse der sektoralen Wechselwirkungen, Darstellung der Vernetzungen und Ableitung von Kausalketten entwickelt.

Abschließend wurde das Konzept (inkl. einer möglichen Visualisierung) eines web-basierten Decision Support Systems (DSS WASSERKRAFT) erstellt, welches als zukünftige Plattform für integrative Entscheidungen fungieren kann. Vorgesehen ist u.a. die Einrichtung von Online Tools, wie z.B. interaktive „Kraftwerks-Steckbriefe“, eine „Vernetzungsmatrix“, „GIS-Karten“ oder ein „Wasserkraft-Kalkulator“, mit dessen Hilfe erstmals berechnet werden könnte, wie viele neue Wasserkraftwerke auf Basis der derzeitigen Kraftwerksverteilung in Österreich für bestimmte Ausbauziele erforderlich wären und welchen Beitrag diese zur Deckung aktueller Ausbauziele haben.

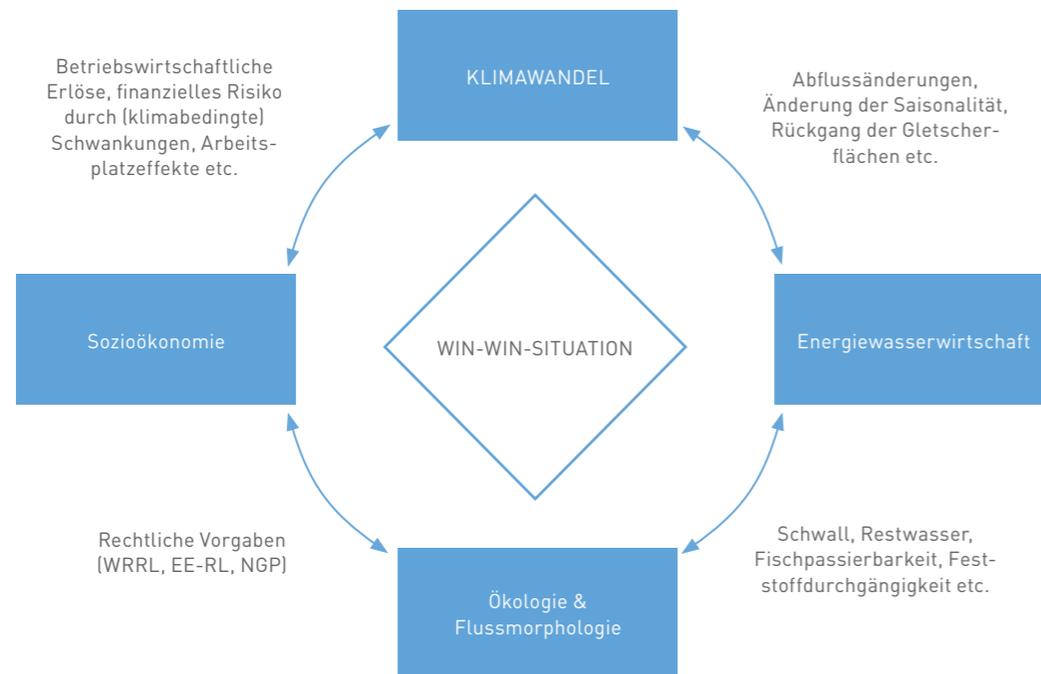


Abb. 3

Überblick über mögliche Wechselwirkungen zwischen den Sektoren Klimawandel, Energiewasserwirtschaft, Ökologie/Flussmorphologie und Sozioökonomie.

Literatur:

BMLFUW (2011): Kriterienkatalog Wasserkraft. BMLFUW – Entwurf, Stand 11.4.2011, Wien, 63 S.

BMLFUW (2010): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009. BMLFUW-UW.4.1.2/0011-1/4/2010, URL: <http://wisa.lebensministerium.at/article/archive/29367>, Wien.

BMWFJ und BMLFUW (2010): Energiestrategie Österreich. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. URL: www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf, Wien.

E-Control (2013): Statistikbroschüre 2014. Wien: E-Control Austria, 67 S.

HAÖ (2007): Hydrologischer Atlas Österreichs. 3. Lieferung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien.

Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas Universitätsverlag, Wien, ISBN 3-8252-2113-X.

Republik Österreich (2008): Regierungsprogramm 2008-2013. Masterplan Wasserkraft umsetzen, 36 S.

Stanzel, P., Nachtnebel, H.P. (2010): Wasserkraft-erzeugung bei Klimaveränderungen. In: Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich. Präsentation der aktuellen Studien. Eigenverlag des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Wien.

Wasserbuch Länder (2010/2011): Erhebung der Wasserkraftwerke in Österreich auf Basis der Österreichischen Wasserbücher (ÖWB).

Erkenntnisse

Aus dem Projekt konnten folgende Erkenntnisse/Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Es existieren starke Wechselwirkungen zwischen den Sektoren Klimawandel, Energiewasserwirtschaft, Ökologie und Sozioökonomie (verstärkend bis konträr).
- Die Wasserkraft ist je nach Kraftwerkstyp unterschiedlich vulnerabel gegenüber dem Klimawandel (Zuwachs an Stromproduktion teilweise verringert). Durch veränderte Abflussverhältnisse, z.B. infolge des Rückgangs der Gletscher, ergeben sich für jeden Wasserkraftwerkstyp in Österreich neue energiewasserwirtschaftliche, ökologische und sozioökonomische Rahmenbedingungen.
- Es ist eine Kraftwerkstyp-spezifische Betrachtung erforderlich. Zudem besteht Forschungsbedarf hinsichtlich Kraftwerkstyp-Optimierung; insbesondere in den Bereichen Feststoffdurchgängigkeit, Schwall etc.
- Die Ergebnisse des Projektes bzw. entwickelte Tools können als Informationsgrundlage bzw. Entscheidungshilfe für die Umsetzung der nationalen Klimawandelanpassungsstrategie sowie der Energiestrategie Österreich herangezogen werden.
- Empfehlung an den Klima- und Energiefonds: Zur Erreichung einer integrativen Lösung ist ein gemeinsamer Dialog mit EntscheidungsträgerInnen anzustreben (Ausgleich zwischen Klimawandel, Energiewasserwirtschaft und Ökologie).

Helmut Habersack

Alle geförderten Projekte im Überblick

AQUA-STRESS

Projektleitung	Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
Kontakt	Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Zessner (mzessner@iwag.tuwien.ac.at)
Partner	Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie; Universität für Bodenkultur Wien, Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung; BMLFUW, Abt. VII/1 Nationale Wasserwirtschaft; Amt der OÖ Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abt. Anlagen-, Umwelt und Wasserrecht; Amt der burgenländischen Landesregierung, Abt. 9 Wasser- und Abfallwirtschaft; Amt der Saluburger Landesregierung, Referat 5/06 Naturschutzgrundlagen und Sachverständigendienst; Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft in der Steiermark; IKSD - Internationale Kommission zum Schutz der Donau; Universität Hamburg, Forschungsstelle Nachhaltige Umweltentwicklung, Deutschland; Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, Department Catchment Hydrology, Deutschland; Bundesamt für Wasserwirtschaft, Insitut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 6. Ausschreibung
Dauer	Juli 2014 - September 2016
Budget	€ 375.337,00
Fördersumme	€ 296.270,00

CILFAD

Projektleitung	Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Angewandte Statistik und EDV
Kontakt	Assoz.Prof. DI Dr.techn. Gregor Laaha (gregor.laaha@boku.ac.at)
Partner	Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie (G. Blöschl, J. Parajka, A. Viglione); Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Abt. Klimaforschung (W. Schöner, K. Haslinger)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 2. Ausschreibung
Dauer	01.01.2011 - 31.12.2013
Budget	€ 316.000,00
Fördersumme	€ 316.000,00

DynAlp

Projektleitung	Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Umwelttechnik
Kontakt	Assoz. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Manfred Kleidorfer (manfred.kleidorfer@uibk.ac.at)
Partner	hydro & meteo GmbH & Co KG, Lübeck, Deutschland; alpS GmbH, Innsbruck; hydro-IT GmbH, Innsbruck
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 4. Ausschreibung
Dauer	Juli 2012 - Juni 2015
Budget	€ 252.397,00
Fördersumme	€ 252.397,00

SeRAC-CC

Projektleitung	Universität Innsbruck, Institut für Geographie
Kontakt	A. Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr. Friedrich Schöberl, Dr. Gertraud Meißl (gertraud.meissl@uibk.ac.at)
Partner	BFW - Bundesforschungszentrum für Wald, Institut für Naturgefahren, Abt. Gebietswasserhaushalt; Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie; Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 3. Ausschreibung
Dauer	01.02.2011 - 20.06.2014
Budget	€ 338.373,00
Fördersumme	€ 281.821,00

DSS_KLIM:EN

Projektleitung	Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Kontakt	Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Helmut Habersack (helmut.habersack@boku.ac.at)
Partner	Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement/Institut für Meteorologie; Joanneum Research Graz, Forschungsgruppe Regionalpolitik, Risiko- und Ressourcenökonomik
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Klimafolgenforschung
Dauer	01.01.2009 - 30.06.2011
Budget	€ 221.260,00
Fördersumme	€ 221.260,00

Bisherige Ausgaben von „ACRP in essence“

„ACRP in essence“ stellt Ihnen ausgewählte Forschungsberichte vor, die durch ihre wissenschaftlichen Fragestellungen eine Grundlage für die notwendigen Schritte in Richtung Klimawandelanpassung bilden.

www.klimafonds.gv.at/service/broschueren/acrp-in-essence

*Bei Interesse an den bisherigen
Themenfeldern, kontaktieren Sie bitte:
bettina.zak@klimafonds.gv.at*

Landwirtschaft

Forstwirtschaft

Biodiversität

Wirtschaft

Gesundheit

Sonderheft: COIN

Impressum

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: +43 1 585 03 90, Fax: +43 1 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Druck

Druckerei Gugler (www.gugler.at)

Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

Gestaltung

Studio Deluxe (www.studiodeluxe.at)

Verlags- und Herstellungsort

Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at





MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH

AUSTRIAN CLIMATE RESEARCH PROGRAMME

in **ESSENCE**

