

PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

A) Projektdaten

Kurztitel:	Aqua-Stress
Langtitel:	Water resources under climatic stress. An integrated assessment of impacts on water availability and water quality under changing climate and land use
Programm inkl. Jahr:	ACRP 6th Call, 2013
Dauer:	01.07.2014 bis 30.11.2016
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
Kontaktperson Name:	Matthias Zessner
Kontaktperson Adresse:	TU Wien, Karlsplatz 13/226/1, 1040 Wien
Kontaktperson Telefon:	+43/1/58801 22616
Kontaktperson E-Mail:	mzessner@iwag.tuwien.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	<p>ProjektpartnerInnen</p> <p>Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft <i>Matthias Zessner, Helene Trautvetter, Gerold Hepp, Ottavia Zoboli, Christiane Stork und Birgit Strenn</i></p> <p>Universität für Bodenkultur, Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung, Wien <i>Martin Schönhart, Hermine Mitter, Mathias Kirchner, Elisabeth Feusthuber, Katrin Karner und Erwin Schmid</i></p> <p>Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Wien <i>Alfred Paul Blaschke und Juraj Parajka</i></p> <p>KooperationspartnerInnen</p> <p>im Stakeholderprozess:</p> <p>Amt der burgenländischen Landesregierung, Abteilung 9 – Wasser- und Abfallwirtschaft, Burgenland <i>Herbert Szionvatz</i></p> <p>Amt der oberösterreichischen Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Anlagen-, Umwelt- und Wasserrecht, Oberösterreich <i>Franz Überwimmer</i></p>

	<p>Amt der salzburger Landesregierung, Referat 5/06 - Naturschutzgrundlagen und Sachverständigendienst <i>Klaus Kogler</i></p> <p>BMLFUW, Abteilung I/4, Klimaschutz und Luftreinhaltung, Wien <i>Nora Mitterböck</i></p> <p>BMLFUW, Abteilung VII/1 Nationale Wasserwirtschaft, Wien <i>Karin Deutsch</i></p> <p>Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft in der Steiermark, Steiermark <i>Arno Mayer</i></p> <p>IKSD – Internationale Kommission zum Schutz der Donau, Wien <i>Adam Kovacs als Observer</i></p> <p>als Advisory Board:</p> <p>Universität Hamburg, Forschungsstelle Nachhaltige Umweltentwicklung, Hamburg, Deutschland <i>Uwe Schneider</i></p> <p>Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, Department Catchment Hydrology, Halle/Saale, Deutschland <i>Ralph Merz</i></p> <p>Bundesamt für Wasserwirtschaft - Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, Niederösterreich <i>Peter Strauß</i></p>
Schlagwörter:	Klimawandel, Landwirtschaft, Modellverbund, Nährstoffe, ökologischer Gewässerzustand, Politik-Maßnahmen, sozioökonomische Rahmenbedingungen, Szenarienanalyse
Projektgesamtkosten:	406,812.- €
Fördersumme:	296 270,- €
Klimafonds-Nr:	B368579 „ACRP6 - Aqua-Stress - KR13AC6K11034“
Erstellt am:	28.2.2017

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Klimatische Veränderungen und die damit einhergehenden Folgen stellen für unsere Gesellschaft und Umwelt eine große Herausforderung dar und haben direkte Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft unseres Landes. Abgesehen von direkten klimatischen Folgen ist jedoch auch mit indirekten Folgen für die Wasserwirtschaft zu rechnen, die noch wenig untersucht sind. Die Landwirtschaft nutzt die Ressource Wasser sowohl in Form von Regen- und Beregnungswasser als auch in Form von Beeinflussungen der Gewässer infolge stofflicher Belastungen. Anpassungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung an geänderte Klimabedingungen beeinflussen in der Regel auch die emittierten Nährstoffmengen und damit nicht nur die Qualität von Grundwasser, sondern auch den ökologischen Gewässerzustand gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Im Rahmen des Projektes wurde ein integrierter Modellverbund (IIMF) entwickelt, mit dem die Auswirkungen klimatischer und sozioökonomischer Veränderungen auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, die Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer und die daraus resultierenden Nährstoffkonzentrationen österreichweit quantifiziert werden können. Im IIMF konnten eine Niederschlags-Abfluss-Modellierung, eine Landnutzungsmodellierung und eine Nährstoffemissionsmodellierung gekoppelt, und damit eine Risikoanalyse in Hinblick auf die Verfehlung der Umweltqualitätsziele für Nitrat und Phosphat als Elementen des ökologischen Gewässerzustandes durchgeführt werden. Die Qualität der Modellierung mit dem IIMF zeigt für die Abbildung der Nährstofffrachten im Validierungszeitraum mit einem Nash-Sutcliffe Koeffizienten von 0,73 für Stickstoff und 0,51 für Phosphor passable Werte. Problematisch sind vor allem Gebiete mit starkem Gebirgseinfluss, wo die Phosphor-Exportfrachten über die Modellierung nur ungenau abgebildet werden können. Bei agrarisch mit Grünland oder Ackerland geprägten Einzugsgebieten sind die Modellergebnisse deutlich besser. Hier beträgt die Abweichung zwischen beobachteten und modellierten TP-Frachten nur bei 23 % bzw. 30 % der Einzugsgebiete mehr als 30 %. In Hinblick auf die Szenarien mit Änderungen in der Landwirtschaft zeigt das IIMF damit gute Voraussetzungen, um generelle regionale Trends von Auswirkungen der Änderungen in Klima und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf Gewässerfrachten abbilden zu können.

Neben der österreichweiten Modellierung mit Hilfe des IIMF wurde im Rahmen von zwei Fallstudien spezifischen Fragen nachgegangen. In der Fallstudie Seewinkel wurde die Landnutzungsmodellierung mit einer Grundwassermodellierung gekoppelt, um Aussagen zur Auswirkung klimatischer Veränderungen auf die Landnutzung, den damit einhergehenden Bewässerungsbedarf und in weiterer Folge auf Wasserverfügbarkeit und Grundwasserspiegel machen zu können. Es lassen sich mit diesem Modellverbund beispielsweise die Kosten von Fehlanpassungen für landwirtschaftliche Betriebe abschätzen. An den österreichischen Fließgewässern Schwechat und Raab wurde zudem die Temperaturabhängigkeit der Primärproduktion untersucht und darauf aufbauend geprüft, wieweit – bei aufgrund von Klimaänderungen steigenden Temperaturen – diese Temperaturabhängigkeit in eine steigende Primärproduktion umgemünzt werden kann, wenn die durch geändertes Klima und geänderte Landnutzung beeinflusste Phosphorverfügbarkeit berücksichtigt wird.

Die Szenarien in Aqua-Stress bestehen aus zwei Teilen: den Klimaszenarien und den Politiksznarien. 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, wurden drei Niederschlagsszenarien gewählt, die eine große Spannweite an möglichen zukünftigen Entwicklungen abdecken. Die Politiksznarien beschreiben einerseits die allgemeine landwirtschaftliche und wirtschaftspolitische Situation, andererseits aber auch spezielle Instrumente zur Beeinflussung der Wasserqualität. Aus der Analyse dieser Szenarien mit Hilfe des IIMF lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Klimaszenarien mit zunehmenden Temperaturen und abnehmendem Niederschlag erhöhen die Vulnerabilität von Gewässern bei Trockenheit vor allem dann, wenn sie durch Sommerniedrigwässer geprägt sind. Dies trifft in Österreich vor allem auf Regionen im Voralpenbereich von Nord-, Ost- und Südösterreich zu, die auch am stärksten durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt sind. (harte Aussage)
- Bereits heute zeigt sich, dass in Hinblick auf Nährstoffbelastung vor allem jene Gewässer sensibel sind, bei denen Einträge aus der Landwirtschaft dominieren. In den Klimaszenarien wirken sich vor allem Annahmen zum Niederschlag und der damit verbundenen Abflusssituation stark auf die Nährstoffbelastung (Frachten und Konzentrationen) der Gewässer aus. So erhöht ein Trockenszenario die Sensitivität lokaler Gewässer, während ein Feuchtszenario den Ferntransport Richtung Schwarzes Meer erhöht. (harte Aussage)
- Hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf die Landnutzung zeigt sich eine große Heterogenität zwischen den Regionen Österreichs. Die Ertragsmodellierung mit EPIC zeigt positive und negative Einflüsse auf die Produktivität landwirtschaftlicher Kulturen. Erträge können auf der einen Seite aufgrund verlängerter Vegetationsperioden und erhöhter CO₂-Gehalte in der Luft erhöht werden, auf der anderen Seite können sie aber auch negativ beeinflusst werden: in den semi-ariden, östlichen Teilen Österreichs durch Wassermangel und in den humiden, westlichen Teilen Österreichs durch zunehmende Erosion. (harte Aussage)
- Der Einfluss von Klima-induzierter Anpassung der Landwirtschaft (ohne gezielte zusätzliche Gewässerschutzpolitiken) auf die Nährstoffemissionen in die Gewässer ist wesentlich weniger stark ausgeprägt, als der direkte Einfluss von geänderten Niederschlags/Abflussbedingungen. Für die PO₄-P-Konzentrationen in den Fließgewässern übersteigt die mögliche Beeinflussung durch zusätzliche gesetzte Gewässerschutzpolitiken jedoch vielfach den Einfluss der Niederschlagsszenarien. (weiche bis mittelharte Aussage)
- Selbst durch umfassende Maßnahmenumsetzungen, wie sie in Politiksznarien angenommen wurden, kann die Verfehlung der Qualitätsziele für Phosphat-Phosphor auch im günstigen Feucht-Szenario in einigen Gebieten nicht gänzlich vermieden werden. Bei Eintreten des Trockenszenarios wird es auch bei intensiven Bemühungen in einer Reihe von Gewässern, vor allem im Norden, aber auch im Osten und Süden Österreichs, nicht möglich sein, die derzeitigen Qualitätsziele für Phosphat-Phosphor einzuhalten. Steigende Temperaturen können im Wechselspiel mit aufgrund von geringeren Abflüssen erhöhten Phosphorkonzentrationen die Vulnerabilität von Gewässern gegenüber Eutrophierung weiter erhöhen. (mittelharte Aussage)

Eine zukünftige Forschung wird sich in Hinblick auf eine Weiterentwicklung des IIMF auf eine Verbesserung der technischen Implementierung der Modell-Schnittstellen fokussieren. Im Zusammenspiel mit einer Ensemble-Modellierung (parallele Anwendung mehrerer Modelle) soll damit eine höhere Effektivität für Sensitivitäts- und Szenarienanalysen zur verbesserten Darstellung von Unsicherheiten erreicht werden. Weiters wird eine Erweiterung des IIMF auf Pestizide sowie eine Weiterentwicklung des Modellverbundes in Hinblick auf eine höhere Flexibilität zur Anwendung auf einer größeren räumlichen Ebene mit einer geringeren Informationsdichte (z.B. Donaueinzugsgebiet) angestrebt.

2 Executive Summary

Climate change is one of the major challenges of our time and adds considerable stress to the human society and environment. Changes of air temperature and precipitation patterns are likely to pose major threats to agriculture and they will directly affect the quality and quantity of water resources. Further on, they will affect water resources indirectly through adaptation in land use which among others ultimately influences irrigation needs and consequently groundwater levels as well as diffuse nutrient emissions to rivers and therefore potentially the compliance with good ecological status according to the EU Water Framework Directive (WFD).

We developed an integrated impact modelling framework (IIMF) to track and quantify direct and indirect pollution impacts along policy-economy-climate-agriculture-water interfaces. The IIMF consists of seven loosely coupled models where state or flow variables from one model are input to other models. Many adaptations of single models had to be implemented to guarantee a sound theoretical basis and a practicable and timesaving procedure for calculation of multiple scenarios. The IIMF is applied to assess impacts of climatic and socio-economic drivers on agricultural land use (crop choices, farming practices and fertilization levels), river flows and the risk for exceedance of environmental quality standards for determination of the ecological water quality status for the whole Austrian territory. First, we developed model interfaces and performed validation procedures of single models and the IIMF as a whole with respect to observed state variables such as land use, river flow and river nutrient loads. The performance of the IIMF for calculations of river nutrient loads (about 100 monitoring stations) shows a Nash-Sutcliffe Efficiency of 0.73 for nitrogen and 0.51 for phosphorus. Most challenging is the modelling of phosphorus loads in alpine catchments dominated by forests and a mountainous landscape. About 63 % of these catchments show a deviation between modelled and observed loads of 30 % and more. In catchments dominated by agricultural production, the performance of the IIMF is much better as only 30 % of cropland and 23% of % permanent grassland dominated areas have a deviation of more than 30 % between modelled and observed loads. As risk of exceedance of environmental quality standards is mainly recognized in catchments dominated by cropland, the IIMF is well suited for assessing the nutrient component of the WFD ecological status.

In addition to investigations with the IIMF for whole Austria, research was performed for two case studies with specific questions that could not be answered on a country level due to insufficient data of the required detail. Investigations on policy-economy-climate-agriculture-groundwater level interfaces using land use and ground water modelling have been performed in the region of Seewinkel, which is especially vulnerable with respect to water scarcity. Temperature impacts on primary production and eutrophication in rivers under changing phosphorus pollution have been investigated in two rivers, for which required long-term online sensor data are available.

For scenario investigations with the IIMF, we consider two major drivers: climate change and policies. Therefore, the scenarios are developed in a two level process following the methodology derived in the ACRP project CAFEE. In a first step, we select climate change scenarios that project a moderate temperature increase and cover a range of precipitation patterns. In a second step, options for policy scenarios including the socio-economic framework conditions and specific water protection measures are pre-defined. The objectives of the scenario analysis and the scenarios themselves – mainly the narratives – are discussed and finalized in the stakeholder process. Main conclusions derived from these investigations can be summarized as follows:

- Flow regimes of rivers characterized by low flow in summer are vulnerable against future temperature rise especially if it is accompanied by decreasing precipitation. These are the areas with highest agricultural impact on nutrient emissions and the highest risk of exceedance of EQS for nitrate and phosphate in Austria. (strong statement)
- Future development of precipitation could have a strong impact on nutrient concentrations and loads in Austrian rivers. Increasing precipitation tends to increase river loads with increasing impacts on receiving standing water (i.e. Black Sea). Decreasing precipitation leads to increasing river concentrations and tends to increase vulnerability of local water bodies in respect of exceedance of EQS for nutrients. (strong statement)
- There is a large heterogeneity in the impacts of climate change on Austrian regions. The biophysical process model EPIC shows both positive and negative impacts on crop production. Yields are driven positively by increasing vegetation periods and CO₂-levels, but can be negatively impacted by water stress, mainly in the semi-arid eastern parts of Austria, and water erosion, mainly in the humid western parts. (strong statement)
- The relevance of climate induced adaptation measures in agriculture for nutrient emissions, river loads and concentrations is much less pronounced than potential impacts of changes in precipitation and runoff. Consequent implementation of water protection measures for phosphorus has the potential to overcome negative climate impacts and significantly reduce river loads and concentrations. (weak to moderate statement)
- Even under very favorable conditions (far reaching implementation of water protection measures and increasing precipitation and runoff), in several Austrian water bodies it will not be possible to achieve EQS for phosphorus in the future. Increasing temperature in rivers may overlap with increasing phosphate concentrations in rivers due to reductions in runoff and thus further increase rivers vulnerability for eutrophication. (moderate statement)

Future research will focus on improvement of the technical implementation of model interfaces to facilitate more efficient sensitivity analyses and scenario calculations, uncertainty calculations including enhanced sensitivity analysis and assemble modelling, assessment of pesticides and research on possibilities to increase IIMF's flexibility for applications at larger scales and territories with lower information density (e.g. Danube Basin). We did a first assessment on the role of crop rotations and pest management in Austrian land use - for the case of diabrotica - in Aqua-Stress already. A next step would be the implementation of developed routines in the IIMF.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Klimatische Veränderungen und die damit einhergehenden Folgen stellen für unsere Gesellschaft und Umwelt eine große Herausforderung dar (UNEP, 2010). Meteorologische Aufzeichnungen der letzten Jahrzehnte weisen für Österreich einen steigenden Temperaturtrend aus. So hat die mittlere Lufttemperatur seit Mitte der 1970er Jahre um bis zu 1,5°C zugenommen. Diesem allgemeinen Temperaturtrend 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 (BMLFUW, 2010). Bei der Niederschlagsentwicklung wird im Österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel (Kromb-Kolb et al., 2014) auf die hohen 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 Zunahme 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. Eine geänderte Niederschlagsverteilung beeinflusst sowohl die Nährstoffemission über diffuse Eintragspfade als auch die Niederwasserverhältnisse und damit durch Punkteinleitungen verursachte Gewässerkonzentrationen.

Abgesehen von diesen beispielhaft angeführten direkten klimatischen Folgen ist jedoch auch mit indirekten Folgen zu rechnen, die noch wenig untersucht sind. Im Fokus der vorgestellten Untersuchungen stehen deshalb die indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft, welche sich aufgrund einer Adaptierung der Landwirtschaft an geänderte klimatische Bedingungen ergeben. 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 (Steffen et al., 2015). Klimatische Veränderungen führen zu Anpassungen beispielsweise der Bodenbearbeitung, Kultur- und Sortenwahl, der Düngungsintensität, des Viehbestands und der Beregnungsintensität (Mitter und Schmid, 2014). Diese Anpassungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung beeinflussen in der Regel auch die emittierten Nährstoffmengen und damit nicht nur die Qualität von Grundwasser, sondern auch den ökologischen Gewässerzustand gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (Lauterbach et al., 2009).

Vor diesem Hintergrund haben die „Wasserinstitute“ der Technischen Universität Wien und das Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung der Universität für Bodenkultur Wien im Rahmen des ACRP das Kooperationsprojekt Aqua-Stress gestartet. Dabei wurden bereits im Projektantrag folgende Forschungsfragen gestellt und im Zuge der Projektimplementierung bearbeitet:

1. Wie wirken sich klimatische und sozioökonomische Veränderungen auf die österreichische Landnutzung, die Bewirtschaftungsintensitäten sowie dadurch induzierte Nährstoffverluste und

in weiterer Folge die Qualität und Quantität der Oberflächengewässer und Grundwasserkörper aus?

2. Welche kosteneffizienten Adaptierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft können den allenfalls nachteiligen direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion, die Wasserressourcen und die Wassergüte in Österreich entgegenwirken?
3. Wie groß sind die mit der Modellierung der Auswirkungen verbundenen Unsicherheiten und wie können diese bestmöglich an die Interessensvertreter kommuniziert werden?
4. Welche direkten und indirekten Auswirkungen dieser Veränderungen auf die chemischen und biologischen Prozesse in Oberflächengewässern gibt es?

4 Projektinhalt und Ergebnisse

4.1 Projektinhalte

Zur Beantwortung der zuvor gestellten Forschungsfragen wurde die Projektbearbeitung in zwei große Blöcke gegliedert, die sich in ihrer räumlichen Betrachtungsebene unterscheiden. Dort wo geeignete Daten und Methoden vorhanden waren, wurden mit Hilfe eines Modellverbundes (IIMF-Integrated Impact Modeling Framework) Betrachtungen für das gesamte österreichische Staatsgebiet durchgeführt. Der Modellverbund besteht aus dem TUV-Modell zur Abbildung des Niederschlagsabflussgeschehens, EPIC/PASMA/CropRota zur Landnutzungsmodellierung und -optimierung sowie einer Kombination der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (USLE) mit dem Nährstoffemissionsmodell MONERIS (siehe Abbildung 1).

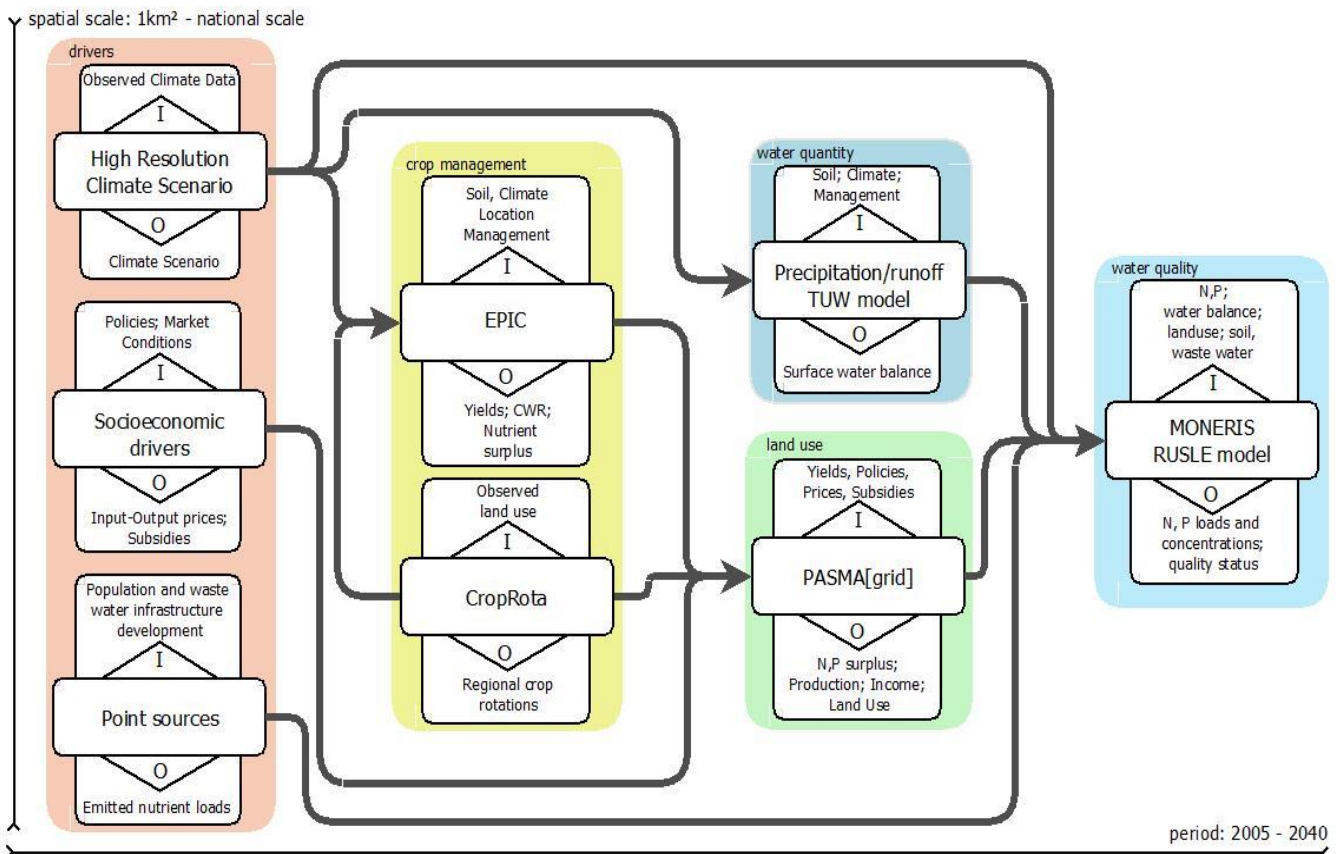


Abbildung 1: Darstellung der verwendeten Modelle und deren Interaktion

IIMF eignet sich zur Analyse der Auswirkungen von sozioökonomischen (z.B. Änderungen der landwirtschaftlichen Praxis oder von Marktpreisen) und klimatischen Veränderungen auf die landwirtschaftliche Produktion sowie auf die Wasserverfügbarkeit und -güte. Ausgehend von einer quantitativen Beschreibung einer Referenzperiode und der Validierung des Modellverbundes für diese Periode anhand beobachteter Kenngrößen (z.B. Fruchtartenverteilung, Teilnahme an Umweltprogrammen, Gewässerabfluss, Gewässerfrachten), wurden in Zusammenarbeit mit diversen Interessengruppen Szenarien für mögliche klimatische und ökonomische Rahmenbedingungen entwickelt, welche anschließend mit Hilfe des Modellverbundes quantifiziert und anhand einer Anzahl von ökonomischen und ökologischen Indikatoren (z.B. Erträge/Kosten bzw. Umweltqualitätsnormen für Nährstoffe) bewertet wurden (Kapitel 4.2.1).

Ein spezifischer Schwerpunkt wurde bei allen Berechnungen auf die Bedeutung von Unsicherheiten gelegt. Dazu wurden zum einen stark kontrastierende Klimaszenarien gewählt, um so die Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen abdecken zu können. Zum anderen wurde die Validierung der einzelnen Modelle sowie des Modellverbundes als Ganzem dazu verwendet, die Robustheit der Modellergebnisse zu prüfen und Schwachpunkte zu identifizieren. Dieses Wissen wurde letztendlich genutzt, um gemeinsam mit einer Expertenbeurteilung die einzelnen Aussagen, die aus der Modellberechnung kommen, in Hinblick auf ihre Absicherung als weiche, mittelharte oder harte Aussage zu bewerten.

Neben dem österreichischen Staatsgebiet wurden zusätzlich zwei spezifische Fallbeispiele betrachtet, welche sich mit Fragestellungen auseinandersetzen, für deren Beantwortung Modelle oder Daten benötigt werden, welche nur regional vorhandenen sind. Der Seewinkel im Osten Österreichs ist durch einen Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft und eine hohe Sensibilität in Hinblick auf die Wasserverfügbarkeit gekennzeichnet. Für dieses Gebiet wurde das Grundwassermodell HPP-GMS in Kombination mit einer Landnutzungsmodellierung (EPIC/PASMA/CropRota) genutzt, um die Auswirkungen von klimatisch bedingten Änderungen auf die Landnutzung im Allgemeinen und das Ausmaß einer Bewässerung im Besonderen auf Grundwasserverfügbarkeit und -spiegel zu untersuchen (Kapitel 4.2.2.1).

An den österreichischen Fließgewässern Schwechat (Niederösterreich) und Raab (Steiermark und Burgenland) liegen mehrjährige und hochaufgelöste (10 Minuten bis Stundenintervalle) Daten aus Online-Messstationen vor. Diese Daten konnten genutzt werden, um der Frage nachzugehen, wieweit die Klimaveränderungen eine Auswirkung auf die Primärproduktion durch Algen und Makrophyten in österreichischen Fließgewässern und damit auf die Sensibilität der Gewässer in Hinblick auf eine Eutrophierung haben können. Dazu wurde die Temperaturabhängigkeit der Primärproduktion an Schwechat und Raab untersucht und darauf aufbauend geprüft, wieweit – bei aufgrund von Klimaänderungen steigenden Temperaturen – diese Temperaturabhängigkeit tatsächlich in eine steigende Primärproduktion umgemünzt werden kann, wenn die durch geändertes Klima und geänderte Landnutzung beeinflusste Phosphorverfügbarkeit (Ergebnisse des IIMF) berücksichtigt wird. (Kapitel 4.2.2.2)

Zur Sicherstellung der praktischen Relevanz der Ergebnisse wird das Projekt bereits von der Projektkonzeption an durch einen Stakeholderprozess begleitet. Stakeholder kamen aus Landes- und Bundesverwaltung und aus der Interessenvertretung der österreichischen Land- und Forstwirte (Landwirtschaftskammer). Die Internationale Kommission zum Schutz der Donau begleitete das Projekt als Observer. Die Anwendung der Projektergebnisse soll nicht nur auf Österreich beschränkt sein und soll als Pilotstudie dienen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Nährstoffbelastung von internationalen Flusseinzugsgebieten (z.B. Donau, Schwarzes Meer) analysieren zu können.

Die Verbreitung der Erkenntnisse aus dem Projekt erfolgt über Publikationen in internationalen (peer-reviewten) Zeitschriften. Darüber hinaus wurden und werden die Ergebnisse in einer Reihe von internationalen Konferenzen vorgestellt. Auch bei der Dissemination kommt den Stakeholdern, welche das Projekt begleitet haben, eine besondere Bedeutung zu. Zum einen sollen sie die Ergebnisse in die jeweiligen Institutionen weitertragen, zum anderen fungieren sie als Kontaktpersonen für Präsentationen von Projektergebnissen bei den Institutionen.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Österreichweite Modellierung

4.2.1.1 Modellverbund und Referenzsituation

In Österreich stehen schon heute eine Reihe von Wasserkörpern im Risiko, auf Grund von Nährstoffbelastungen den guten ökologischen Gewässerzustand nicht zu erreichen (BMLFUW, 2014). Dies ist vor allem dort der Fall, wo landwirtschaftliche Einträge die Gewässerbelastung dominieren (Zessner et al., 2013). Klimainduzierte Änderungen des Abflussgeschehens, sowie autonome Anpassungen oder gezielte Maßnahmen in der Landwirtschaft haben daher das Potential, das Risiko einer Zielverfehlung zu erhöhen oder zu verringern. Um die Auswirkung von Klimawandel und Anpassungen in der landwirtschaftlichen Produktion auf Nährstoffemissionen in die Fließgewässer abschätzen und darauf aufbauend eine Risikoanalyse in Hinblick auf eine Verfehlung des guten ökologischen Gewässerzustandes auf Grund von Nährstoffbelastungen in Österreich durchführen zu können, wurde daher im Rahmen des Aqua-Stress Projektes in einem ersten Schritt für das gesamte österreichische Bundesgebiet ein integrativer Modellverbund (IIMF – integrated impact modelling framework) entwickelt (Zessner et al., 2017a).

IIMF ist eine Kombination aus sieben verschiedenen Modellen, mit der die Auswirkungen klimatischer und sozioökonomischer Veränderungen auf die landwirtschaftliche Produktion und Bewirtschaftung und die daraus resultierenden Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer quantifiziert werden können. Ein Überblick der verwendeten Modelle und deren Aufgaben im IIMF ist in Tabelle 1 dargestellt. Details zu der Koppelung der Modelle sowie deren Anwendung und Validierung für eine Referenzperiode kann der Veröffentlichung Zessner et al. (2017a) entnommen werden.

In einem ersten Schritt wurde das IIMF dazu genutzt, um Abflussgeschehen, Landnutzung und Gewässerbelastungen für die Validierungsperiode 2005-2010 abzubilden. Zur Plausibilitätsprüfung der Modellergebnisse des gesamten IIMF wurden die Stickstoff- und Phosphor-Gewässerfrachten herangezogen. Ausgehend von Daten zu Klima und lokalen Standortfaktoren sowie wirtschaftlich-politischen Rahmenbedingungen wurde das IIMF genutzt, um eine wirtschaftlich optimierte Landnutzung und im weiteren Gewässerfrachten am Auslass der 367 MONERIS-Einzugsgebieten zu modellieren. Diese Frachten wurden den aus der Beobachtung von Abfluss und Gewässerkonzentrationen an ca. 100 Messstellen errechneten Gewässerfrachten gegenübergestellt. Beispielhaft ist in Abbildung 1 diese Gegenüberstellung für Gesamtphosphor abgebildet. In der Darstellung wurde zwischen Einzugsgebieten, die durch Ackernutzung, Grünlandnutzung oder Wald, Almen und Gebirge dominiert werden, unterschieden. Nicht eindeutig zuordenbare Einzugsgebiete, bei denen keine Landnutzung klar prägend ist oder Einleitungen aus der Abwasserentsorgung eine wesentliche Rolle spielen, wurden extra gekennzeichnet.

Tabelle 1: Überblick über Modelle im IIMF (Zessner et al, 2017a)

Modell	Räumliche Auflösung	Wichtigste Eingangsparameter	Wichtigste Ausgangsparameter bzw. Ergebnisse	Verwendung Ergebnisse in Modell	Wichtigste Publikationen
EPIC	1km Raster	tägliche Wetterdaten, Bodendaten, Gefälle, Höhenlage, Kulturarten und Bewirtschaftung	Erträge, Nährstoffaufnahme und Nährstofffixierung	PASMA[grid]	Williams, 1995; Izaurralde et al., 2006
CropRota	Gemeinde	Beobachtete Fruchtfolgen, Experten-Einschätzung zu Fruchtfolgen	relative Bedeutung unterschiedlicher Fruchtfolgen	EPIC	Schönhart et al., 2011
PASMA [grid]	Gemeinde bis NUTS-3; lineare Skalierung auf 1km Raster	Erträge, technische und biophysikalische Parameter der Iw Produktion, landwirtschaftliche Politiken und Preis von Betriebsmitteln und Produkten	Kulturartenverteilung und Tierproduktion inkl. Management-Optionen, N und P Überschüsse, Wirtschaftsdüngeranfall	USLE, MONERIS	Kirchner et al., 2016
TUW-Modell	Höhenzonen der Einzugsgebiete (je 200m)	täglicher Niederschlag und Lufttemperaturen	Täglicher Abfluss für 277 Gewässer	Top-kriging Interpolation	Bergström, 1976; Parajka et al., 2007; Viglione and Parajka, 2014
Top-kriging Interpolation	7774 Gewässerabschnitte in Österreich	Abflusssimulationen TUW-Modell	Tägliche Abflüsse am Auslass der MONERIS Einzugsgebiete	MONERIS	Skøien, Blöschl, 2007; Skøien et al., 2014; Parajka et al., 2015
USLE	1km Raster	Bodenart, Niederschlags-Intensität, Gefälle, Hanglänge, Kulturartenverteilung, Bewirtschaftungspraxis	Bodenabtrag aggregiert auf MONERIS-Einzugsgebiete	MONERIS	Wischmeier and Smith, 1978; Schwertmann et al., 1987
MONERIS	367 (Teil-) Einzugsgebiete in Österreich	N und P Überschuss, Abfluss, Landnutzung, Hydro-Geologie, Daten zu Abwasserwirtschaft	Frachten und Konzentrationen von N und P Parametern in Flüssen, Risiko der Zielverfehlung		Behrendt and Opitz, 1999; Venohr et al., 2009; Zessner et al., 2011

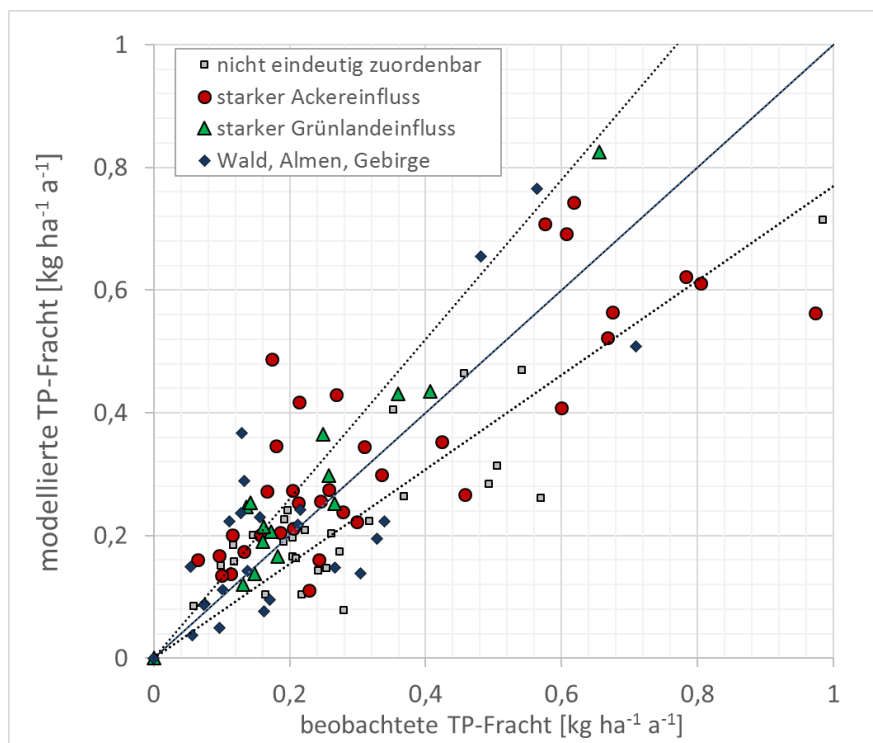


Abbildung 2: Pegelabgleich Phosphor Validierungsperiode 2005-2010 (Zessner et al., 2017a)

Insgesamt zeigen die Modellergebnisse für 48 % der Einzugsgebiete eine Abweichung zwischen den modellierten und den beobachteten TP-Frachten von mehr als 30 %. Problematisch dabei sind vor allem Gebiete mit starkem Gebirgseinfluss, die über die Modellierung nur ungenau abgebildet werden können. Bei den Einzugsgebieten mit starkem Grünland-Einfluss und starkem Acker-Einfluss sind die Modellergebnisse deutlich besser, da hier nur bei 23 % bzw. 30 % der Einzugsgebiete die Abweichung zwischen beobachteten und modellierten TP-Frachten mehr als 30 % beträgt. Speziell in einzelnen Einzugsgebieten mit Acker-Dominanz ist jedoch eine sehr große Abweichung der Modellergebnisse von Beobachtungen gegeben. In Hinblick auf die Szenarien mit Änderungen in der Landwirtschaft zeigt das IIMF damit gute Voraussetzungen um generelle regionale Trends abbilden zu können, in einzelnen Gebieten kann es jedoch zu deutlichen Fehlbefunden kommen, da spezifische lokale Einflussgrößen nicht immer entsprechend abgebildet werden.

4.2.1.2 Szenariendefinition (Vorstellung der Klima und Politiksznarien)

Mit Hilfe des IIMF werden die Einflüsse unterschiedlicher potentieller Entwicklungen auf Wasserverfügbarkeit und Gewässergüte für 367 (Teil-) Einzugsgebiete in Österreich untersucht. Um zukünftige Entwicklungen darstellen zu können, wurden erst gemeinsam mit verschiedenen Stakeholdern Politik- und Klimaszenarien entwickelt, die anschließend mit Hilfe des integrativen Modellverbunds analysiert und anhand ökonomischer und ökologischer Indikatoren (z.B. landwirtschaftliches Produktionsvolumen, Subventionsvolumen für Gewässerschutzmaßnahmen sowie Deckungsbeiträge in der Landwirtschaft, Stickstoff- und Phosphoremissionen in Oberflächengewässer, Veränderung der Gewässergüte in Bezug auf Nährstoffe) bewertet werden.

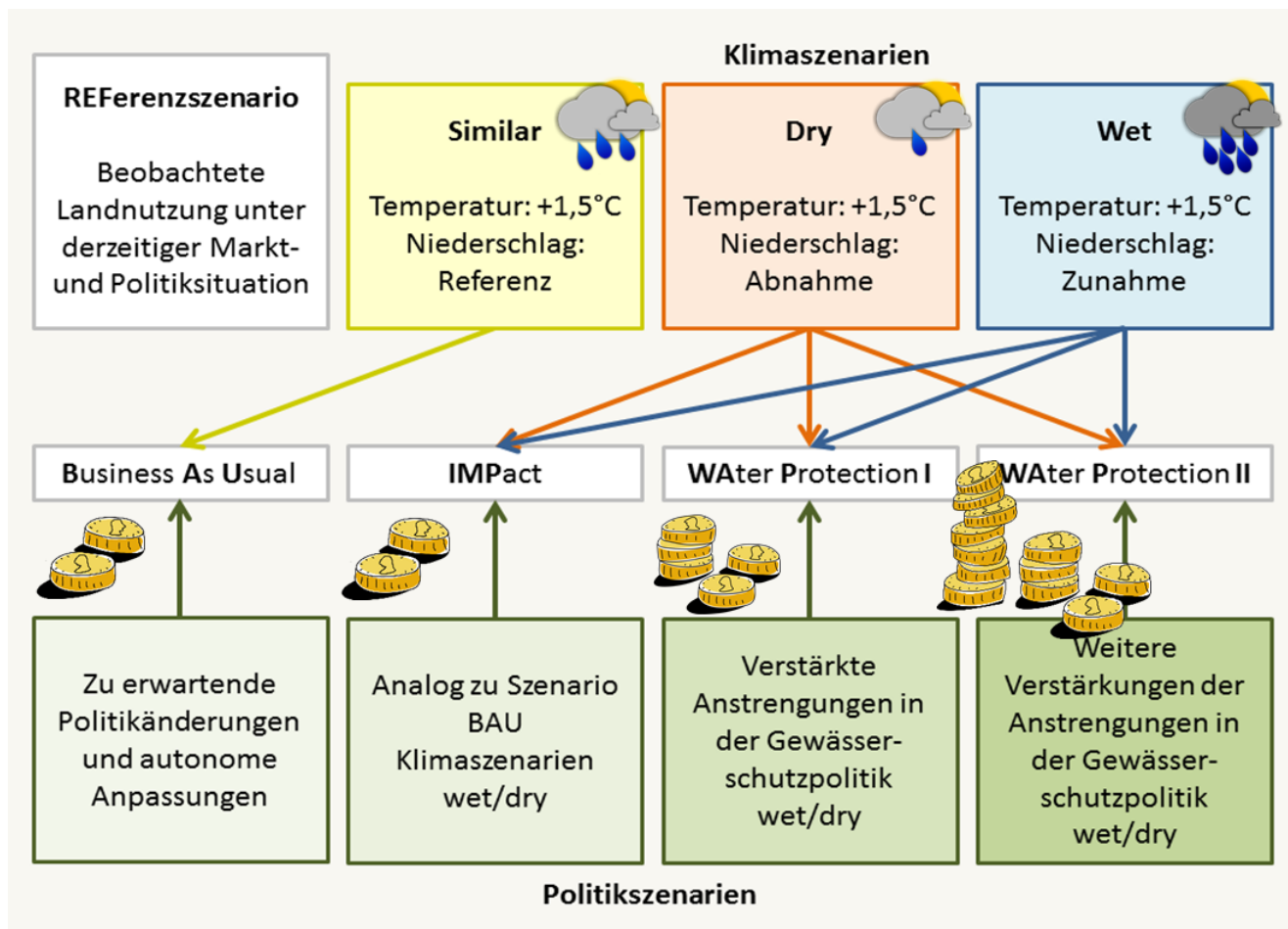


Abbildung 3: Szenarienüberblick (Zessner et al, 2015)

Die Szenarien in Aqua-Stress bestehen aus zwei Teilen: den Klimaszenarien und den Politiksznarien (Abbildung 3; Details siehe Anhang Kapitel 11 und 12). 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, wurden drei Niederschlagsszenarien gewählt, die eine große Spannweite an zukünftigen Entwicklungen abdecken:

- heutige Niederschlagsbedingungen (Similar),
- trockenere Bedingungen, mit Annahme einer Reduktion der Niederschläge um 20 % (Dry) und
- feuchtere Bedingungen, mit einer Zunahme der Niederschläge um 20 % (Wet).

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. Das Politiksznario BAU schreibt die derzeitigen Politiken (z.B. gesetzliche Regelungen und ÖPUL-Förderungen; ÖPUL: österreichisches Agrarumweltprogramm) fort. Das Impact-Szenario IMPact 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 fortgesetzt. Darüber hinaus werden Maßnahmen zu Erreichung der Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie dort verstärkt, wo ansonsten Qualitätsziele der Nährstoffparameter in den Gewässern in Zukunft nicht eingehalten werden könnten. So wird die freiwillige Komponente über das Agrarumweltprogramm ÖPUL gestärkt, indem bestehende Förderungen für Maßnahmen mit Bezug zur Gewässerschonung (z.B. Winterbegrünung und Direktsaat, Gewässerrandstreifen, verringerter Nährstoffeinsatz) um 25 % erhöht werden. Damit wird eine Politik formuliert, die zu einem gezielten räumlichen Einsatz von Agrarumweltzahlungen führt („Targeting“ als Begriff für eine zielgerichtete Umweltpolitik). Zudem wird in Problemgebieten ein verpflichtender Verzicht auf Hackfrüchte auf Hängen mit mehr als 8 % Gefälle mit Gewässeranbindung eingeführt.

WAP_II setzt die Politik aus WAP I mit z.T. verschärften Anforderungen 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 und der Schutz der lokalen Gewässer wird durch eine weitergehende generelle Emissionsreduktion zur Verringerung des Ferntransportes von Nährstoffen und damit durch verstärkten Meeresschutz ergänzt.

4.2.1.3 Szenarienergebnisse

Gewässerabfluss

Der Abfluss in den Fließgewässern wird zum einen stark durch klimatische Gegebenheiten wie Niederschlagshöhen geprägt, spielt aber zum anderen für den Nährstofftransport und für die Verdünnung der Nährstoffe und damit für die Gewässerkonzentrationen eine wesentliche Rolle. Für eine Darstellung der Auswirkungen der angenommenen Klimaszenarien auf den Gewässerabfluss wurde zwischen Gewässern mit Winterniederwässern und Gewässern mit Sommerniederwässern

unterschieden, da hier eine deutlich unterschiedliche Beeinflussung gegeben ist (Abbildung 4). Das Wet-Szenario geht bei einer Temperaturzunahme bis 2040 um 1,5°C von einer Zunahme des Niederschlages um 20 % aus. Diese Zunahme findet sich in etwa auch im Abfluss der Gewässer mit Sommerniederschlag im Jahresverlauf weitgehend wieder (Abbildung 4, links). Bei Gewässern mit Winterniederschlag ist die Zunahme des Abflusses im Winter deutlich ausgeprägter. Im Dry-Szenario (Abbildung 4, rechts) mit einer Temperaturzunahme bis 2040 um 1,5°C und einer Abnahme des Niederschlages um 20 % kommt es bei den Gewässern mit Sommerniederschlag zu einer Abnahme des Abflusses, der über das gesamte Jahr in einem Bereich von 40 bis 60 % liegt. In Gewässern mit Winterniederschlag tritt diese starke Reduktion des Abflusses nur im Sommer auf. Dies zeigt die deutlich höhere Vulnerabilität der Gewässer mit Sommerniederschlag auf Bedingungen, wie sie im Trockenszenario angenommen wurden.

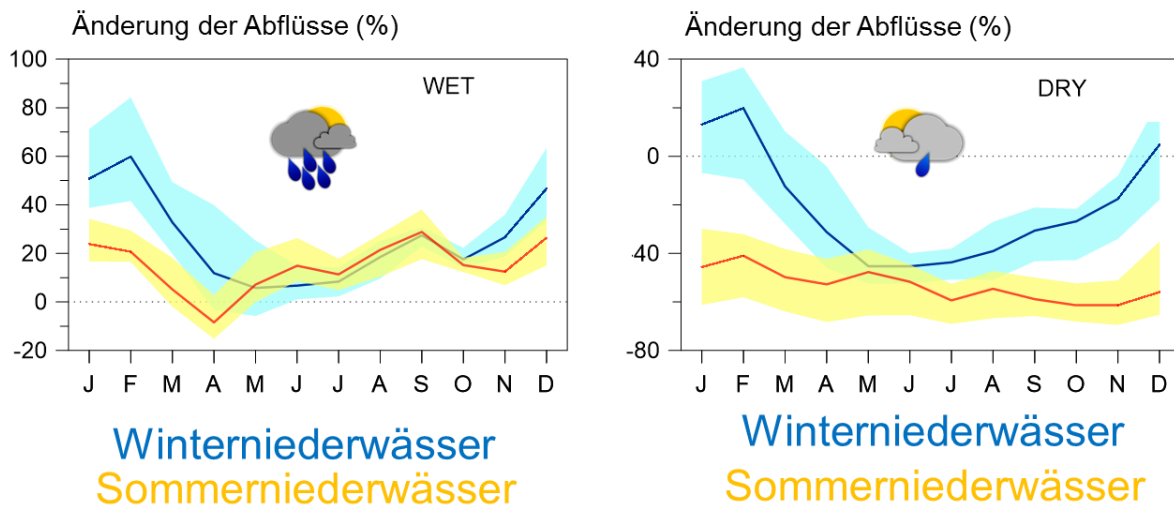


Abbildung 4: Änderung des Abflussgeschehens, Szenario Wet (links), Szenario Dry (rechts) (Zessner et al., 2017b)

Landnutzung

Die Landnutzungsmodellierung geht von der grundsätzlichen Annahme aus, dass die landwirtschaftliche Produktion so ausgerichtet wird, dass unter den jeweiligen Rahmenbedingungen der größte monetäre Nutzen erwirtschaftet wird. Szenarienergebnisse der Landnutzungsmodellierung weisen eine große Vielfalt auf. So können Ertragsänderungen und Anbauflächen der unterschiedlichen Kulturarten oder Teilnahmen an Förderprogrammen, erwirtschaftete Deckungsbeiträge der Landwirtschaft oder Nährstoffüberschüsse auf landwirtschaftlichen Flächen ausgewiesen werden.

Während die errechnete Kulturartenverteilung und die Nährstoffüberschüsse ganz wesentliche Eingangsgrößen in die Nährstoffemissionsmodellierung zur Berechnung der Gewässerbelastung darstellen, werden an dieser Stelle beispielhaft Ergebnisse vom Einfluss der Szenarienannahmen auf die Teilnahme an Förderprogrammen (Abbildung 5) und der Einfluss der Szenarien auf die in der Landwirtschaft erwirtschafteten Deckungsbeiträge (Einnahmen inklusive Subventionen abzüglich laufende Ausgaben; Abbildung 6 und Abbildung 7) dargestellt.

Abbildung 5 zeigt die Flächen auf Ebene der 35 österreichischen NUTS-3 Regionen (NUTS: Nomenclature des unités territoriales statistiques, Verwaltungsgliederung der EU), die bei unterschiedlichen Szenarien auf einem hohen Intensitätsniveau bewirtschaftet werden. Das bedeutet, dass für diese Flächen keine Förderungen im Rahmen des ÖPUL zur Extensivierung beansprucht werden, keine Beschränkung der Bewirtschaftung, außer den gesetzlich

vorgegebenen, bestehen und die Erlöse rein vom Ertrag bestimmt werden. Auf der x-Achse von Abbildung 5 sind die entsprechenden Flächen im Szenario BAU und auf der y-Achse die Flächen der jeweils selben NUTS-3 Region, die in den Szenarien IMPact_wet, IMPact_dry, WAP_II_wet und WAP_II_dry ohne Teilnahme am ÖPUL-Programm ausgewiesen wurden, dargestellt. Die 1:1 Linie ist jener Bereich, wo die Ausdehnung der auf hohem Intensitätsniveau bewirtschafteten Flächen in den NUTS-3 Regionen im Vergleich zum BAU-Szenario unverändert bleibt. Punkte unter der 1:1 Linie zeigen eine Abnahme der Flächen in hoher Intensitätsstufe (= Zunahme der Beteiligung an ÖPUL), die sich aufgrund geänderter Annahmen zum Niederschlag (IMPact_wet und IMPact_dry) bzw. aufgrund geänderter Annahmen zu Niederschlag und Politikmaßnahmen (WAP_II_wet und WAP_II_dry) ergeben.

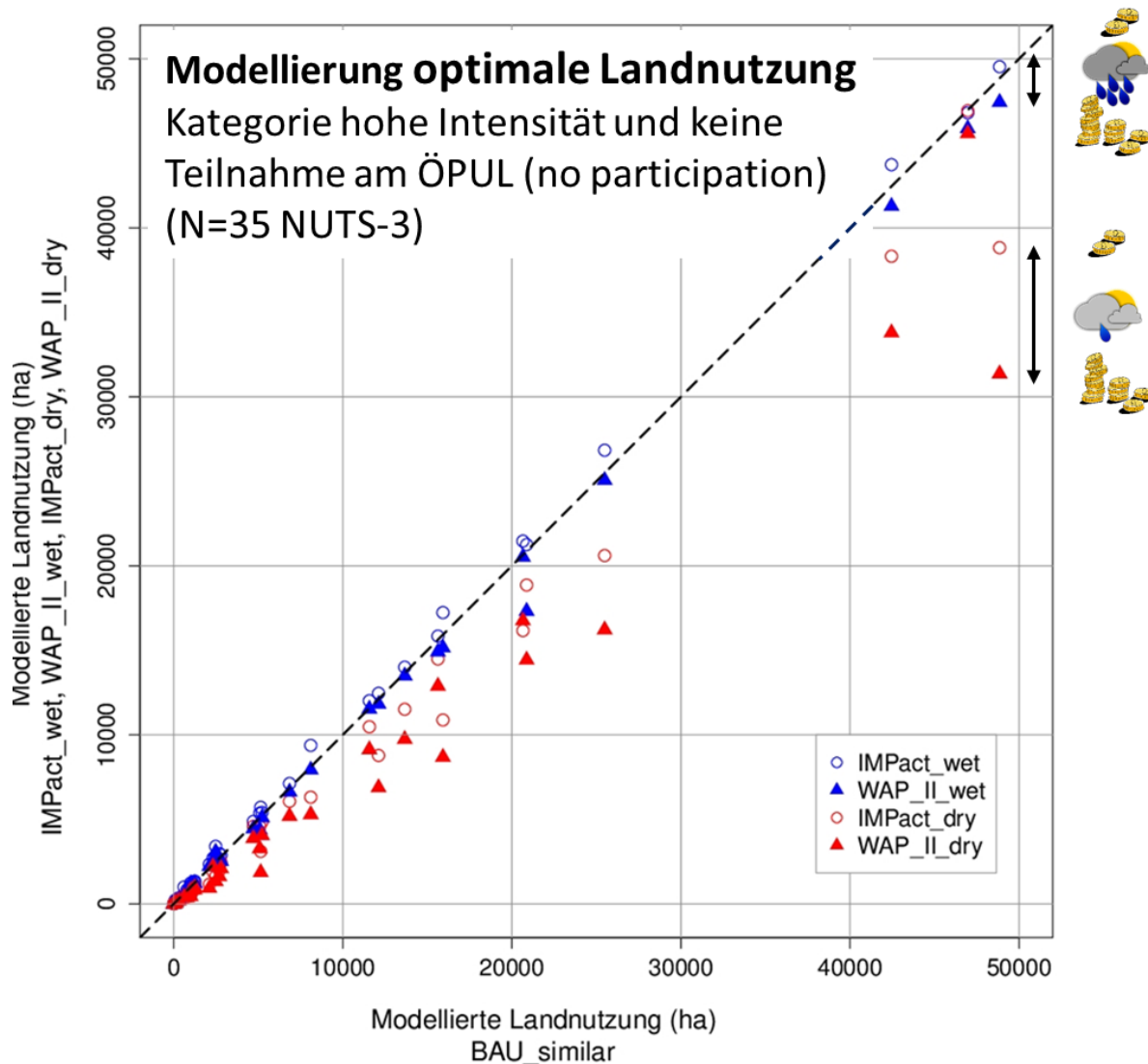


Abbildung 5: Modellierung optimale Landnutzung: Kategorie hohe Intensität und keine Teilnahme am ÖPUL (N=35 NUTS-3) (Zessner et al., 2017b)

Die Auswertung zeigt, dass eine Zunahme von Niederschlägen im Wet-Szenario kaum eine Veränderung der Teilnahme an Extensivierungsmaßnahmen herbeiführt. Die mit hoher Intensität bewirtschafteten Flächen sind in den unterschiedlichen NUTS-3 Regionen im IMPact_wet-Szenario (Niederschlagszunahme) praktisch unverändert zum BAU-Szenario (unveränderte Niederschlagsverhältnisse gegenüber Referenzzeitraum). Auch die Politikmaßnahmen (25 %

Zunahme der Fördersumme für eine Teilnahme an Extensivierungsmaßnahmen) ändert daran nur wenig (IMPact_wet im Vergleich zu WAP_II_wet). Wesentlich ausgeprägter ist der Einfluss des Trockenszenarios auf die Teilnahme an Extensivierungsmaßnahmen. Alleine durch die zunehmende Trockenheit (IMPact_dry im Vergleich zu BAU bzw. IMPact_wet) geht das Flächenausmaß in hoher Intensitätsstufe deutlich zurück. Die Politikmaßnahmen sind darüber hinaus im Trockenszenario deutlich effektiver und die Flächen in hoher Intensitätsstufe werden in einer Reihe von NUTS-3 Regionen noch weiter reduziert (WAP_II_dry im Vergleich zu BAU bzw. IMPact_dry). Die ungünstigeren Wachstumsbedingungen in einem Trockenszenario führen generell zu einer höheren Teilnahme an Förderprogrammen, weil diese dann eher wirtschaftlich vorteilhaft sind als bei einer günstigeren Ertragslage. Werden die Förderquoten (WAP-Szenario) erhöht, ist dies ein zusätzlicher Anreiz zur Teilnahme an Extensivierungsprogrammen.

In Abbildung 6 und Abbildung 7 werden die Änderungen der Deckungsbeiträge in der Landwirtschaft zwischen BAU und IMPact_dry bzw. BAU und WAP_II_wet dargestellt. Für weite Bereiche Österreichs ändern sich die Deckungsbeiträge nur geringfügig (im Mittel für Gesamt-Österreich - 2 % bis +2 % im Vergleich zu BAU). Lediglich im Osten Österreichs spielen die Szenario-Annahmen eine größere Rolle für die Deckungsbeiträge. Ein Trockenszenario führt hier zu Verlusten in der Landwirtschaft, diese können durch Politikmaßnahmen (WAP_II_dry, nicht dargestellt) wieder ausgeglichen werden. Im Feuchtszenario (wet) können in diesen Regionen höhere Deckungsbeiträge erwartet werden als in BAU, wenn die Förderquote für Gewässerschutzmaßnahmen in einem WAP_II Szenario erhöht wird.

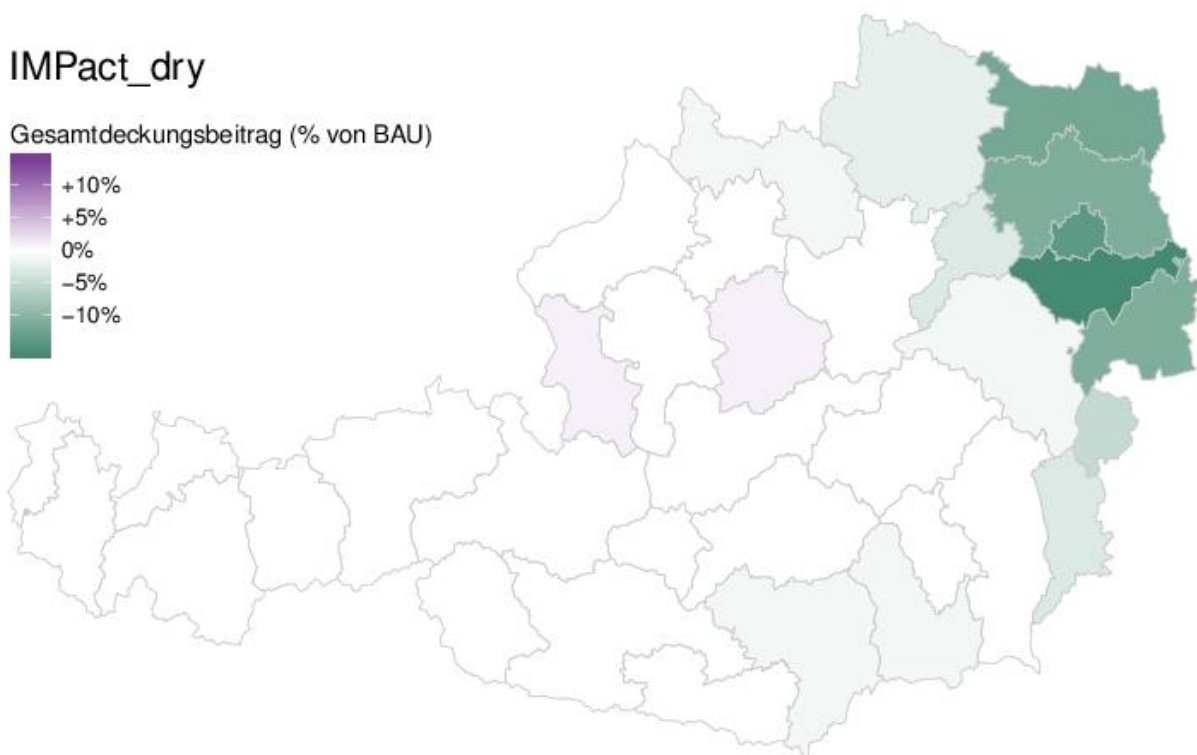


Abbildung 6: Änderung des Gesamtdeckungsbeitrages (inkl. Subventionen) von Szenario BAU zu Szenario Impact Dry (Zessner et al., 2017b)

WAP_II_wet

Gesamtdeckungsbeitrag (% von BAU)

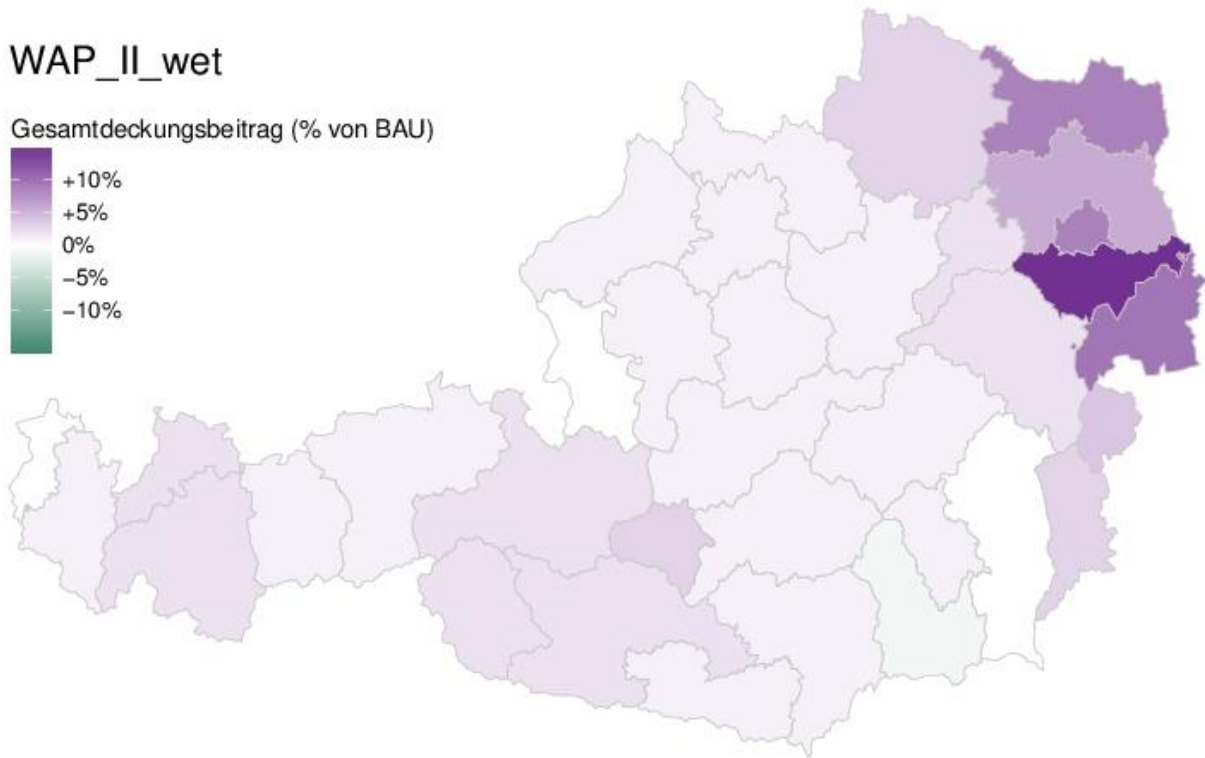
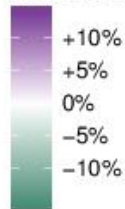


Abbildung 7: Änderung des Gesamtdeckungsbeitrages (inkl. Subventionen) von Szenario BAU zu Szenario WAP_II Wet (Zessner et al., 2017b)

Wassergüte und Gewässerzustand

In die Nährstoffemissionsmodellierung fließen sowohl die Ergebnisse der Abflussmodellierung als auch jene der Landnutzungsmodellierung ein. Geänderte Abflüsse führen zu geänderten Verhältnissen für den Nährstofftransport, aber auch für die Verdünnung der Stoffe in den Gewässern und damit für resultierende Gewässerkonzentrationen. Geänderte Landnutzung führt zu geänderten Nährstoffüberschüssen auf landwirtschaftlichen Flächen und geänderter Kulturartenverteilung und damit zu Änderungen im Bereich der Auswaschung von Nährstoffen und im Bereich der erosiven Gewässeremissionen. Für die Ergebnisdarstellung der Emissionsmodellierung sind zwei Betrachtungsweisen relevant. Zum einen sind das die Auswirkung der Szenarienbedingungen auf die transportierte Gewässerfracht. Österreich trägt mit seinen exportierten Nährstofffrachten zur Belastung des Schwarzen Meeres bei, welches vor allem in seinem westlichen Schelf-Bereich, in welchen auch die Donau mündet, stark Eutrophierungsgefährdet ist. Erhöhen sich die Nährstofffrachten steigt die Vulnerabilität des Schwarzen Meeres, vor allem wenn eine Klima-induzierte Frachterhöhung auch die anderen Länder des Donaueinzugsgebietes betrifft. Für den Gewässerzustand in den lokalen Gewässern dagegen ist nicht die transportierte Fracht, sondern die auftretenden Konzentrationen an bioverfügbaren Nährstoffverbindungen die relevante Kenngröße. Durch einen Vergleich für in unterschiedlichen Szenarien modellierten Konzentrationen mit den Qualitätszielen der Gewässer lässt sich das Risiko einer Verfehlung des guten ökologischen Gewässerzustands in Hinblick auf die Nährstoffparameter (Trophie) darstellen.

Abbildung 8 zeigt die Häufigkeitsverteilung der für unterschiedliche Szenarien modellierten Exportfrachten der 367 betrachteten MONERIS-Einzugsgebiete. Extremwerte von Exportfrachten

von bis zu 10 kg P/(ha·a) aufgrund des Gletscherabriebes in stark vergletscherten Einzugsgebieten (Zessner et al., 2011) sind in der Abbildung nicht dargestellt. Diese Situationen stellen aber Extremfälle dar, die für die Fragestellung dieser Arbeit von untergeordneter Bedeutung sind. Die Abbildung zeigt, dass das Feuchtszenario (IMPact_wet) zu einer deutlichen Erhöhung der Frachten in den Gewässern führt (verstärkter diffuser Eintrag über Erosion, Oberflächenabschwemmung und Grundwasser, sowie verringerte Retention). Durch die Gewässerschutzmaßnahmen im Szenario WAP_II_wet (von Bedeutung ist für Phosphor vor allem der Hackfruchtverzicht auf steilen Hängen und die verstärkte Förderung von Gewässerrandstreifen) kann diese Frachtzunahme ausgeglichen werden, und die Gewässerfrachten liegen wieder im Bereich des BAU-Szenarios. Im Trockenszenario (IMPact_dry) kommt es zu einer deutlichen Verringerung der Exportfrachten, welche durch die zusätzlichen Maßnahmen in WAP_II_dry noch deutlich verstärkt werden kann.

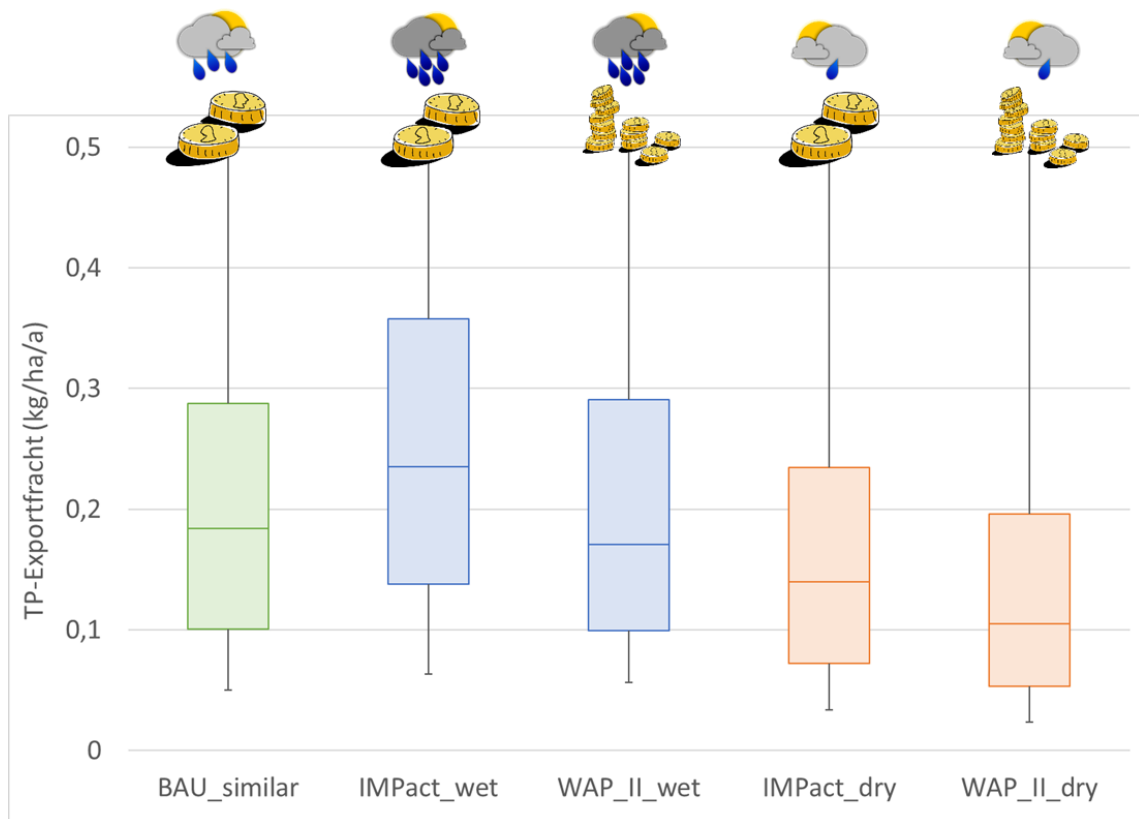


Abbildung 8: Boxplots der modellierten TP-Gewässerfrachten (Zessner et al., 2017b)

Qualitätsziele für Nährstoffparameter ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$) werden in Österreich als 90 %-Perzentile (c_{90}) und typenspezifisch in Abhängigkeit des jeweiligen trophischen Grundzustandes festgelegt. Dadurch variieren z.B. die $\text{PO}_4\text{-P}$ Qualitätsziele als c_{90} -Werte für unterschiedliche Gewässer in Österreich zwischen 0,02 und 0,2 mg/L. Für die Umsetzung einer Risikoanalyse der Zielverfehlung musste daher zum einen MONERIS um einen Modul zur Berechnung von c_{90} -Konzentrationen für $\text{PO}_4\text{-P}$ (bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$) erweitert werden (Gabriel et al., 2011). Zum anderen werden für die bessere Darstellung der Risikoanalyse die Quotienten zwischen modelliertem Wert und Qualitätsziel abgebildet. Auf Grund der Unsicherheiten der Modellierung wird dabei ein Quotient von $< 0,7$ als Einhaltung des Qualitätsziels, ein Quotient von $0,7\text{-}1,3$ als eventuelle Überschreitung, ein Quotient von $1,3\text{-}2,0$ als Überschreitung und ein Quotient von $> 2,0$ als deutliche Überschreitung des Umweltqualitätsziels (UQZ) gewertet.

In Abbildung 9 sind die Modellierungsergebnisse des Quotienten zwischen modellierten c_{90} -Konzentrationen und typenspezifischem Qualitätsziel für die Szenarien IMPact_dry, WAP_II_dry,

IMPact_wet und WAP_II_wet im Vergleich zum Szenario BAU dargestellt. Um die Übersichtlichkeit zu bewahren, wurden dabei nur die Ergebnisse jener Einzugsgebiete dargestellt, die stark von Ackernutzung beeinflusst und damit für die betrachtete Fragestellung vor allem von Relevanz sind. Es zeigt sich, dass vor allem im kritischen Bereich eines Quotienten von modellierter Gewässerkonzentration zu Qualitätsziel von $> 1,3$ für das Feuchtszenario IMPact_wet ein ähnliches Risiko zur Zielverfehlung auftritt wie im Szenario BAU. Dieses kann durch die Maßnahmen, die für WAP_II_wet angenommen wurden (relevant sind hier wieder vor allem der Hackfruchtverzicht auf steilen Hängen und die verstärkte Förderung von Gewässerrandstreife), deutlich verringert werden. Aber selbst in diesem günstigsten Fall bleibt eine Reihe von Gewässern in einem Belastungsbereich, wo von einer Zielverfehlung ausgegangen werden muss, und somit der gute ökologische Gewässerzustand nicht erreicht wird. Noch deutlich kritischer sind die Trockenszenarien. Alleine durch die erhebliche Verringerung des Abflusses in diesen Szenarien kommt es zu einer starken Erhöhung des Risikos einer Zielverfehlung in einer Reihe von Einzugsgebieten. Qualitätsziele werden um ein Vielfaches überschritten. Durch Annahme der Maßnahmen von WAP_II_dry kann die Situation wieder deutlich entschärft werden, allerdings ist in diesem Szenario, trotz Umsetzung umfassender Maßnahmen, das Risiko von Zielverfehlungen nur wenig geringer als im Szenario BAU. *Abbildung 10* und *Abbildung 11* zeigen die räumliche Verteilung des Risikos einer Verfehlung des UQZ. Auch bei Umsetzung umfassender Maßnahmen zur Reduktion der Phosphoremissionen bleiben in Dry-Szenario eine Reihe von Gewässern vor allem im Norden, Nordosten und Südosten Österreichs im Risiko einer Zielverfehlung aufgrund von PO₄-P Belastungen.

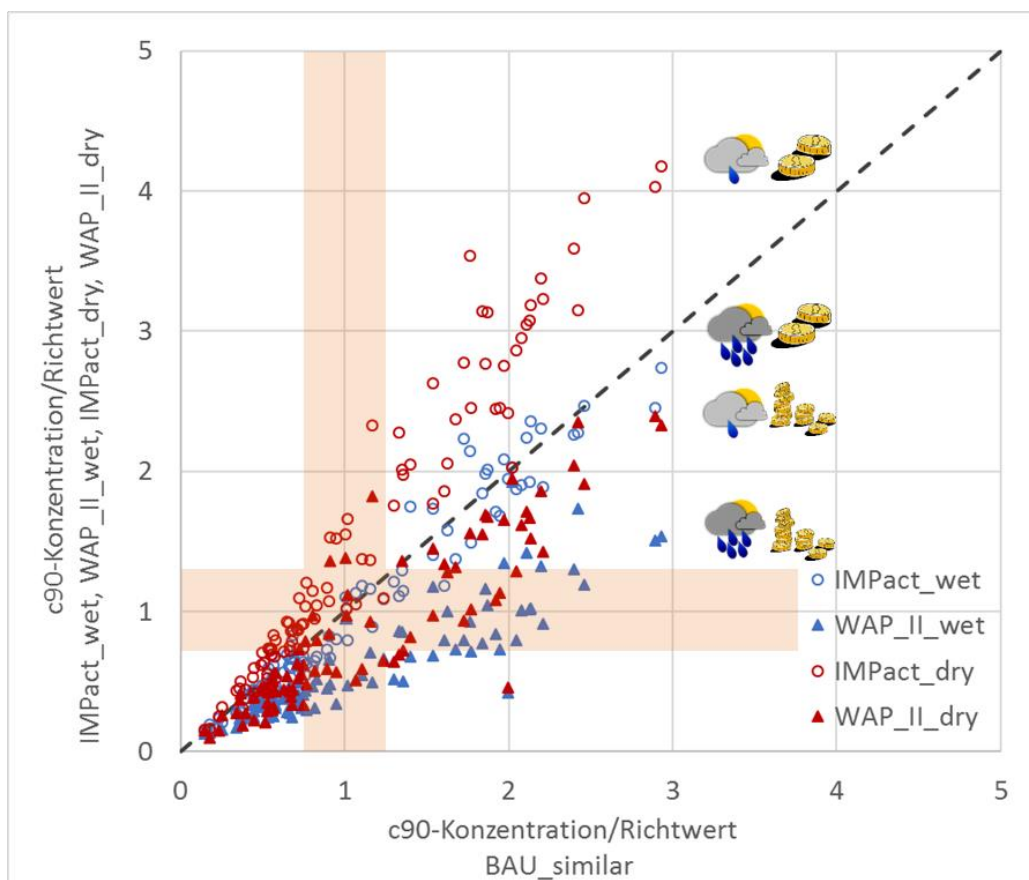


Abbildung 9: Modellerte Richtwertüberschreitungen (Verhältnis modellierte Gewässerkonzentration zu Richtwert) für PO₄-P in Acker-beeinflussten Einzugsgebieten, Vergleich von Szenarien (Zessner et al., 2017b)

Modellierte Überschreitung typspezifischer PO₄-P-Richtwerte

IMPact_dry

- Unterschreitung UQZ
- Event. Überschreitung UQZ
- Überschreitung UQZ
- deutliche Überschreitung UQZ
- nicht berücksichtigte Einzugsgebiete

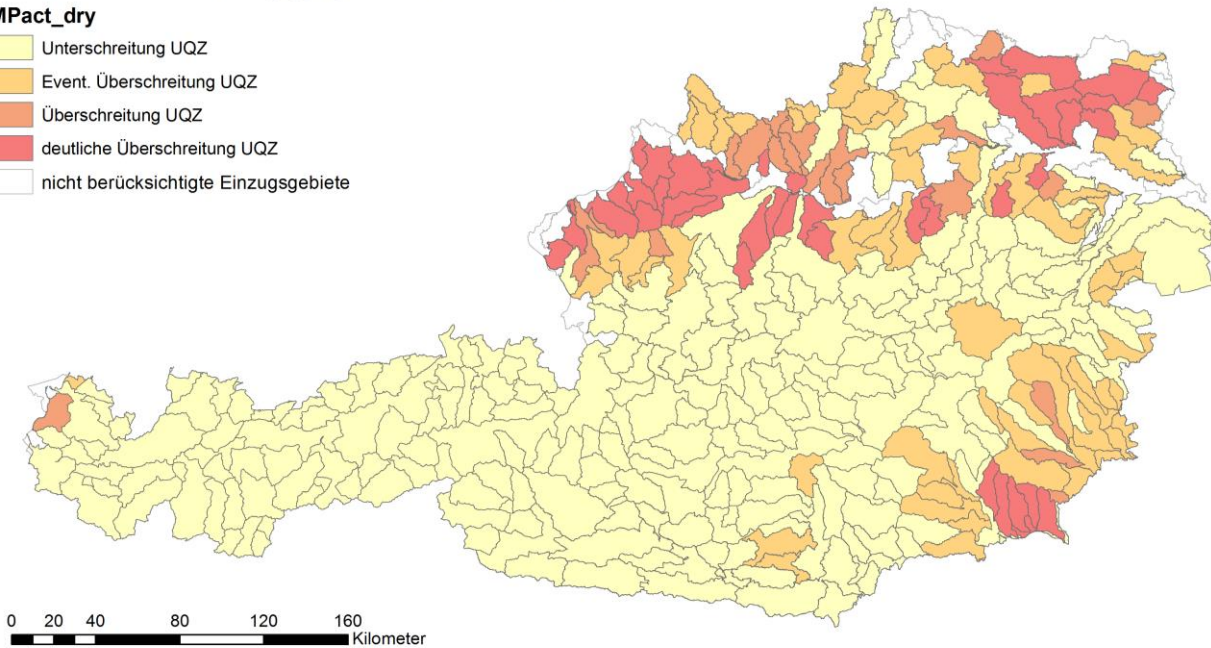


Abbildung 10: Räumliche Verteilung des Risikos einer Verfehlung des UQZ für PO₄-P im Szenario IMPact_dry. Modellierter Konzentration zu UQZ: < 0,7 = Unterschreitung, 0,7-1,3 = Event. Überschreitung, 1,3-2,0 = Überschreitung, > 2,0 = deutliche Überschreitung.

Modellierte Überschreitung typspezifischer PO₄-P-Richtwerte

WAP_II_dry

- Unterschreitung UQZ
- Event. Überschreitung UQZ
- Überschreitung UQZ
- deutliche Überschreitung UQZ
- nicht berücksichtigte Einzugsgebiete

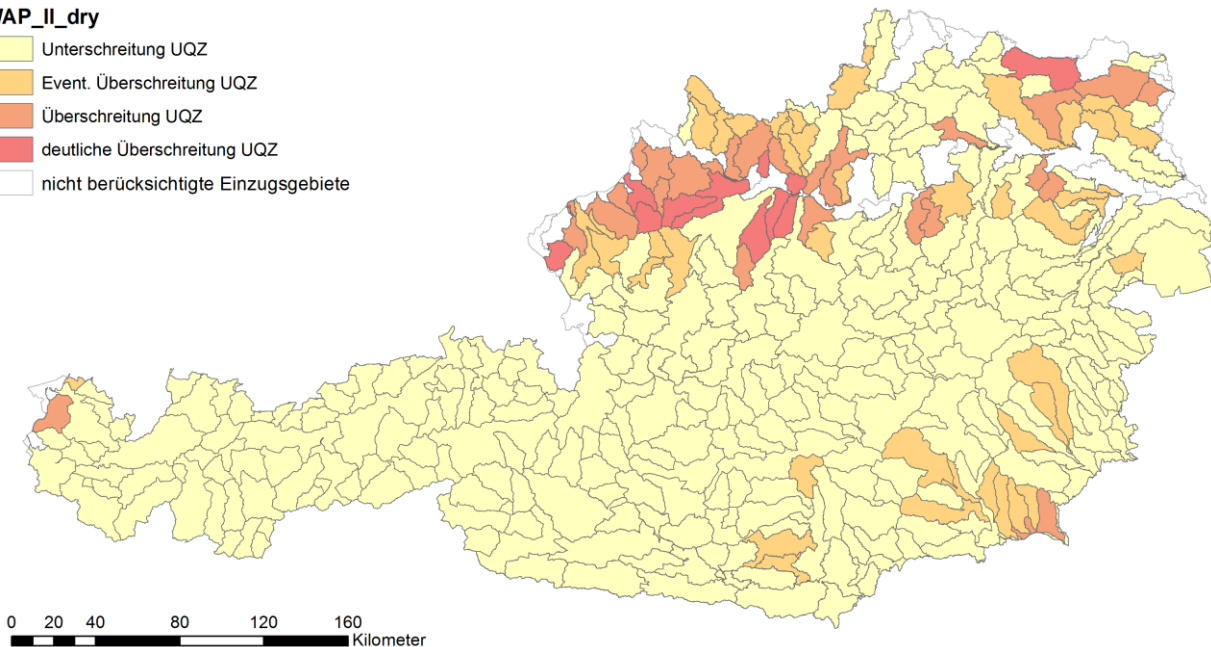


Abbildung 11: Räumliche Verteilung des Risikos einer Verfehlung des UQZ für PO₄-P im Szenario WAP_II_dry. Modellierter Konzentration zu UQZ: < 0,7 = Unterschreitung, 0,7-1,3 = Event. Überschreitung, 1,3-2,0 = Überschreitung, > 2,0 = deutliche Überschreitung.

4.2.2 Fallstudien

4.2.2.1 Seewinkel

Landnutzungsmodellierung

Die integrierte Modellierung für den Seewinkel zeigt, dass in der zukünftigen Periode 2010-2040 mit den Klimaszenarien Similar, Wet und Dry im Vergleich zur Periode 1975-2005 größere Änderungen in der Landnutzung und Bewirtschaftungsintensität zu erwarten sind. In der Modellierung wurde angenommen, dass Preise, Kosten und Prämien konstant bleiben, um die Auswirkungen der Klimawandelszenarien auf die Landnutzung und Bewirtschaftungsintensität isoliert betrachten zu können. Die statistischen Landnutzungsdaten von 2012-2014 zeigen, dass in der Region Seewinkel etwa 25.000 ha als Ackerland, 3.500 ha als Grünland und 3.000 ha als Weingärten genutzt wurden. Im verbleibenden Gebiet im Umfang von etwa 13.000 ha wurden die Nutzungsarten Brachland, Siedlungsflächen, Infrastruktur und sonstige verbaute Flächen als sonstiges Land im Modell zusammengefasst.

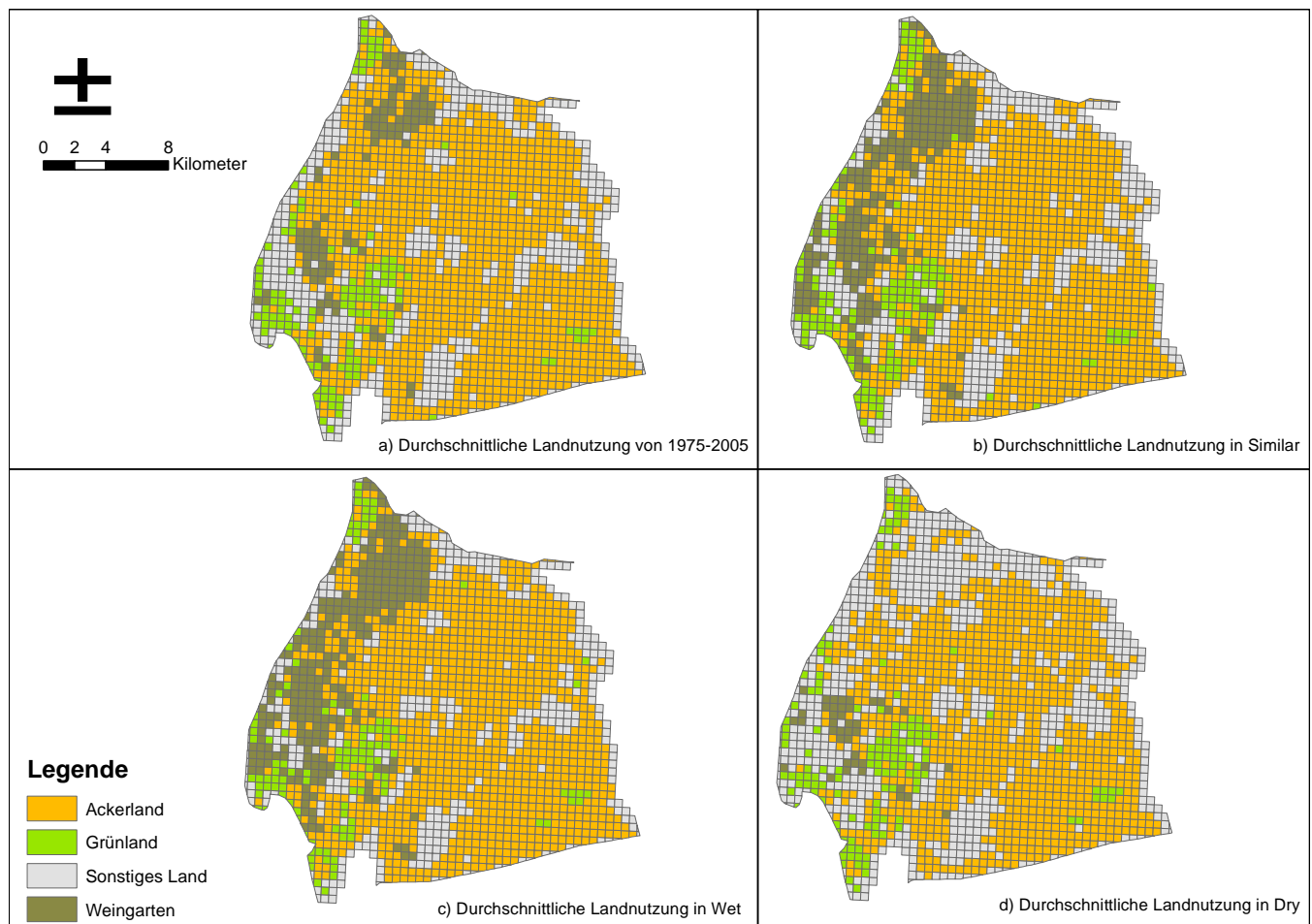


Abbildung 12: Durchschnittliche jährliche Landnutzungsverteilung für die Periode 1975-2005 (a) und die Periode 2010-2040 mit den Klimaszenarien Similar (b), Wet (c) und Dry (d)

Abbildung 12 zeigt die durchschnittliche Landnutzungsverteilung der Periode 1975-2005 und der Periode 2010-2040 mit den drei Klimaszenarien. Für die Periode 1975-2005 wurde im Modell eine durchschnittliche Beregnungsmenge von 26,5 Mio. m³ bzw. 166 mm berechnet. Die Möglichkeit der Beregnung wird im Modell begrenzt, sodass die durchschnittliche jährlich entnommene

Beregnungsmenge die anfallende Grundwasserneubildung nicht überschreiten darf. Abbildung 13 stellt die Beregnungsverteilung und -intensität für die Perioden und Szenarien in der Region dar. Die Modellierung zeigt, dass die durchschnittliche beregnete Fläche etwa 16.000 ha umfasst. Der modellierte durchschnittliche Netto-Nutzen der Agrarproduktion in der Region beträgt etwa 15,5 Mio. € bzw. 345 €/ha.

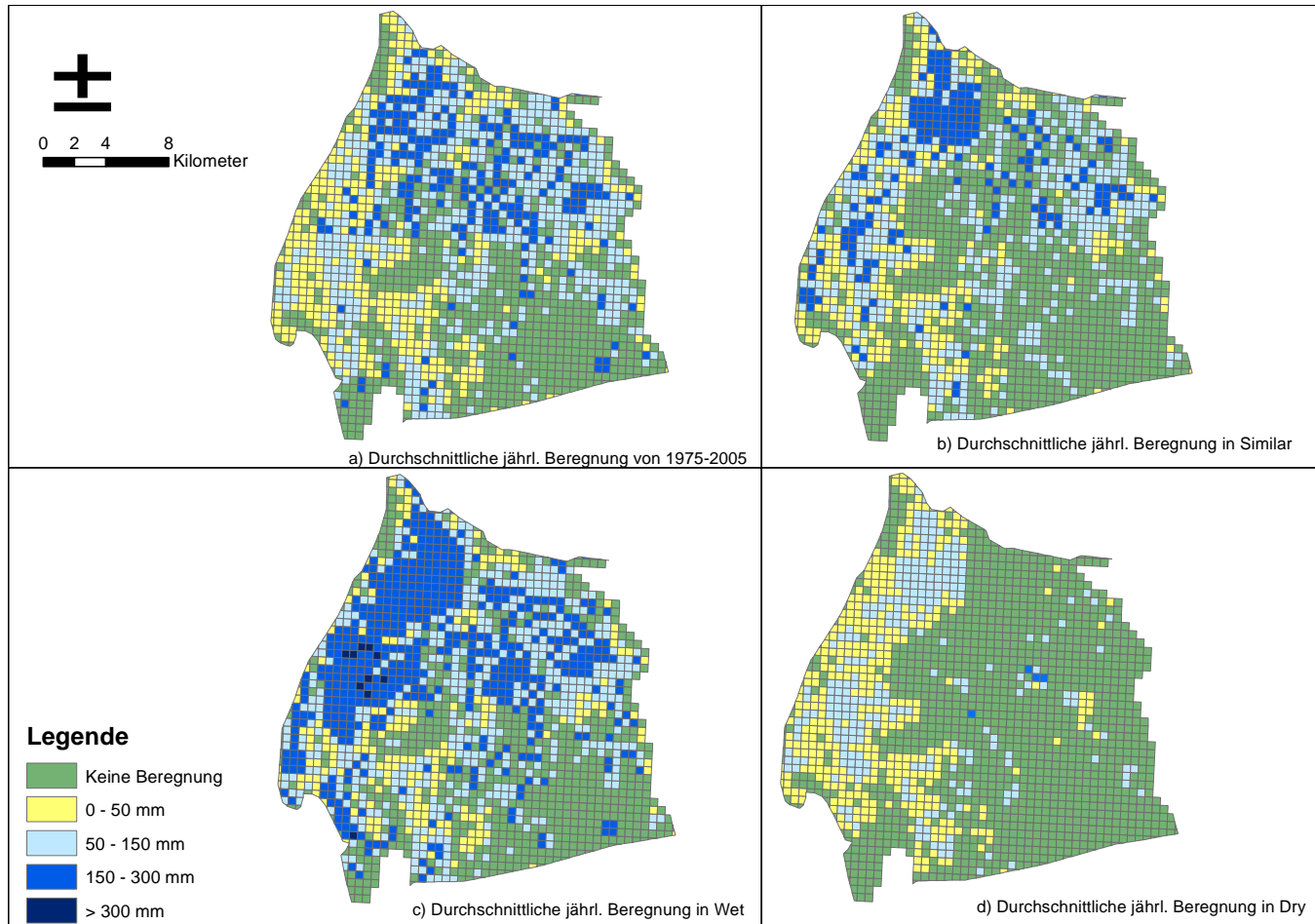


Abbildung 13: Durchschnittliche jährliche Beregnungsverteilung und -intensität im Seewinkel für die Periode 1975-2005 (a) und der Periode 2010-2040 mit den Klimaszenarien Similar (b), Wet (c) und Dry (d)

Im Klimaszenario Similar verringert sich das Ackerland im Durchschnitt auf ca. 23.500 ha und sonstiges Land auf 12.000 ha, Grünland bleibt in etwa gleich bei 3.500 ha und die Fläche an Weingärten steigt auf 5.800 ha. Im Durchschnitt wurden ca. 13.000 ha mit 21,4 Mio. m³ bzw. 163 mm Wasser beregnet. Der durchschnittliche Netto-Nutzen der Agrarproduktion in der Region beträgt 27 Mio. € bzw. 596 €/ha. Im Szenario Wet beträgt die Ackerfläche 24.700 ha, das Grünland 3.100 ha, die Weingärten 6.800 ha, sowie sonstiges Land 10.500 ha. Die beregnete Fläche beträgt ca. 14.700 ha und die Beregnungsmenge ca. 39 Mio. m³ bzw. 266 mm. Die Beregnungsintensität steigt vor allem im Westen des Seewinkels (siehe Abbildung 13), wo es auch einen Zuwachs an Weingärten gibt (siehe Abbildung 12). Durch die zusätzliche Beregnungsmenge und Ausdehnung von Weingärten kann der Netto-Nutzen der Agrarproduktion auf ca. 37,6 Mio. € bzw. 833 €/ha gesteigert werden. Im Szenario Dry, wo das jährliche Niederschlagsvolumen im Vergleich zur Vergangenheit um 20 % abnimmt, zeigt die Modellierung stärkere Landnutzungsänderungen. In der Region werden 21.500 ha als Ackerland, 3.300 ha als Grünland,

2.700 ha als Weingärten und 17.700 ha als sonstiges Land genutzt. Die mögliche Berechnungsmenge ist im Modell auf 7 Mio. m³ beschränkt. Die berechnete Fläche sinkt auf 4.000 ha, jedoch liegt die durchschnittliche Berechnungsintensität bei 168 mm, was ein höheres Niveau im Vergleich zur Vergangenheit oder zum Szenario Similar darstellt. Der durchschnittliche regionale Netto-Nutzen der Agrarproduktion sinkt auf 11,5 Mio. € bzw. 255 €/ha. Die unterschiedlichen Netto-Nutzen in den drei Szenarien zeigen, dass die landwirtschaftliche Rentabilität vor allem von der verfügbaren Wassermenge für die Beregnung abhängig ist, was insbesondere die Möglichkeit der Expansion von Weingärten bedingt.

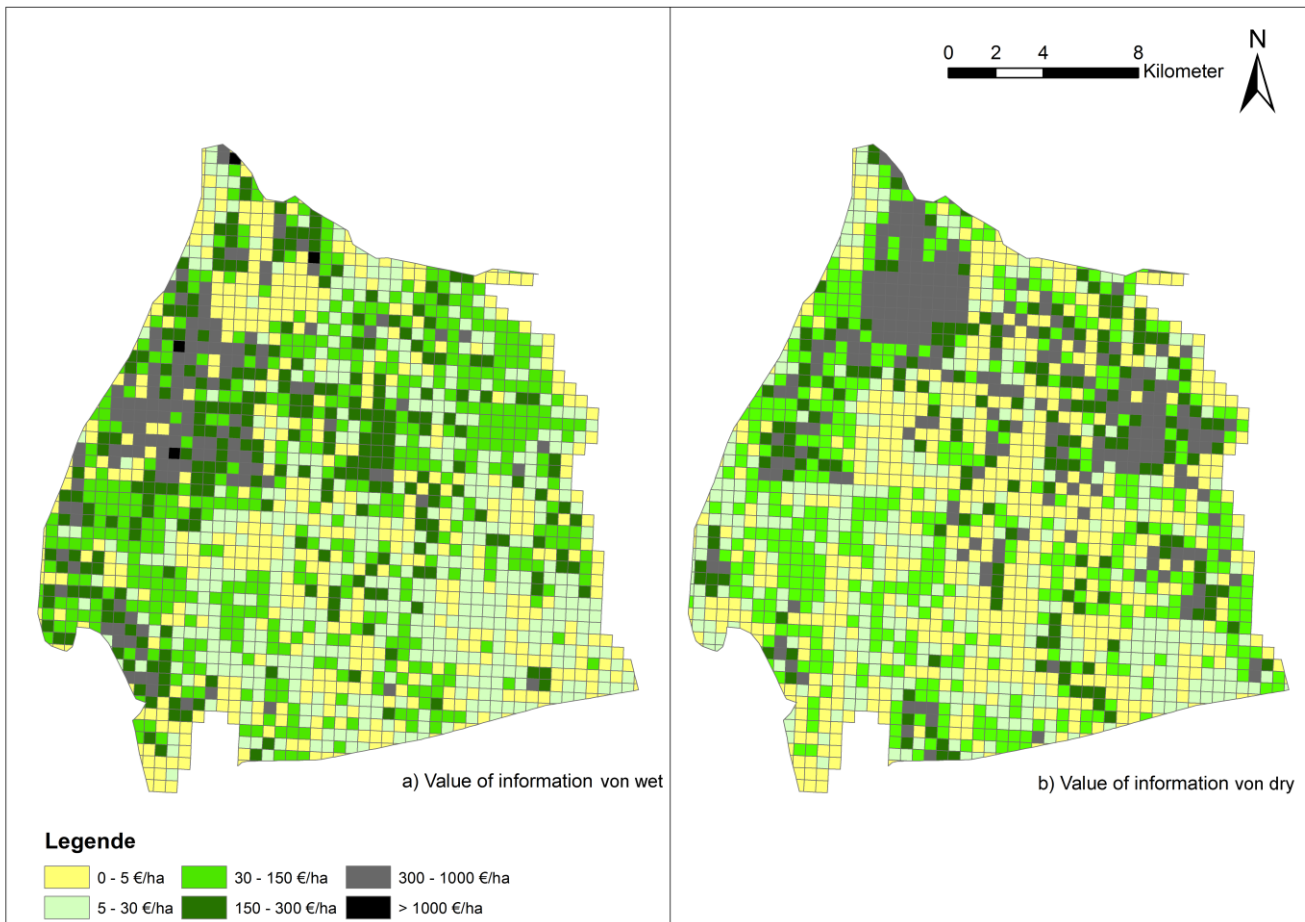


Abbildung 14: Der Value of Information (VOI) einer Anpassung an Similar, obwohl Wet (a) oder Dry (b) eintritt (eigene Darstellung)

Des Weiteren wurde der „Value of Information“ (VOI) für die beiden Klimaszenarien Wet und Dry ermittelt. Dieser errechnet sich aus dem Unterschied des Netto-Nutzens einer möglichen Fehlanpassung zwischen Similar, Wet und Dry, d.h. es wird Similar erwartet und angepasst, obwohl Wet oder Dry eintritt. Abbildung 14 zeigt den VOI in €/ha je Pixel im Seewinkel. Im Falle des Szenarios Wet ergibt sich ein VOI von 4 Mio. €. Das heißt, wenn sich Landwirte an ähnliche Niederschlagsverhältnisse wie in der Vergangenheit anpassen (Szenario Similar), jedoch das Szenario Wet eintritt, würde den Landwirten ein regionaler Netto-Nutzen von 4 Mio. € entgehen. Hier würde das wirtschaftliche Potenzial von Wet nicht genutzt werden (weniger Weingärten und weniger Beregnung als in der optimalen Wet Anpassung), was in Abbildung 14 insbesondere durch die hohen Werte im Westen der Region zum Ausdruck gebracht wird. Die Beregnung würde 50 % unter der verfügbaren Wassermenge liegen. Im Falle des Szenarios Dry würde der VOI 4,7 Mio. €

betragen. Hier käme es auch zu größeren Umweltauswirkungen, da die Beregnungsmenge die Sickerwassermenge um 216 % übersteigt.

Grundwasserstandsmodellierung

Um Aussagen über die Auswirkungen der Szenarien „wet“ und „dry“ auf die Grundwasserspiegelverhältnisse darzustellen wurde auf das bestehende kalibrierte Grundwasserströmungsmodell zurückgegriffen (Blaschke, 2010). Für die Berechnung der Szenarien wurden folgende Annahmen getroffen:

- Szenario „wet“: Grundwasserneubildung +20 %
- Szenario „dry“: Grundwasserneubildung -20 %

Die Abbildung 15 zeigt das Ergebnis für das Szenarium „wet“ im Vergleich zum derzeitigen Zustand bei hohen Grundwasserstandsverhältnissen als Vergleichszustand. Wie zu erwarten war nehmen die Grundwasserspiegellagen zu, betragen jedoch in weiten Bereichen nur wenige Dezimetern bis max. 58 cm. Die Abbildung 16 zeigt das Ergebnis für das Szenarium „dry“ im Vergleich zum derzeitigen Zustand bei niederen Grundwasserstandsverhältnissen als Vergleichszustand. Wie zu erwarten war nehmen, durch die Abnahme der Niederschläge und damit der Grundwasserneubildung, die Grundwasserstände ab. Auch hier liegen diese Abnahmen im Grundwasserspiegel nur wenige Dezimetern bis max. 82 cm.

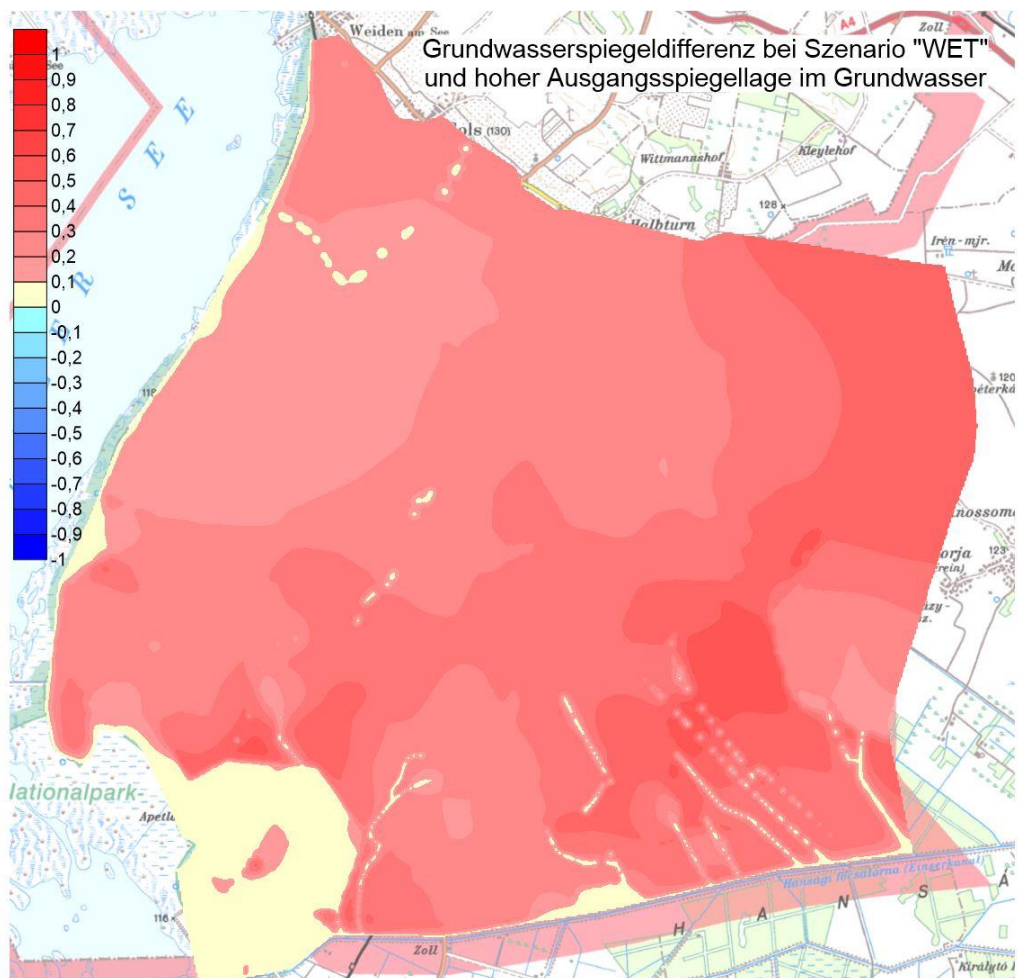


Abbildung 15: Einfluss auf den Grundwasserspiegel beim Szenario „WET“ (Werte in Metern)

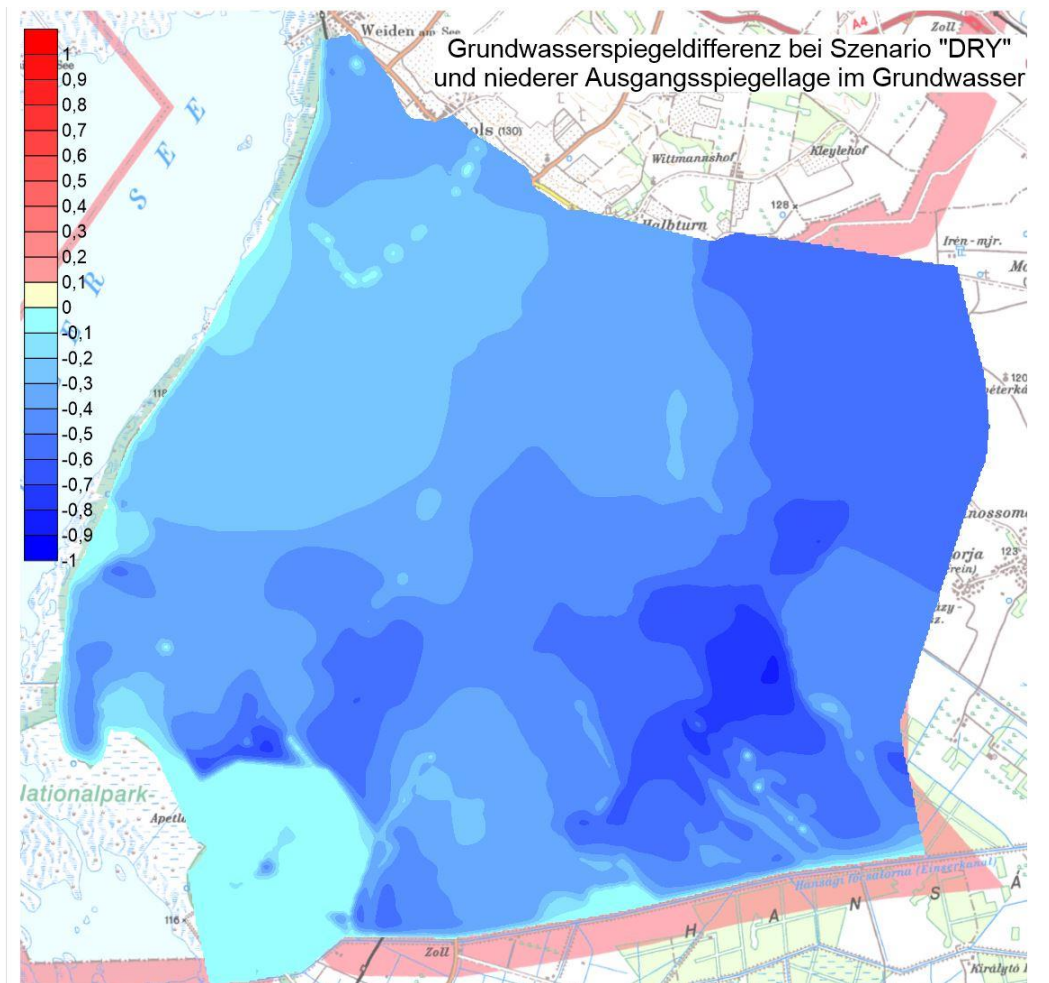


Abbildung 16: Einfluss auf den Grundwasserspiegel beim Szenario „DRY“ (Werte in Metern)

Diese extremen Annahmen in den Ausgangszuständen und die Annahme, dass die Erhöhung bzw. Reduktion der Niederschläge sich direkt auch in der Grundwasserneubildung widerspiegelt, geben einen Eindruck über die Spannweite der Auswirkungen der Szenarien „wet“ und „dry“, wobei insgesamt die Auswirkungen doch deutlich unter einen Meter bleiben.

4.2.2.2 Temperaturabhängigkeit der Primärproduktion

Die Fragestellung dieser Untersuchungen war, wie sich durch den Klimawandel induzierte Änderungen in der Temperatur, im Abfluss und in der Nährstoffkonzentration auf die Primärproduktion in österreichischen Fließgewässern auswirken würden. Zwei Gewässer wurden ausgewählt, die repräsentativ für verschiedene österreichische Gewässertypen sind. Die Schwechat dient als Beispiel für seichte, klare Gewässer mit hoher Sichttiefe und daraus resultierender Dominanz von Phytobenthos. Im Gegensatz dazu stellt die Raab ein tieferes, schwebstoffreicheres Gewässer mit geringerer Sichttiefe dar, deren Primärproduktion von Phytoplankton dominiert wird.

Abbildung 17 zeigt sowohl die Bruttoprimärproduktion (BPP) und Wassertemperatur (T) in der Schwechat über den Zeitraum von 2010 bis 2012 (a-c) als auch die Temperaturabhängigkeit der BPP (d). Wie erwartet weisen BPP und T ähnliche zeitliche Muster auf. Die Regression ist statistisch hochsignifikant und weist ein R^2 von 0,66 auf. Die Aktivierungsenergie, abgeleitet aus der Steigung der Regressionskurve, beträgt 0,65 eV (1 eV = 96,5 KJ/mol).

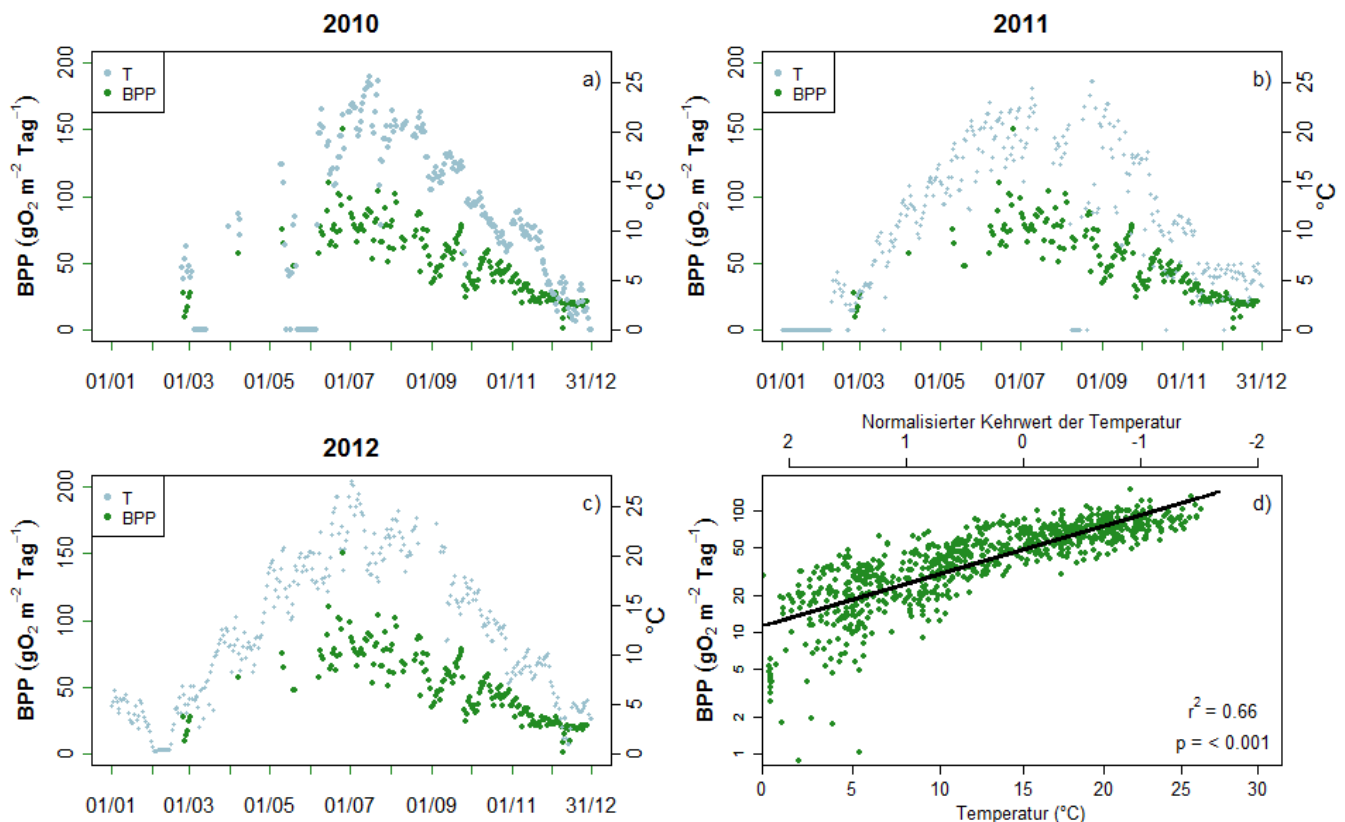


Abbildung 17: Bruttoprimärproduktion (BPP) und Wassertemperatur in der Schwechat von 2010 bis 2012 (a-c); Temperaturabhängigkeit der BPP (d).

Anhand dieses Regressionsmodells wurde berechnet, dass eine durch den Klimawandel induzierte Erhöhung der Wassertemperatur um 1°C zu einer Zunahme der Bruttoprimärproduktion um etwa 9 % führen würde. Die Verbindung dieses Ergebnisses mit innerhalb des IMPact_dry Klimaszenarios modelliertem Abfluss und modellierter Phosphorkonzentration in den produktivsten Monaten zeigt, dass eine Zunahme der BPP um 9 % in der Schwechat tatsächlich möglich wäre, da sie nicht von der Phosphorverfügbarkeit begrenzt werden würde. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass trotz einer erhöhten Nährstoffaufnahme die Phosphorkonzentration im Bereich von 0.025 mg/L bleiben würde und damit auch bei einer stärkeren Zunahme der BPP in einem Klimaszenario mit höherer Temperaturzunahme nicht limitierend werden würde.

Wie in Abbildung 18 (a-g) zu sehen ist weisen BPP und T auch an der Raab ähnliche zeitliche Muster auf. Wie auch bei der Schwechat ist die Regression, welche die Temperaturabhängigkeit der BPP modelliert, mit einem R² Wert von 0,61 hochsignifikant (Abbildung 18 h). Trotzdem wurde ein deutlicher Unterschied im Ausmaß der Primärproduktion zwischen den zwei Gewässern festgestellt. Während die BPP im Sommer in der Schwechat Werte größer als 100 g O₂/(m² d) erreicht, bleibt sie im selben Zeitraum an der Raab unter 20 g O₂/(m² d). Dieser Unterschied kann im Wesentlichen auf die Lichtverfügbarkeit zurückgeführt werden, welche in der Schwechat viel höher ist als in der Raab.

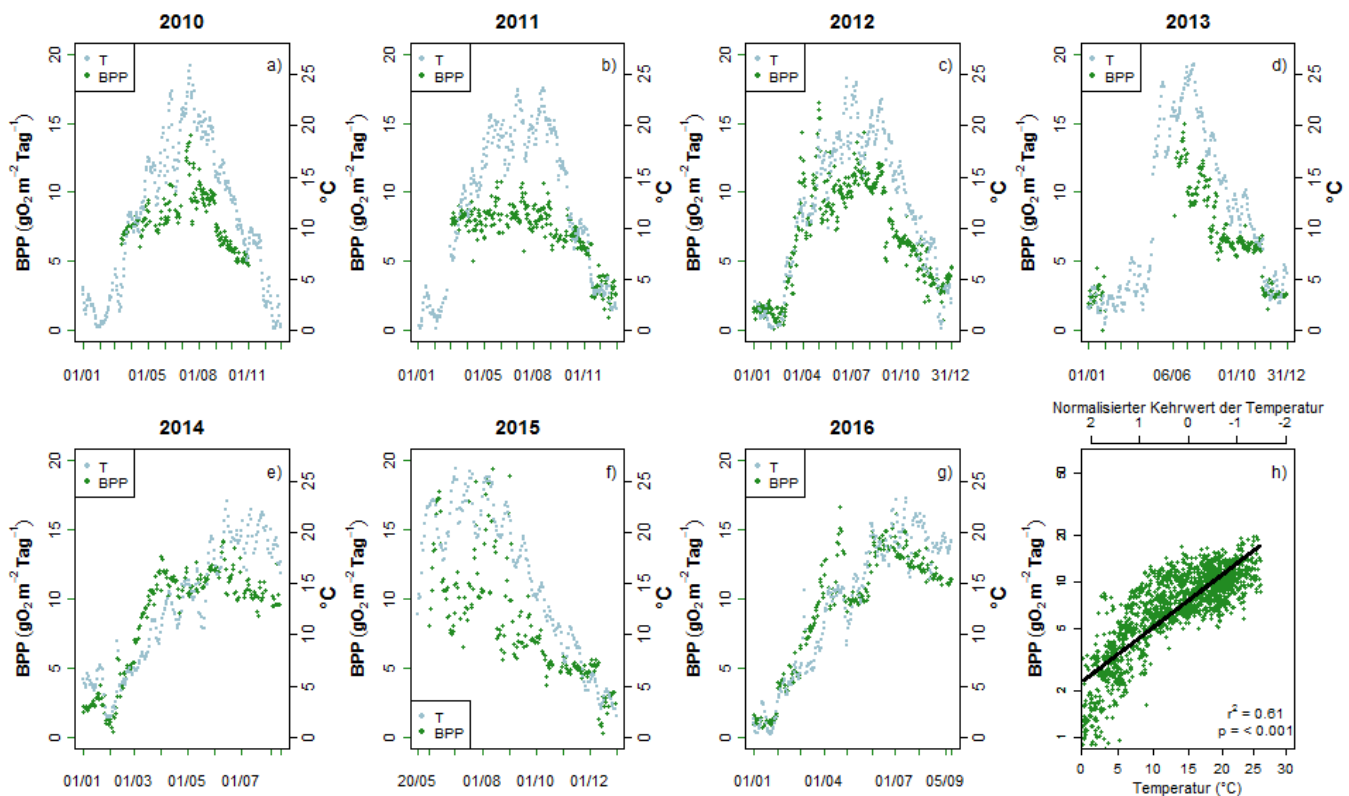


Abbildung 18: Bruttoprimärproduktion (BPP) und Wassertemperatur in der Raab von 2010 bis 2016 (a-g); Temperaturabhängigkeit der BPP (h).

Ein weiterer Unterschied besteht in der leicht geringeren Aktivierungsenergie an der Raab, welche einen Wert von 0,55 eV aufweist, was einer Zunahme der BPP um ca. 7,5 % pro Erhöhung der Temperatur um 1°C entspricht. Die Verbindung dieser Ergebnisse mit dem IMPact_dry Klimaszenario zeigt, dass wie schon bei der Schwechat eine Zunahme der BPP um 7,5 % ohne Phosphorlimitierung tatsächlich stattfinden könnte. Im Gegensatz zur Schwechat würde allerdings eine weitere Steigerung der BPP durch die Phosphorverfügbarkeit begrenzt werden, da wegen der erhöhten Nährstoffaufnahme die Phosphorkonzentration schon bei einer Temperaturzunahme um 1 °C auf ungefähr 0,003 mg/L sinken würde.

In beiden Fallstudien ist das Verhältnis zwischen BPP und T stark abhängig von dem betrachteten Zeitraum. Wird statt dem ganzen Jahr nur Frühling und Sommer berücksichtigt, bleibt die Regression hochsignifikant, weist aber eine geringere Steigung und ein geringeres R² auf. Dafür sind mehrere Begründungen möglich. Zum einen kann dies durch die relativ geringen Temperaturänderungen in dieser begrenzten Periode begründet werden, zum anderen durch die Dominanz unterschiedlicher Algenarten in verschiedenen Jahreszeiten.

5 Schlussfolgerungen

Im folgenden Kapitel wird versucht, die im Projektantrag formulierten Forschungsfragen zu beantworten und aus den erzielten Ergebnissen Schlussfolgerungen abzuleiten. Die Struktur des Kapitels folgt daher den Forschungsfragen aus Kapitel 3.

Forschungsfrage 1: Wie wirken sich klimatische und sozioökonomische Veränderungen auf die österreichische Landnutzung, die Bewirtschaftungsintensitäten sowie dadurch induzierte

Nährstoffverluste und in weiterer Folge die Qualität und Quantität der Oberflächengewässer und Grundwasserkörper aus?

Um diese Forschungsfrage zu beantworten wurde zum einen ein integrierter Modellverbund (IIMF) entwickelt, mit dem die Auswirkungen klimatischer und sozioökonomischer Veränderungen auf die landwirtschaftliche Produktion und Bewirtschaftung, die Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer und die daraus resultierenden Nährstoffkonzentrationen österreichweit quantifiziert werden können. Zum anderen wurde in der Fallstudie Seewinkel die Landnutzungsmodellierung mit einer Grundwassermodellierung gekoppelt, um Aussagen zur Auswirkung klimatischer Veränderungen auf die Landnutzung, den damit einhergehenden Bewässerungsbedarf und in weiterer Folge auf Wasserverfügbarkeit und Grundwasserspiegel machen zu können. Diese Unterscheidung in der Herangehensweise war erforderlich, da nur für den ersten Aspekt österreichweit geeignete Modelle bereitgestellt werden konnten und für den zweiten Aspekt eine spezifische regionale Grundwassermodellierung erforderlich war. Für die österreichweite Modellierung konnten eine Niederschlags-Abfluss-Modellierung, eine Landnutzungsmodellierung und eine Nährstoffemissionsmodellierung gekoppelt werden und damit eine Risikoanalyse in Hinblick auf die Verfehlung von Umweltqualitätszielen für Nitrat und Phosphat als Elementen des ökologischen Gewässerzustandes durchgeführt werden.

Bei der Umsetzung des Projektvorhabens waren große methodische Herausforderung zu überwinden. Diese lagen vor allem in den Schnittstellenbereichen der unterschiedlichen Modelle. Hier waren eine Reihe von Adaptierungen und Anpassungen erforderlich um eine fachlich gut abgestimmte Übergabe von Outputs eines Modells als Inputs für ein anderes Modell zu ermöglichen. Besonders herausfordernd war die Abstimmung der Schnittstelle zwischen EPIC/PASMA und MONERIS in Hinblick auf die Definition der Nährstoffüberschüsse und die Übernahme des Bodenabtrages. Während für die Nährstoffüberschüsse eine zufriedenstellende Lösung gefunden und entsprechende Informationen in konsistenter Form aus EPIC/PASMA für MONERIS zur Verfügung gestellt werden konnten, war eine direkte Übernahme des Bodenabtrages aus EPIC/PASMA nicht möglich. Stattdessen wurden die Landnutzung von EPIC/PASMA genutzt, um über die allgemeine Bodenabtragsgleichung den Bodenabtrag zu berechnen und diesen in MONERIS als Eingangsgröße zu verwenden.

Letztendlich ist es damit gelungen, einen Modellverbund zu entwickeln und zu validieren, welcher alle relevanten Aspekte der Interaktion zwischen politischen Maßnahmen, wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, Landwirtschaft und Gewässerbelastungen soweit abdeckt, dass damit ausgehend von Annahmen zu Klimabedingungen (Niederschlags- und Temperaturverhältnisse), Wirtschaftsdaten (Preise und Kosten) und Gewässerschutzpolitiken (Verpflichtungen und Förderungen) eine Berechnung der Nährstoffbelastung von Gewässern ermöglicht wurde. Alle Modelle beruhen auf fundierten Kenntnissen und aktueller wissenschaftlicher Literatur und sind dazu geeignet, entscheidende Zustandsgrößen (z.B. regionale Fruchtartenverteilung, Teilnahme an Förderprogrammen, Gewässerabflüsse, Gewässerfrachten) für bekannte Verhältnisse mit akzeptabler Genauigkeit abzubilden. In Hinblick auf die erste Forschungsfrage konnten aus den österreichweiten Untersuchungen und den Untersuchungen am Fallbeispiel Seewinkel folgende Schlüsse gezogen werden:

- Klimaszenarien mit zunehmenden Temperaturen und abnehmendem Niederschlag erhöhen die Vulnerabilität von Gewässern bei Trockenheit vor allem dann, wenn sie durch Sommerniedrigwässer geprägt sind. Dies trifft in Österreich vor allem auf Regionen im Voralpenbereich von Nord-, Ost- und Südösterreich zu, die auch am stärksten durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt sind. (harte Aussage)

- In Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landnutzung zeigt sich eine große Heterogenität zwischen den unterschiedlichen Regionen Österreichs. Die Ertragsmodellierung mit EPIC zeigt positive und negative Einflüsse auf die Produktivität. Erträge können auf der einen Seite aufgrund verlängerter Vegetationsperioden und erhöhter CO₂-Gehalte in der Luft erhöht werden, können auf der anderen Seite aber in den semi-ariden, östlichen Teilen Österreichs durch Wassermangel und in den humiden, westlichen Teilen Österreichs durch zunehmende Erosion negativ beeinflusst werden. (harte Aussage)
- Im semi-ariden Seewinkel zeigt sich, dass die Änderungen im Jahresniederschlag die Landnutzung lokal auch sehr deutlich beeinflussen kann. Zunehmende Niederschläge führen zu höherer Grundwasserneubildung und damit zu einer erhöhten Verfügbarkeit von Bewässerungswasser für Weinbau und Ackerbau und in der Folge zu deren Ausweitung. Im Gegensatz dazu führt eine Abnahme im Niederschlag zu einer geringeren Verfügbarkeit von Bewässerungswasser und damit vermehrt zu Stilllegungen und einer reduzierten Wein- und Ackerproduktion. (harte Aussage)
- Insgesamt haben die aus heutiger Sicht schwer vorhersagbaren Niederschlagsbedingungen einen wichtigen Einfluss auf das Einkommen der Landwirte. Zunehmende Niederschläge (vor allem im Osten Österreichs) erhöhen das Einkommen der Landwirte, während abnehmende Jahresniederschläge dieses tendenziell reduzieren. (mittelharte Aussage)
- Der Einfluss von Klima-induzierter Anpassung der Landwirtschaft auf die Nährstoffemissionen in die Gewässer ist allerdings wesentlich weniger stark ausgeprägt, als der direkte Einfluss von geänderten Niederschlags/Abflussbedingungen. (weiche bis mittelharte Aussage)
- Bereits heute zeigt sich, dass in Hinblick auf Nährstoffbelastung vor allem jene Gewässer sensibel sind, wo Einträge aus der Landwirtschaft dominieren. In den Klimaszenarien wirken sich vor allem Annahmen zum Niederschlag und der damit verbundenen Abflusssituation stark auf die Nährstoffbelastung (Frachten und Konzentrationen) der Gewässer aus. So erhöht ein Trockenszenario die Sensitivität lokaler Gewässer, während ein Feuchtszenario den Ferntransport Richtung Schwarzes Meer erhöht. (harte Aussage)

Forschungsfrage 2: Welche kosteneffizienten Adaptierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft können den allenfalls nachteiligen direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion, die Wasserressourcen und die Wassergüte in Österreich entgegenwirken?

Auch zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde auf die Ergebnisse der Szenarienanalyse mit Hilfe des IIMF zurückgegriffen. Adaptierung ist hier als eine Reaktion des Landnutzungsmodells auf den Klimawandel und die Politiken zum Gewässerschutz zu verstehen. Eine Auswahl der Erkenntnisse wird im Folgenden zusammengefasst.

- Die regionalen Produktionsbedingungen bestimmen, ob sich gezielte Politikmaßnahmen oder Klimaverhältnisse stärker auf die Landnutzung auswirken. Förderungen von Maßnahmen für eine gewässerschonende Landwirtschaft können die gewählte Landnutzung beeinflussen. In Regionen, wo hohe Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden können, sind allerdings sehr hohe Prämien erforderlich, damit sich freiwillige Nutzungsweisen mit reduzierten Düngeneiveaus oder gewässerschonende Bewirtschaftung durchsetzen können. (harte Aussage)
- Ergebnisse der Landnutzungsmodellierung zeigen allerdings, dass Klimasituationen mit zunehmenden Temperaturen und abnehmendem Niederschlag die Teilnahme an Agrarförderprogrammen (ÖPUL) antreibt. Dies liegt vor allem daran, dass z.B. durch Ernteeinbußen bei zunehmender Trockenheit, die Teilnahme an Förderprogrammen zur

Extensivierung einen höheren Anreiz darstellt. Die Grenzerträge des Düngemittleinsatzes sind niedriger und führen damit zu einer extensiveren Produktion. Zunehmende Niederschläge wirken sich kaum auf die Teilnahme an Förderprogrammen aus, insgesamt erhöhen sie jedoch tendenziell die zu erzielenden Deckungsbeiträge der Landwirtschaft, vor allem in Ostösterreich. (mittelharte Aussage)

- Während für die Gewässerbelastung mit $\text{NO}_3\text{-N}$ zukünftige Niederschlagsverhältnisse die größten Auswirkungen auf die Szenarienergebnisse haben und Politikmaßnahmen im Modell vergleichsweise unwirksam sind, übersteigt für die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen in den Fließgewässern die Beeinflussung durch gezielt gesetzte Gewässerschutzmaßnahmen vielfach den Einfluss der Niederschlagsszenarien. (mittelharte Aussage)
- Auch wenn eine weitergehende Phosphorentfernung durch Kläranlagen ($< 0,5 \text{ mgTP/L}$ im Ablauf) eine kosten-effiziente Maßnahme zur Reduktion der Phosphorbelastungen der Gewässer darstellt, ist deren Potential zur Verbesserung der Belastung bei Gewässern, die im Risiko stehen die Umweltqualitätsziele zu verfehlen, nur noch gering. Zumeist dominieren hier diffuse Einträge aus der Landwirtschaft. Daher sind es vor allem Maßnahmen zur Reduktion des erosiven Phosphoreintrages, die eine hohe Effektivität aufweisen und daher eine weitgehende Reduktion der Gewässerbelastung herbeiführen können.
- Selbst durch umfassende Maßnahmenumsetzungen, wie sie in Politikscenarien angenommen wurden, kann die Verfehlung der Qualitätsziele für Phosphat-Phosphor auch im günstigen Feucht-Szenario in einigen Gebieten nicht gänzlich vermieden werden. Bei Eintreten des Trockenszenarios wird es auch bei intensiven Bemühungen in einer Reihe von Gewässern, vor allem im Norden, aber auch im Osten und Süden Österreichs, nicht möglich sein, die derzeitigen Qualitätsziele für Phosphat-Phosphor einzuhalten. (harte Aussage)

Forschungsfrage 3: Wie groß sind die mit der Modellierung der Auswirkungen verbundenen Unsicherheiten und wie können diese bestmöglich an die Interessensvertreter kommuniziert werden?

Ein Vorteil einer Modellierung gegenüber Expertenbeurteilung liegt in der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Zudem können auch äußerst komplexe Zusammenhänge quantitativ dargestellt werden, die über die Erfahrung und Vorstellungskraft von Experten hinausgehen. Dennoch hängt die Verlässlichkeit der Ergebnisse auch von einem hinreichenden Verständnis des modellierten Systems ab. Im Falle des IIMF legen die fundierte Basis der Modellentwicklung sowie die Modellüberprüfung über Validierung an gemessenen Daten die Eignung des Modelverbundes zur Quantifizierung von Klima- und Politikscenarien nahe. Trotzdem ist eine Reihe von Unsicherheiten im Zuge der Modellanwendung zu berücksichtigen.

Die erste Unsicherheit betrifft die Abschätzung zukünftiger Rahmenbedingungen. Im vorliegenden Fall beeinflussen Veränderungen der wirtschaftlichen und politischen Verhältnisse und die Klimaveränderungen die zukünftige Entwicklung am wesentlichsten. Wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen sind über längere Perioden nicht vorhersagbar. Daher wurden hier nur stabile Trends angesetzt. Vorhersagen über Klimaentwicklungen sind sehr stabil soweit es die Temperatur betrifft, aber äußerst unsicher in Hinblick auf den Niederschlag. Um diese Unsicherheiten abdecken zu können, wurden bei der Szenarienwahl stark kontrastierende Annahmen für die zukünftige Niederschlagsentwicklung gewählt. Insgesamt wird aus diesen Annahmen jedoch klar, dass es bei der Szenarientwicklung nicht darum ging, Vorhersagen für die Zukunft zu treffen, sondern eine weite Bandbreite möglicher Entwicklungen abzudecken, um die Robustheit von Politikmaßnahmen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen aufzeigen zu können.

Eine zweite Ursache von Unsicherheiten ist das begrenzte Systemverständnis und Limitierungen bei der quantitativen Abbildung unterschiedlicher Wechselwirkungen in den Modellen. Eine umfassende Sensitivitätsanalyse aller Modellkomponenten des IIMF ist derzeit aufgrund der hohen Anzahl von Eingangsvariablen und einer fehlenden Automatisierung der Modellschnittstellen nicht möglich. Im Rahmen des Projektes wurden daher folgende zwei Ansätze gewählt, um diese Unsicherheiten bei den Berechnungen zu berücksichtigen:

- Vergleich der Modellergebnisse aus deutlich unterschiedlichen Varianten für Übergabevariablen an den Modellschnittstellen.
- Qualitative Beurteilung der aus den Modellergebnissen abgeleiteten Aussagen (weiche, mittelharte oder harte Aussage) basierend auf den Erfahrungen aus der Modellvalidierung, den Berechnungen unterschiedlicher Modellvarianten und aus einer daraus abgeleiteten Experteneinschätzung.

Aus der Modellvalidierung lässt sich z.B. ableiten, dass die Modellergebnisse des gesamten IIMF für 48 % der betrachteten Einzugsgebiete eine Abweichung zwischen den modellierten und den beobachteten TP-Frachten von mehr als 30 % aufweisen. Problematisch dabei sind vor allem Gebiete mit starkem Gebirgseinfluss, die über die Modellierung nur ungenau abgebildet werden können. Bei den agrarisch geprägten Einzugsgebieten sind die Modellergebnisse deutlich besser, da hier nur bei 23 % (Dominanz von Grünland) bzw. 30 % der Einzugsgebiete (Dominanz von Acker) die Abweichung zwischen beobachteten und modellierten TP-Frachten mehr als 30 % beträgt. Speziell in einzelnen Einzugsgebieten mit Acker-Dominanz ist jedoch eine sehr große Abweichung der Modellergebnisse von den Beobachtungen gegeben. In Hinblick auf die Szenarien mit Änderungen in der Landwirtschaft zeigt das IIMF insgesamt gute Voraussetzungen, um generelle regionale Trends abbilden zu können. In einzelnen Gebieten kann es jedoch zu deutlichen Fehlbefunden kommen, da spezifische lokale Einflussgrößen nicht immer entsprechend abgebildet werden.

Forschungsfrage 4: Welche direkten und indirekten Auswirkungen dieser Veränderungen auf die chemischen und biologischen Prozesse in Oberflächengewässern gibt es?

Basierend auf mehrjährige und hochaufgelöste Daten aus Online-Messstationen wurde die Temperaturabhängigkeit der Primärproduktion an den zwei österreichischen Fließgewässern Schwechat (seichte, klare Gewässer mit hoher Sichttiefe) und Raab (tieferes, schwebstoffreicheres Gewässer mit geringerer Sichttiefe) untersucht. Darauf aufbauend wurde geprüft, wieweit diese Temperaturabhängigkeit tatsächlich in eine steigende Primärproduktion umgemünzt werden kann, wenn die durch geändertes Klima und geänderte Landnutzung beeinflusste Phosphorverfügbarkeit (Ergebnisse des IIMF) berücksichtigt wird. Folgende Schlüsse können gezogen werden:

- In beiden Gewässern würde eine Erhöhung der Wassertemperatur um 1 Grad Celsius zu einer Zunahme der Primärproduktion um ungefähr 7-9% führen.
- An der Raab bleibt die Primärproduktion im Sommer generell unter 20 g O₂/(m² d). Eine geringe verbleibende Phosphorverfügbarkeit würde eine Zunahme der Primärproduktion bei einer Erhöhung der Wassertemperatur um mehr als 1 Grad Celsius begrenzen.
- Wesentlich kritischer in Hinblick auf eine verstärkte Eutrophierung durch Klimaeffekte ist die Situation an der Schwechat. Zum einen erreicht die Primärproduktion im Sommer bereits derzeit Werte von mehr als 100 g O₂/(m² d). Zum anderen wäre eine Zunahme der Primärproduktion auch bei einer Temperaturzunahme von mehr als 1 Grad Celsius nicht phosphorlimitiert.

C) Projektdetails

6 Methodik

6.1 Österreichweite Modellierung (IIMF)

In Kapitel 4.2.1.1 wurde bereits der gesamte Modellverbund (IIMF) für eine Österreich-weite Modellierung vorgestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten des Modellverbundes genauer beschrieben.

6.1.1 Niederschlags-Abflussmodellierung

Innerhalb des IIMF werden die Auswirkungen der veränderten klimatischen Bedingungen auf die regionale Wasserbilanz und den Abfluss durch das semidistributive konzeptionelle Niederschlags-Abflussmodell TUWmodel (Viglione und Parajka, 2014) geschätzt. Das Modell simuliert die Wasserbilanz und die Abflussbildung mit einem täglichen Zeitschritt unter Verwendung von Niederschlag, Lufttemperatur und potentieller Evapotranspiration als Eingangsdaten. Das TUWmodel besteht aus Routinen für Schnee, Bodenfeuchte und Abflussrouting. Die Schnee-Routine schätzt Schnee-Akkumulation und Schmelze basierend auf dem Tag-Grad-Verfahren. Die Bodenfeuchteroutine bildet Änderungen im Bodenspeicher ab und verwendet eine nichtlineare Funktion und einen Schwellenwert, um die Abflusserzeugung und Evapotranspiration in Abhängigkeit der Bodenfeuchte zu simulieren. Abflussrouting am Hang wird durch ein oberes und ein unteres Bodenreservoir repräsentiert. Das Abfluss-Routing im Gerinne wird durch eine dreieckige Transferfunktion simuliert.

Das TUWmodel verfügt über 15 Modellparameter, die typischerweise gegen beobachtete Abflussdaten kalibriert werden. In dieser Studie wird es unter Verwendung des automatischen Kalibrierverfahrens SCE-UA (Duan et al., 1992) in 277 Einzugsgebieten im Zeitraum 1976-2010 kalibriert. Die Kalibrierprozedur und die Parameter des SCE-UA-Algorithmus werden auf der Basis von früheren Analysen ausgewählt, die in verschiedenen Kalibrierstudien im Untersuchungsgebiet durchgeführt wurden (z.B. Parajka und Blöschl, 2008, Merz et al., 2011, Parajka et al., 2016). Die Güte des TUWmodel wird durch die Nash-Sutcliffe-Effizienz (ME) und den Volumenfehler (VE) evaluiert:

$$M_E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad V_E = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{sim,i} - \sum_{i=1}^n Q_{obs,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{obs,i}}$$

Dabei ist $Q_{sim,i}$ der simulierte Abfluss am Tag i , $Q_{obs,i}$ der beobachtete Abfluss und Q_{obs} der Durchschnitt des beobachteten Abflusses über die Kalibrierperiode von n Tagen.

Die Klimaeingangsdaten für die Modellkalibrierung, d.h. die Zeitreihe der täglichen Niederschlags- und Lufttemperatur für die Höhenzonen jedes Einzugsgebietes, wurden durch externe Driftkriging-Interpolation erstellt (Merz et al., 2011). Für die Interpolation wurden tägliche Beobachtungen des Niederschlags an 1091 Stationen und der Lufttemperatur an 212 Klimastationen verwendet. Die potentielle Verdunstung wird durch eine modifizierte Blaney-Criddle-Methode (Parajka et al., 2005a) geschätzt. Weitere Einzelheiten über die Modellstruktur und ihre Anwendung in Österreich

und Europa sind z.B. in Parajka et al. (2007, 2008), Viglione et al. (2013) und Ceola et al. (2015) nachzulesen.

Das TUWmodel wird in ausgewählten Einzugsgebieten einzeln kalibriert, so dass der Abfluss an den Messstellen für jede historische oder zukünftige Zeitspanne simuliert werden kann, wenn die Modelleingangsdaten (Niederschlag und Lufttemperatur) gegeben sind. Um die Auswirkungen des Klimawandels an Orten ohne direkte Abflussmessungen zu bewerten, müssen die hydrologischen Modellsimulationen an Standorte ohne Abflussdaten übertragen werden (Regionalisierung). In dieser Studie werden die hydrologischen Modellsimulationen des Abflusses von 277 Einzugsgebieten auf das gesamte österreichische Flussnetz (7774 Flussabschnitte) mit dem Top-Kriging-Ansatz übertragen. Top-Kriging ist eine geostatistische Interpolationsmethode, die eine Schätzung des täglichen Abflusses entlang des Flussnetzes ermöglicht. Es vereint zwei Prozesse: die lokale Abflusserzeugung, die im Raum kontinuierlich ist, und die Abflussaggregation und das Routing entlang des Stromnetzes (Viglione et al., 2013).

Die Abflussflussbeobachtungen repräsentieren aggregierte Werte (lineare Mittelwerte) lokaler Realisierungen des Prozesses, integriert über ein Gebiet (wie zB Abfluss pro Flächeneinheit). Der Topkriging-Ansatz geht davon aus, dass der spezifische Abfluss aus Einzugsgebieten als ein linearer Durchschnitt des in Teileinzugsgebieten erzeugten Abflusses betrachtet werden kann und dass die erwartete Varianz zwischen den Beobachtungen eine Funktion des Abstandes ist. Die Interpolationsgewichte werden durch Mittelung des Punktvariogramms über das Einzugsgebiet (kriging support) geschätzt, was die genestete Struktur und Topologie des Flussnetzes berücksichtigt. Bisherige Studien in Österreich (zB Skøien und Blöschl, 2007, Skøien et al., 2008, Viglione et al., 2013, Parajka et al., 2015) zeigen, dass die Schätzung von Tagesabflusswerten an Standorten ohne Messwerte durch Top-Kriging anderen Methoden, die hydrologische Modellparameter auf Standorte ohne Messdaten übertragen, überlegen ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wenden wir einen Top-Kriging-Ansatz an, um regionale Muster des beobachteten und simulierten täglichen Abflusses der Referenz- und Zukunftsperiode zu simulieren. Diese Abflussdaten dienen dann als Eingangsdaten für die Simulation von Nährstoffemissionsbelastungen durch das MONERIS-Modell.

6.1.2 Landnutzungsmodellierung

EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) ist ein bio-physikalisches Prozessmodell (Izaurrealde et al., 2006), mit dem Ertrags- und Umweltindikatoren simuliert werden können. EPIC arbeitet mit Tageswetterdaten und verknüpft diese mit Bodentypen, topografischen Informationen, Bewirtschaftungsverfahren und -maßnahmen (Williams 1995). Wesentliche Inputs sind daher Tageswetterdaten (z.B. aus Klimaszenarien), Bodeninformationen aus der digitalen Bodenkarte (BFW, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft) und ein digitales Höhenmodell (BEV, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen). Bewirtschaftungsverfahren und -maßnahmen werden vorab festgelegt. Die Ergebnisse beziehen sich auf das jeweilige Verfahren. Die Ergebnisse werden für homogene Landeinheiten (homogeneous response units, HRUs) ermittelt und liegen auf Rasterebene (1 km²) für das gesamte Bundesgebiet vor.

CropRota ist ein Fruchtfolgeoptimierungsmodell zur Ermittlung typischer Fruchtfolgen eines Betriebes oder einer Region (Schönhart et al., 2011). Es wurde in Aqua-Stress für die Gemeindeebene auf Grundlage von INVEKOS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) parametrisiert und liefert eine definierte Anzahl an Fruchtfolgen, die als Bestandteil der Managementverfahren in EPIC berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse aus EPIC werden zu mehrjährigen Durchschnitten für das jeweilige Klimaszenario aggregiert. Sie sind ein Input in PAsMA[grid]. Während EPIC Produktions- und Umweltdaten zu potenziellen Produktionsverfahren bereitstellt, wählt PAsMA[grid] aus allen Managementmöglichkeiten die ökonomisch optimalen Strategien unter den gegebenen klimatischen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen aus.

Das Modell PAsMA[grid] (Positive Agricultural and Forestry Sector Model Austria) bildet den gesamten österreichischen Agrar- und Forstsektor ab. Es berücksichtigt die Agrarstruktur, Produktion und Agrarpolitik räumlich explizit. Landnutzungsentscheidungen werden auf 1 km² Ebene modelliert, um die Heterogenität der Produktionsgrundlagen in Österreich (z.B. Bodenqualität, Hangneigung, Seehöhe, Klima) und deren Auswirkungen auf die Produktivität in der Land- und Forstwirtschaft besser berücksichtigen zu können. PAsMA[grid] ist ein lineares räumlich explizites Bottom-up-Agrar- und Forstsektormodell zur produktionsseitigen Quantifizierung dieser Sektoren. Die Nachfrage wird in Form von Preisannahmen exogen bestimmt und ist ein wichtiger Modelltreiber in den zu definierenden Szenarien. Dahinter steht die Annahme, dass Österreich ein kleines Land ist und die Preise der EU durch Produktionsanpassungen in Österreich nicht beeinflusst werden. Auf Angebotsebene werden Produktionsmöglichkeiten im Detail mit ihren Kosten und räumlich-explizit abgebildet (z.B. Kulturwahl und Düngeintensität, Fruchtfolgewahl sowie Bodenbearbeitungsmaßnahme; Schnittstelle zu EPIC). PAsMA[grid] maximiert die regionale Produzentenrente (= der gesamte Deckungsbeitrag aus der Land und Forstwirtschaft) in jeder NUTS-3 Region. Kulturwahl und Management erfolgen auf der Gemeindeebene. Die Darstellung der Landnutzung je 1 km² Pixel erfolgt durch Disaggregation der Lösung auf Gemeindeebene nach dem Optimierungsvorgang. Der Lösungsraum wird durch die Ressourcenausstattung (Land- und Stallplatzkapazitäten), Dünger- und Nährstoffbilanzen und Dualitätsrestriktionen beschränkt. Durch letztere wird der Lösungsraum zugleich realistisch und flexibel gehalten, ohne dass es zu extremen Ecklösungen kommt, die typisch für die lineare Optimierung sind. Dualitätsrestriktionen bestehen aus verschiedenen Mixes für beobachtete Kulturarten-, Landnutzungs- und Nutztierhaltungsverteilungen, aus denen das Modell eine lineare Kombination wählen kann. Die Ressourcenausstattung leitet sich aus beobachteten Daten, überwiegend aus dem Datenbestand des INVEKOS und der Agrarstrukturerhebung ab. Weitere Datengrundlagen sind die standardisierten Deckungsbeiträge (BMLFUW, 2008), die digitale Bodenkarte Österreichs (Bundesforschungszentrum für Wald) und die digitale Höhenkarte (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen). Produktpreise sind der Statistik Austria entnommen, zukünftige Preisentwicklungen den OECD-FAO Forecasts (OECD/FAO, 2013).

Die Grundlage der Version von PAsMA[grid] in diesem Projekt wurde im ACRP-Projekt CAFFEE entwickelt. Die wesentliche Weiterentwicklung in Aqua-Stress besteht in der Definition der Schnittstelle zu den nachfolgenden Modellen, vornehmlich MONERIS und der Bodenerosions-Modellierung. Weiters erfolgte eine Adaptierung der Nährstoffkreisläufe aufgrund der Erfahrungen und Daten der Projektpartner.

6.1.3 Emissionsmodellierung

Die Aufgabe von MONERIS innerhalb des IIMF ist die Berechnung von Gewässernährstofffrachten und -konzentrationen. Hierfür gehen die von EPIC/PAsMA für Referenzperiode und Szenarien ermittelten Nährstoffüberschüsse, sowie die Landnutzung und im weiteren auch Fruchtfolgen als Eingangsdaten in MONERIS ein. Das TUWmodel stellt die erforderlichen Gewässerabflüsse für nicht beobachtete Gebiete und Szenarien zur Verfügung. Für dieses Projekt wurde die von Gabriel et al. (2011) erweiterte MONERIS Version 2.14 verwendet, welche Adaptierungen für alpine Regionen

beinhaltet. Die Erweiterungen der MONERIS Version 2.14 sind in Zessner et al. (2011) und Gabriel et al. (2011) zusammengefasst.

MONERIS unterteilt Österreich in 367 Einzugsgebiete mit einer mittleren Größe von ca. 200km². Für jedes Einzugsgebiet werden die Nährstoffemissionen über diffuse Eintragspfade (Grundwasser, Erosion, Oberflächenabfluss, Drainage, atmosphärische Deposition, Abflüsse von Mischwasserüberlauf und Trennkanalisation) und punktuelle Eintragspfade (Kläranlageeinläufe und industrielle Direkteinleiter) berechnet. Die Summe der Emissionsfrachten über punktförmige und diffuse Eintragspfade abzüglich der im Gewässer stattfindenden Retentions- bzw. Abbauvorgänge, welche als empirische Faktoren in die Berechnung eingehen, ergibt die modellierte Gewässerfracht. Unter Berücksichtigung des Abflusses werden zusätzlich Gewässerkonzentrationen berechnet. Für die Validierung von MONERIS und die Identifizierung von Unsicherheiten wurden modellierte Gewässerfrachten und -konzentrationen der Validierungsperiode 2005 bis 2010 mit in diesem Zeitraum gemessenen Gewässerfrachten und -konzentrationen verglichen.

Für die Unsicherheitsanalyse wurden zudem die Szenarienergebnisse aus PASMA[grid] auf zwei unterschiedliche Arten in MONERIS implementiert: 1.) Stickstoff- und Phosphorüberschüsse aus den PASMA[grid]-Ergebnissen wurden direkt in MONERIS übernommen. 2.) Neben dem PASMA Berechnungen liegen Überschüsse für den Referenzzeitraum auch aus einer Berechnung mit statistischen Daten über die OECD-Methode (OECD, 2013) vor. Um auf alternative Weise Überschüsse für die Szenarien zu berechnen, wurden die OECD-Überschüsse mit der relativen Änderung der Szenarienberechnungen aus PASMA[grid] multipliziert und so weitere Inputdaten für die Szenarienanalyse generiert.

Der Bodenabtrag wurde gemäß USLE (Wischmeier and Smith, 1978; Schwertmann et al., 1987) berechnet. Der vom Regenabfluss abhängig Erosionsfaktor R wurde über die lineare Korrelation des jährlichen Langzeiterosionsfaktors R und dem jährlichen Niederschlag ermittelt (Strauß et al., 1995). Dafür wurde ein 1 km Raster der mittleren jährlichen Niederschlagsdaten von Patajka et al. (2005b) verwendet. Der Bodenerodierbarkeitsfaktor K, der Hanglängenfaktor L, der Hangneigungsfaktor S und der Bodenbedeckungs- bzw. Bodenbearbeitungsfaktor C wurden aus der INVEKOS-datenbank abgeleitet. Die Datenbank enthält detaillierte jährliche Informationen für einen Großteil der in Österreich befindlichen Ackerflächen (wpa und BAW, 2009). Für die Berechnung des flächengewichteten durchschnittlichen Bodenabtrags pro Rasterzelle wurde der C-Faktor der Referenzperiode verwendet, welche auf der Fruchtfolge des PASMA[grid]-Datensatzes der Referenzperiode beruht. Für die Szenarien wurde in gleiche Weise allerdings mit den Szenarienergebnisse aus PASMA[grid] verfahren.

6.2 Fallbeispiel Seewinkel

6.2.1 Landnutzungsmodellierung

Wir haben einen Modellverbund aus einem statistischen Klimamodell für Österreich (Strauss et al., 2013), dem Fruchtfolgemodell CropRota (Schönhart et al., 2011), dem biophysikalischen Prozessmodell EPIC (Williams, 1995) und dem ökonomischen bottom-up Landnutzungsmodell BiomAT (Stürmer et al., 2013; Mitter et al., 2015) erstellt. Dazu haben wir die räumliche Auflösung von EPIC und BiomAT auf 500 m erhöht. In EPIC wurden für die Perioden 1975-2005 und 2010-2040 Erträge von verschiedenen Ackerkulturen, im Grünland und im Weinbau mit den drei Klimaszenarien Similar, Wet und Dry sowie mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten und drei Fruchtfolgen per Pixel (aus CropRota) simuliert. Die Bewirtschaftungsintensitäten umfassen beispielsweise drei verschiedene Düngeintensitäten für Ackerland und für intensives Grünland (niedrig, moderat und hoch, wobei am Grünland auch die Anzahl der Schnitte unterschieden wird)

und zwei Düngeintensitäten für extensives Grünland und im Weinbau. Zudem gibt es sechs unterschiedliche Beregnungsintensitäten für Ackerland (von null bis sehr hoch), drei im Weinbau (null, moderat, hoch) und zwei für intensives Grünland (null, hoch). In der Modellierung wird angenommen, dass extensives Grünland nicht beregnet werden kann. Die durchschnittlichen Erträge und die Wasserbilanz per Pixel (z.B. Niederschlag, Beregnung, Evapotranspiration, oberflächiger Abfluss und Sickerwasserbildung) dienen auch als Input in BiomAT.

Wir haben eine PMP („Positive Mathematical Programming“) Version von dem bottom-up Landnutzungsoptimierungsmodell BiomAT entwickelt. BiomAT maximiert den regionalen Netto-Nutzen der landwirtschaftlichen Produktion unter Einhaltung der Ressourcenausstattung am Pixel (z.B. Land und verfügbares Beregnungswasser) und ermittelt die optimalen Landnutzungs- und Bewirtschaftungsoptionen. Die regionale Wasserbilanz stellt sicher, dass die durchschnittliche Entnahme von Beregnungswasser die durchschnittliche Sickerwasserbildung nicht übersteigt. Die PMP-Version erlaubt eine exakte Kalibrierung der Landnutzung an beobachteten Landnutzungsdaten (z.B. Durchschnitt von 2012-2014).

Des Weiteren wird der „Value of Information“ (VOI) in drei Schritten berechnet. Zuerst wird die optimale Landnutzung für die drei Szenarien Similar, Wet und Dry mit der PMP Version von BiomAT modelliert und die jeweiligen Schattenpreise ermittelt. Danach wird die optimale Landnutzung von Similar verwendet, um den Netto-Nutzen zu quantifizieren, wenn das Szenario Wet oder Dry eintritt. Es wird angenommen, dass die Klimainformationen der Szenarien Wet und Dry nicht zur Verfügung stehen und dadurch an Similar angepasst wird. Im letzten Schritt werden die Unterschiede der Netto-Nutzen zwischen optimaler Landnutzung in Wet oder Dry und der Fehlanpassung an Similar berechnet, welche den VOI darstellen.

6.2.2 Grundwassermodellierung

Für eine Einschätzung der Veränderungen im Klima für die beiden Szenarien „wet“ und „dry“ wurden Modellrechnungen mit dem vorhandenen, kalibrierte instationären Grundwasserströmungsmodell (Blaschke und Blöschl., 1992) für den Seewinkel (Blaschke und Gschöpf, 2011) durchgeführt. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

- Szenario „wet“: Grundwasserneubildung +20 %
- Szenario „dry“: Grundwasserneubildung -20 %

Diese Annahmen bedeuten, dass die Änderung des Niederschlages in den Szenarien auch die Grundwasserneubildung in gleicher Größe ($\pm 20\%$) gegenüber der Referenzperiode verändern. Unberücksichtigt ist eine Änderung der Evapotranspiration durch die Temperaturerhöhung. Die Veränderungen wurden für hohe und niedere Grundwasserspiegelverhältnisse aus den instationären Berechnungen ausgewertet und stellen damit eine Bandbreite der möglichen Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse dar.

6.3 Fallbeispiel Temperaturabhängigkeit der Primärproduktion

Sowohl für die Raab als auch für die Schwechat waren Langzeitdatensätze von zwei vom Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft (TU Wien) betriebenen Online-Messstationen vorhanden. Für die Raab konnten Sauerstoff- und Temperaturdaten aus den Jahren 2010 bis 2016 und von der Schwechat von 2010 bis 2012 genutzt werden.

Die Bruttoprimärproduktion (BPP) wurde mittels der „Open diel oxygen“ Methodik aus online gemessenen Sauerstoffkonzentrationen berechnet. Die theoretischen Grundlagen dieser

Herangehensweise sind auf Odum (1956) zurückzuführen und können durch folgende Gleichung zusammengefasst werden:

$$BPP(dt) = \frac{dC}{dt} - k(C_{Sat} - C) + ER + A$$

wobei BPP(dt) die BPP zur Zeit t ist, dC/dt die Änderung der Sauerstoffkonzentration über die Zeit, k der Belüftungskoeffizient, C_{SAT} und C die Sättigungskonzentration bzw. die Sauerstoffkonzentration zur Zeit t, ER die Ökosystemsatumung, und A der Input von Grundwasser, welcher üblicherweise vernachlässigbar ist. Um k und ER zu berechnen wurde die Methodik von Hornberger und Kelly (1975) verwendet. Diese basiert auf der Regression zwischen Änderungsrate der Sauerstoffkonzentration und Sauerstoffsättigungsdefizit in der Nacht, da nachts keine Photosynthese stattfindet. Die Steigung und der Schnittpunkt der Regressionskurve entsprechen k bzw. ER.

Die Temperaturabhängigkeit der BPP wurde durch das von Enquist und al. (2003) entwickelte Modell bestimmt. Basierend auf dieser metabolischen Theorie der Ökologie skaliert dieses Modell die biochemische Kinetik der einzelnen Organismen zu ganzen Ökosystemen. Wie auch bei Gillooly et al. (2001) bzw. Demars et al. (2011) wurde der absolute metabolische Fluss auf die Referenztemperatur (15 °C) normiert, um ihn biologisch bedeutungsvoller zu machen. Das Regressionsmodell berechnet sich folgendermaßen:

$$\ln(BPP) = \ln(c) + E \frac{1}{k} \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{T_{Ref}} \right)$$

wobei der Schnittpunkt ln(c) dem normalisierten absoluten BPP entspricht, die Steigung E die Aktivierungsenergie darstellt, k die Boltzmann-Konstante ist und T und T_{Ref} die Wasser- bzw. Referenztemperatur sind.

Mit Hilfe vom Redfield-Verhältnis (Redfield et al., 1963), welches das allgemeine molare Verhältnis zwischen dem von der Photosynthese frei gesetzten O₂ und den entsprechenden gebundenen Nährstoffen C, N und P beschreibt, wurde der Bedarf an P für die berechnete BPP abgeschätzt.

In einem letzten Schritt wurden diese Ergebnisse mit den innerhalb des IMPact_dry Szenarios (siehe Kapitel 4.2.1.2) für die Raab und Schwechat modellierten Abflüssen und Phosphorfrachten bzw. -konzentrationen verbunden. Ziel dieser Berechnung war abzuschätzen, inwieweit die Primärproduktion in diesem kritischen Szenario steigen würde bzw. ob und in welchem Umfang eine solche Zunahme durch die Phosphorverfügbarkeit begrenzt wäre. Dadurch, dass die Ergebnisse des Szenarios auf Einzugsgebietsebene bezogen sind, wurde die Primärproduktion als homogen über die gesamte Gewässerfläche angenommen.

7 Arbeits- und Zeitplan

Projektlaufzeit	year 1												year 2												Verlängerung				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Datum	2014						2015						2016																
wp	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
wp1	Project management and dissemination																												
	Publikationen, fertig für interne Weitergabe:																												
	Berechnung der Referenzperiode Modellverbund für Österreich																												
	Szenarienanalyse im Modellverbund																												
	Einfluss des Klimawandels auf ausgewählte Testgebiete																												
	Einfluss auf Primärproduktion in Gewässern																												
	Weiter Publikationen																												
	Konferenzen:																												
	29th International Conference of Agricultural Economist																												
	LuWQ2015																												
	17. Österreichischer Klimatag																												
	Weitere Präsentationen auf Konferenzen																												
wp2	Climate and socio-economic scenario preparation																												
	Datenupload am Server																												
wp3	Land use implication and adaptation																												
	EPIC/PASMA Ergebnisse Österreich/Referenzzeitraum																												
	EPIC/PASMA Ergebnisse Österreich/Szenarien																												
	EPIC/PASMA Adaptierungen für Case Studies (CS)																												
	EPIC/PASMA Ergebnisse für Case Studies																												
wp4	Implications for water quantity																												
	TUW-Model Ergebnisse Österreich/Referenzzeitraum																												
	TUW-Model Ergebnisse Österreich/Szenarien																												
	Abgestimmtes Konzept für CS-Seewinkel (IHE/INWE)																												
	Modellierungsergebnisse CS-Seewinkel Referenzperiode																												
	Modellierungsergebnisse Szenarien CS-Seewinkel																												
wp5	Implications for water quality																												
	MONERIS-Ergebnisse Österreich/Referenzzeitraum																												
	MONERIS-Ergebnisse Österreich/Szenarien																												
	Konzept Primärproduktion																												
	Szenarienergebnisse Primärproduktion																												
wp6	Indicator definition and assessment of adaptation measures																												
	Ergebnisdarstellung Szenarien CS																												
	Ergebnisdarstellung Szenarien Österreich																												
	Bewertung und Interpretation der Szenarienergebnisse																												
wp7	Uncertainty analysis and communication																												
	Abgestimmtes Konzept																												
	Implementierung																												
wp8	Stakeholder participation																												
	Diskussion Szenarienergebnisse und Konzept Unsicherheit																												
	Diskussion Bewertung der Szenarien und Dissimination																												
	Bearbeitungszeitraum																												
X	Fertigstellungen für österreichweite Berechnungen																												
X	Fertigstellungen der Bearbeitung der Cases Studies																												
X	Fertigstellungen von übergeordnete Ergebnisse																												
M	Fertigstellung Milestone																												
M	Fertigstellung abschließender Milestone eines Workpackages																												
Milestones (aus Antrag)																													
M1 Kick-off workshop with strong emphasis on scenario development																													
M2 Presentation of a set of quantifiable indicators suitable for quantitative and qualitative assessment of adaptation measures.																													
M3 Climate data and socio-economic scenario definitions prepared for consecutive work packages																													
M4 First year report																													
M5 Daily runoff data at the outlet of 367 Austrian sub-catchments for selected climate change scenarios.																													
M6 2 nd workshop with strong emphasis on uncertainty communication																													
M7 Bio-physical impact trajectories of crop management options from EPIC at Austrian scale.																													
Integration of bio-physical impact trajectories in PASMA including extreme weather events																													
Compute a set of adaptation states for Austrian agriculture at high spatial resolution																													
Transfer of model results to HPP-GMS, MONERIS, and PhosFate																													
M8 Impacts of climate change and land use adaptation measures (e.g. irrigation) on groundwater levels in two ground water bodies serving as case studies.																													
Restriction on water availability for irrigation for the two case studies																													
Impacts of climate change scenarios on the Austrian ground water budget																													
M9 Estimated impact of climate change and land use adaptation measures on nutrient concentrations in surface waters and on primary production as well as vulnerability of water bodi																													
M10 Analysis of uncertainty using the scenario matrix																													
M11 Development of a traffic light scheme to communicate uncertainties to stakeholders																													
M12 Dissemination workshop																													
M13 Evaluation of adaptation measures based on multi criteria assessment																													
M14 Final report																													

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

8.1 Publikationen in Zeitschriften

Titel	AutorInnen	Zeitschrift	Status
The role of station density for predicting daily runoff by TOP-KRIGING interpolation in Austria	Parajka, J., A. Merz, R., Skøien, J.O., Viglione,	Journal of Hydrology and Hydromechanics, Volume 63, Issue 3, Pages 228–234, ISSN (Online) 0042-790X, DOI:: 10.1515/johh-2015-0024	publiziert
Modeling impacts of drought and adaptation scenarios on crop production in Austria	Mitter, H., Schmid, E.; Schneider, Uwe, A.	Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, Band 24: 223-232, 2015.	publiziert
Aqua-Stress	Zessner, M.	Berichte zur Klimaforschung: Wasserwirtschaft, Austrian Climate Research Programme in Essence; herausg. von: Klima- und Energiefonds; 2015, S. 5 - 11	publiziert
Uncertainty contributions to low-flow projections in Austria	Parajka, J., Blaschke, A.P., Blöschl, G., Haslinger, K., Hepp, G., Laaha, G., Schöner, W., Trautvetter, H., Viglione, A. and Zessner, M.	Hydrology and Earth System Sciences, 20(5), pp.2085-2101, 2016.	publiziert
A novel integrated modelling framework to assess the impacts of climate and socio-economic drivers on land use and water quality	Zessner, M., Schönhart, M., Parajka, J., Trautvetter, H., Mitter, H., Kirchner, M., Hepp, G., Blaschke, A., P., Strenn, B. and Schmid E.	Science of the Total Environment 579, 1137–1151, 2017	publiziert
Klimawandel, Anpassungen in der Landwirtschaft und Auswirkungen auf die Wasserqualität in Österreich	Zessner, M., Schönhart, M., Parajka, J., Trautvetter, H., Mitter, H., Kirchner, M., Hepp, G., Blaschke, A.P., Schmid, E. and Strenn, B.	Schriftenreihe „Gewässerschutz – Wasser – Abwasser“, Band Nr. xy, 2017	im Druck
Integrated modelling of measures to control the Western Corn Rootworm in Austria	Feusthuber, E., Schönhart, M., Mitter, H., Schmid, E.	Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, Band 26: 2015.	in Begutachtung
Integrated modelling of cost-effective crop management strategies to adapt to potential damage of the Western Corn Rootworm in Austria	Feusthuber, E., Schönhart, M., Mitter, H. and Schmid, E.	Agricultural Systems	in Begutachtung
Primary productivity and climate change in Austrian lowland rivers	Zoboli, O., Schilling, K., Ludwig, A.L., Kreuzinger, N. and Zessner, M.	Water Science and Technology	in Begutachtung
Modelled impacts of policies and climate change on land use and water quality in Austria	Schönhart, M., Trautvetter, H., Parajka, J., Blaschke, A., P., Hepp, G., Kirchner, M., Mitter, H., Schmid, E., Strenn, B. and Zessner, M.	Agricultural Systems	Entwurf vorhanden
The value of precipitation information for efficient agricultural adaptation in semi-arid regions: A case study for the Seewinkel region in Austria.	Karner, K., Mitter, H., Schönhart, M., Schmid, E.	Water Resources Management	in Vorbereitung

8.2 Präsentationen auf Konferenzen

Titel	AutorInnen	Konferenz	Status
Assessing the impact of drought scenarios on crop production and water demand in Austria	Mitter, H.; Schmid, E.	24. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, Vienna, 25.-26.9. 2014, Tagungsband 2014, 15-16	gehalten
Wasserressourcen im Klimastress - Untersuchungen zum Einfluss von Klima- und Landnutzungsänderungen auf Wasserverfügbarkeit und -qualität.	Zessner M., Schönhart M., Blaschke A.P., Parajka J., Feusthuber E., Hepp G., Kirchner M., Mitter H., Strenn B., Trautvetter H. und Schmid E.	Poster: 16. Österreichischen Klimatag, Wien; 28.04.2015 - 30.04.2015.	gehalten
An integrated impact assessment of climate change, land use, and adaptation policies on water resources in Austria	Schönhart M., Zessner M., Hepp G., Strenn B., Trautvetter H., Blaschke A.P., Parajka J., Feusthuber E., Kirchner M., Mitter H. und Schmid E.	Oral presentation: LuWQ2015, Land Use and Water Quality: Agricultural Production and the Environment, Vienna; 21.09.2015 - 24.09.2015; in: "Volume of Abstracts", W. Loiskandl, A. Strauss-Sieberth, D. Fraters, K. Kovar (Hrg.); Abstract number 211 (2015), S. 88 - 89.	gehalten
Wasser-Ressourcen im Klimastress. Entwicklung eines integrierten Modellverbundes zur Abbildung des Einflusses von Klima- und Landnutzungsänderungen auf Wasserverfügbarkeit und -qualität (Aqua-Stress)	Zessner M., Schönhart M., Parajka J., Trautvetter H., Mitter H., Feusthuber E., Kirchner M., Hepp G., Blaschke A.P., Schmid E. und Strenn B.	Vortrag: 17. Österreichischen Klimatag, Graz; 06.04.2016 - 08.04.2016.	gehalten
Spatial analysis of maize cropping systems to relieve crop pest pressure in Austria	Feusthuber, E., Schönhart, M., Schmid, E.	Oral presentation: 150th EAAE Seminar 'The spatial dimension in analysing the linkages between agriculture, rural development and the environment'. Edinburgh, UK, October 22-23, 2015	gehalten
Cooperative action for pest relief – An Austrian case study	Feusthuber, E., Schönhart, M., Schmid, E.	Agrarian Perspectives XXIV and 25th Annual Conference of the Austrian Society of Agricultural Economics, 16th - 18th September 2015, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic	gehalten
Klimawandel, Anpassungen in der Landwirtschaft und Auswirkungen auf die Wasserqualität	Zessner M., Schönhart M., Parajka J., Trautvetter H., Mitter H., Feusthuber E., Kirchner M., Hepp G., Blaschke A.P., Schmid E. und Strenn B.	Vortrag: ÖWAV-Seminar "Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft - Wissenschaft trifft Praxis", Wien; 29.09.2016; in: "Tagungsband", (2016), ISBN: 978-3-903149-00-7	gehalten
Integrated modelling of policy scenarios to control Western Corn Rootworm in Austria	Feusthuber, E., Schönhart, M., Mitter, H., Schmid, E.	26. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie. Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik Wien, 15.-16. September 2016	gehalten

Titel	AutorInnen	Konferenz	Status
Aqua-Stress: Klimawandel, Landnutzungsänderungen und Wasserqualität	Zessner M., Schönhart M., Parajka J., Trautvetter H., Mitter H., Kirchner M., Hepp G., Blaschke A.P., Schmid E. and Strenn B.	ÖVGW-Symposium Wasserversorgung 2017 25. - 26.01.2017, Wien	gehalten
Klimawandel, Anpassungen in der Landwirtschaft und Auswirkungen auf die Wasserqualität in Österreich	Zessner M., Schönhart M., Parajka J., Trautvetter H., Mitter H., Kirchner M., Hepp G., Blaschke A.P., Schmid E. and Strenn B.	Vortrag auf der 50. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, „alles klar?“, 22.-24.3. 2017, Aachen	akzeptiert
Integrated impact assessment of climate change, land use, and adaptation policies on water quality in Austria	Trautvetter H., Schönhart M., Parajka J., Schmid E. and Zessner M.	Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU General Assembly 2017, Austria	akzeptiert
Scenario results from an integrated impact assessment of climate change, land use, and adaptation policies on water resources in Austria	Schönhart M., Zessner M., Blaschke A.P., Parajka J., Hepp G., Strenn B., Trautvetter H. and Schmid E.	LuWQ2017, Land Use and Water Quality: Agricultural Production and the Environment, The Netherlands	akzeptiert
Climate change, land use, and robustness of adaptation policies for water pollution control in Austria	Zessner M., Schönhart M., Trautvetter H., Parajka J. and Schmid E.	14 th IWA Specialist Conference on Watershed and River Basin Management, South Africa	eingereicht
Integrated Impact Modelling of climate change and adaptation policies on land use and water resources in Austria	Schönhart M., Zessner M., Blaschke A.P., Parajka J., Hepp G., Strenn B., Trautvetter H. and Schmid E.	MACSUR Science Conference 2017, Germany	eingereicht
The value of information for efficient agricultural adaptation to climate change scenarios in a semi-arid region in Austria	Karner, K., Mitter, H., Schönhart, M. and Schmid, E.	57. Jahrestagung der GEWISOLA und 27. Jahrestagung der ÖGA, 13.-15.09.2017, Weihenstephan	eingereicht
Integrated modelling of agricultural adaptation and the value of precipitation information in a semi-arid Austrian region	Karner, K., Mitter, H., Schönhart, M. and Schmid, E.	MACSUR Science Conference 2017, 22.-24.05.2017, Berlin	eingereicht

8.3 Andere Disseminierungsaktivitäten

Stakeholder Workshops

Titel	Anzahl der TeilnehmerInnen	Datum	Ort
Stakeholder Workshop zur Projektvorbereitung	14	8.8.2013	TU Wien
Erster Stakeholder Workshop – Szenarienentwicklung	19	2.3.2015	TU Wien
Zweiter Stakeholder Workshop – Unsicherheits-Kommunikation	10	26.06.2015	BOKU
Public Seminar “Global insights about water, climate change and food security”, Prof. Quentin Grafton	20	27.1.2016	TU Wien
Dritter Stakeholder Workshop - Dissemination	17	27.9.2016	TU Wien

Homepage und Presseausendung

Weitere Informationen zum Projekt sowie frei zugängliche Publikationen und Präsentationen sind unter den Referenzprojekten über die Homepage des Institutes für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft zugänglich:

<http://iwr.tuwien.ac.at/wasser/forschung/projekte/referenzprojekte/>.

Eine Presseausendung zum Projekt ist in Kooperation mit dem Büro für Öffentlichkeitsarbeit der TU-Wien geplant.

9 Danksagung

Das Projektteam möchte sich ganz herzlich bei den Stakeholdern und dem Advisory Board des Projektes bedanken: Stakeholder (alphabetische Reihenfolge): Karin Deutsch (BMLFUW), Klaus Kogler (Amt der salzburger Landesregierung), Adam Kovacs (IKSD) als Observer, Arno Mayer (Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft in der Steiermark), Nora Mitterböck (BMLFUW) Herbert Szionvatz (Amt der burgenländischen Landesregierung), Franz Überwimmer (Amt der oberösterreichischen Landesregierung); Advisory Board (alphabetische Reihenfolge): Ralph Merz (Helmholtz Zentrum für Umweltforschung), Uwe Schneider (Universität Hamburg), Peter Strauß (Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt). Die aktive Beteiligung und die kritischen Rückmeldungen waren ein ganz entscheidender Faktor das Projekt inhaltlich voranzubringen.

Der Abteilung Wasserhaushalt im BMLFUW danken wir für die Bereitstellung österreichweiter eHyd-Daten (Aktualitätsstand November 2014) und beim Amt der oberösterreichischen Landesregierung für Gewässerdaten aus dem AIM-Netz. Ebenso danken wir der Forschungsplattform DaFNE des BMLFUW und insbesondere bei der Abteilung Grundsatzabteilung Agrarpolitik und Datenmanagement im BMLFUW für ihre freundliche Unterstützung bei der Bereitstellung von INVECOS GIS-Daten und dem GIS-Layer des Berichtsgewässernetzes sowie dem Vienna Scientific Cluster (VSC) für die Möglichkeit besonders rechen-intensive Teile der Modellierung dort durchführen zu können.

Ganz besonders bedanken wir uns beim UBA, Abteilung Oberflächengewässer für die langjährige gute Zusammenarbeit im Bereich Stoffbilanzmodellierung (STOBIMO) und für die Bereitstellung von Gewässergütedaten aus einer Expertenabfrage der H₂O-Datenbank im Rahmen dieses Projektes.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

D) Anhang

10 Referenzen

- Behrendt, H., Opitz, D., 1999. Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. *Hydrobiologia* 410, 111-122.
- Bergström S., 1976. Development an application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. Dept. of Water Resour. Engineering. Lund Inst. of Technol./Univ. of Lund, Bull. Ser. A, No. 52.
- BMLFUW, 2008. Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008. Bundesministerium für Land-, Forst-, Umwelt- und Wasserwirtschaft.
- BMLFUW, 2010. Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Endbericht einer Studie der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und der Technischen Universität Wien, im Auftrag von Bund und Ländern.
- BMLFUW, 2014. EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG, Österreichischer Bericht der Ist-Bestandsanalyse 2013, Wien, März 2014.
- Ceola, S., Arheimer, B., Blöschl, G., Baratti, E., Capell, R., Castellarin, A., Freer, J., Han, D., Hrachowitz, M., Hundecha, Y., Hutton, C., Lindström, G., Montanari, A., Nijzink, R., Parajka, J., Toth, E., Viglione, A., Wagener, T., 2015. Virtual laboratories: new opportunities for collaborative water science, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 2101-2117.
- Demars, B.O., Russell Manson, J., Olafsson, J.S., Gislason, G.M., Gudmundsdóttir, R., Woodward, G.U.Y., ... & Friberg, N., 2011. Temperature and the metabolic balance of streams. *Freshwater Biology*, 56(6), 1106-1121.
- Duan, Q., Sorooshian, S., Gupta, V.K., 1992. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, *Water Resources Research*, 28, 1015-1031.
- Enquist, B.J., Economo, E.P., Huxman, T.E., Allen, A.P., Ignace, D.D., & Gillooly, J.F., 2003. Scaling metabolism from organisms to ecosystems. *Nature*, 423(6940), 639-642.
- Gabriel, O., Hochedlinger, G., Kovacs, A., Schilling, C., Thaler, S., Windhofer, G., Zessner, M., 2011. Stoffbilanzmodellierung für Nährstoffe auf Einzugsgebietsebene als Grundlage für Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme (STOBIMO-Nährstoffe). Endbericht. Gefördert vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion VII, BMLFUW-UW.3.1.2/0029-VII/1/2008. Vienna, May 2011.
- Gillooly, J.F., Brown, J.H., West, G.B., Savage, V.M., & Charnov, E.L., 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science*, 293(5538), 2248-2251.
- Hornberger, G.M., & Kelly, M.G., 1975. Atmospheric reaeration in a river using productivity analysis. *J Environ Eng Div Proc Am Soc Civ Eng*.
- Izaurrealde, R.C., Williams, J.R., McGill, W.B., Rosenberg, N.J., Jakas, M.C.Q., 2006. Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data- *Ecological Modelling* 192, 362-384.

- Kirchner, M., Schönhart, M., Schmid, E., 2016. Spatial impacts of the CAP post-2013 and climate change scenarios on agricultural intensification and environment in Austria. *Ecological Economics* 123, 35–56. doi:10.1016/j.ecolecon.2015.12.009.
- Kromb-Kolb, H., Nakicenovic, N., Steininger, K., Gobiet, A., Formayer, H., Köppl, A., Rettenthaler, F., Stötter, J., Schneider, J. (Hg.), 2014. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014, ISBN 978-3-7001-7723-4, 1096 Seiten.
- Lautenbach, S., Berlekamp, J., Graf, N., Seppelt, R., Matthiesdoi, M., 2009. Scenario analysis and management options for sustainable river basin management: Application of the Elbe DSS. *Environmental Modelling & Software*, 24, 26-43, 10.1016/j.envsoft.2008.05.001.
- Merz, R., Parajka, J., Blöschl, G., 2011. Time stability of catchment model parameters: Implications for climate impact analyses, *Water Resour. Res.*, 47, W02531, doi:10.1029/2010WR009505.
- Mitter, H., Schmid, E., 2014. Assessing the impact of drought scenarios on crop production and water demand in Austria, 24. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, Wien, 25.-26.9. 2014, Tagungsband 2014, 15-16.
- Mitter, H., Heumesser, C., Schmid, E., 2015. Spatial Modeling of Robust Crop Production Portfolios to Assess Agricultural Vulnerability and Adaptation to Climate Change. *Land Use Policy* 46: 75–90. Odum, H. T. (1956). Primary production in flowing waters. *Limnology and oceanography*, 1(2), 102-117.-90.
- Odum, H. T., 1956. Primary production in flowing waters. *Limnology and oceanography*, 1(2), 102-117.
- OECD-FAO, 2013. OECD-FAO Agricultural Outlook 2013-2022. OECD/FAO.
- Parajka, J., Merz, R., Blöschl, G., 2005a. A comparison of regionalisation methods for catchment model parameters. *Hydrology and Earth System Sciences*, ISSN: 1027-5606, vol. 9, 9, 157-171.
- Parajka, J., Merz, R., Blöschl, G., 2005b. Regional Water Balance Components in Austria on a Daily Basis. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Heft 3/4, 43-56. March, 2005.
- Parajka, J., Merz, R., Blöschl, G., 2007. Uncertainty and multiple objective calibration in regional water balance modelling: case study in 320 Austrian catchments, *Hydrol. Process.*, 21, 435–446, doi:10.1002/hyp.6253.
- Parajka, J., Blöschl, G., 2008. The value of MODIS snow cover data in validating and calibrating conceptual hydrologic models, *Journal of Hydrology*, 358, 240-258.
- Parajka, J., Merz, R., Skøien, J.O., Viglione, A., 2015. The role of station density for predicting daily runoff by TOP-KRIGING interpolation in Austria, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63, 1-7 , doi: 10.1515/johh-2015-0024.
- Parajka, J., Blaschke, A.P., Blöschl, G., Haslinger, K., Hepp, G., Laaha, G., Schöner, W., Trautvetter, H., Viglione, A., and Zessner, M., 2016. Uncertainty contributions to low-flow projections in Austria, *Hydrology and Earth System Sciences*, Volume 20, Issue 5, 2085-2101.

- Redfield, A.C., Ketchum, B.H., Richards, F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. *The sea*, 26-77.
- Schönhart, M., Schmid, E., Schneider, U.A., 2011. CropRota - A crop rotation model to support integrated land use assessments. *European Journal of Agronomy* 34, 263–277.
- Schwertmann, U., Vogl, W., Kainz, M., 1987. *Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen*. 2. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- Skøien, J. O., Blöschl, G., 2007. Spatiotemporal topological kriging of runoff time series, *Water Resour. Res.*, 43, W09419, doi:10.1029/2006WR005760.
- Skøien, J.O., Pebesma, E.J., Blöschl, G., 2008. Geostatistics for automatic estimation of environmental variables - some simple solutions. *Georisk*, 2(4), 257-270.
- Skøien, J.O., Blöschl, G., Laaha, G., Pebesma, E., Parajka, J., Viglione, A., 2014. An R package for interpolation of data with a variable spatial support, with an example from river networks, *Computers & Geosciences*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2014.02.009>.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855-1 – 1259855-10.
- Strauss, F., Formayer, H. and., Schmid, E., 2013. High resolution climate data for Austria in the period 2008–2040 from a statistical climate change model, *Int. J. Climatol.* 33, 2013, 430–443.
- Strauß, P., Auerswald, K., Klaghofer, E., Blum, W.E.H., 1995. *Erosivität von Niederschlägen: Ein Vergleich Österreich – Bayern*.
- Stürmer, B., Schmidt, J., Schmid, E., Sinabell, F., 2013. Implications of Agricultural Bioenergy Crop Production in a Land Constrained Economy - The Example of Austria, *Land use Policy* 30(1), 570-581.
- UNEP, 2010. *UNEP Climate Change Fact Sheet*. United Nations Environment Program.
- Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Witzig, A., Ortelbach, K., Natho, S., Neumann, F., Hürdler, J., 2009. *Das Modell System MONERIS – Handbuch Version 2.14.1.vba*. Leibniz – Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries. Berlin, November 2009.
- Viglione, A., Parajka, J., Rogger, M., Salinas, J.L., Laaha, G., Sivapalan, M., Blöschl, G., 2013. Comparative assessment of predictions in ungauged basins – Part 3: Runoff signatures in Austria, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 2263-2279, doi:10.5194/hess-17-2263-2013.
- Viglione, A., and Parajka, J., 2014. *TUWmodel: Lumped Hydrological Model for Education Purposes*. R package version 0.1-4. <http://CRAN.R-project.org/package=TUWmodel>.
- Williams, J.R., 1995. The EPIC Model. p. 909–1000. In Singh, V.P. (ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Colorado.

- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conversation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
- wpa and BAW, 2009. Abschätzung des Bodenabtrags in Österreich und Integration der Daten in die INVEKOS Datenbank. wpa Beratende Ingenieure, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien.
- Zessner, M., Kovacs, A., Schilling, C., Hochedlinger, G., Gabriel, O., Natho., S, Thaler, S., Windhofer, G., 2011. Enhancement of the MONERIS Model Application in Alpine Catchments in Austria. *International Review of Hydrology* 96, 541-560.
- Zessner, M., Gabriel, O., Kuderna, M., Schilling, C., Kovacs, A., Windhofer, G., 2013. Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffbelastung von Gewässern auf Ebene von Einzugsgebieten; *Wiener Mitteilungen*, Band 228, ISBN: 978-3-85234-121-7, 179-214.
- Zessner, M., 2015. Aqua-Stress, *Berichte zur Klimaforschung: Wasserwirtschaft, Austrian Climate Research Programme (ACRP) in Essence*; herausgegeben von Klima- und Energiefonds, 5-11.
- Zessner, M., Schönhart, M., Parajka, J., Trautvetter, H., Mitter, H., Kirchner, M., Hepp, G., Blaschke, A.P., Strenn, B., Schmid E., 2017a. A novel integrated modelling framework to assess the impacts of climate and socio-economic drivers on land use and water quality, *Science of the Total Environment*, 579, 1137–1151.
- Zessner M., Schönhart M., Parajka J., Trautvetter H., Mitter H., Kirchner M., Hepp G., Blaschke A.P., Schmid E., Strenn B, 2017b. Klimawandel, Anpassungen in der Landwirtschaft und Auswirkungen auf die Wasserqualität in Österreich. *Schriftenreihe „Gewässerschutz – Wasser – Abwasser“*, im Druck.

11 Informationsblatt Szenarienentwicklung

Informationsblatt Szenarienentwicklung

Schönhart, M., Feusthuber, E., Kirchner, M., Mitter, H., Schmid, E., BOKU-INWE

Zessner, M., Hepp, G., Strenn, B., Trautvetter, H., TU-IWAG

Blaschke, P., Parajka, J., TU-WIH

E-Mail: martin.schoenhardt@boku.ac.at

1 Allgemeines

Eine wichtige Aufgabe der Stakeholder im Projekt AQUA-STRESS ist die Unterstützung bei der Definition der Szenarien. Szenarien sind die Grundlage für die Modellierung im Integrativen Modellverbund. Es gelten im Fall von AQUA-STRESS folgende Grundsätze:

- Szenarien sind in sich kohärente aber untereinander kontrastierende Beschreibungen der Zukunft.
- Sie sind quantifizierbar und im Modellverbund umsetzbar.
- Sie enthalten Beschreibungen zur möglichen klimatischen, sozio-ökonomischen und politischen Entwicklung.
- Die einzelnen Bestandteile der Szenarien (z.B. Klima, politische Instrumente) können aus heutiger Sicht extrem erscheinen, sollen aber dennoch realistisch bleiben hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und Umsetzbarkeit. Somit wird eine Bandbreite an möglichen Entwicklungen abgebildet.

Im folgenden Abschnitt 2 wird die Struktur der Szenarien beschrieben und Abschnitt 3 erläutert die Kriterien zur Definition der Szenarien. In Abschnitt 4 erfolgt ein Vorschlag für die finale Festlegung der Rahmenbedingungen für die Szenarien, welche in weiterer Folge im Modellverbund umgesetzt werden sollen. Details zur Szenariendefinition werden im AQUA-STRESS Arbeitsdokument „Scenario development“ dargestellt.

2 Struktur der Szenarienbeschreibung

Abbildung 1 zeigt die Struktur der Szenarienbeschreibung. Die Szenarien bestehen aus zwei Teilen: den Klimaszenarien und den Politiksznarien. Der Modellierungshorizont ist 2040. Die Klimaszenarien beinhalten einen relativ wahrscheinlichen Temperaturtrend von rund +1,5°C bis 2040. Große Unsicherheiten bestehen bei den zukünftigen Niederschlagsmengen und -verteilungen. Da sich politische Maßnahmen auch an Extremsituationen orientieren müssen, werden drei Niederschlagsszenarien gewählt, hier als Klimaszenarien bezeichnet. Klimaszenario *Similar* ähnelt hinsichtlich des Niederschlages der heutigen Situation. *Dry* und *Wet* beschreiben je eine trockene und feuchte Klimasituation in Österreich (siehe Informationsblatt Klimawandel). Diese Klimaszenarien können als „extrem“ bezeichnet werden, sind aber hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit plausibel.

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*) werden jene Politikinstrumente zu je ei-

nem Politikportfolio zusammengefasst, von denen eine Verbesserung der Gewässergüte erwartet wird. Die beiden *WAP-Szenarien* sollten sich gut voneinander unterscheiden.

Im Integrativen Modellverbund werden die Klimawandel- und Politiksznarien miteinander kombiniert. *Similar* mit *BAU* zeigt eine derzeit zu erwartende zukünftige Situation ohne besondere politische Eingriffe. *IMP* ist hinsichtlich der Politiken ident zu *BAU*, wird aber mit den Klimaszenarien *Dry* und *Wet* kombiniert, um die Auswirkungen von extremen Klima(Niederschlags-)szenarien ohne Politikeinfluss darzustellen. Es erfolgt im Modell nur eine autonome Anpassung der Landnutzung, z.B. veränderte Bodenbearbeitungstermine oder Fruchtfolgen, sofern das den Deckungsbeitrag der Landnutzung erhöht. Die beiden *WAP* Szenarien werden mit *Dry* und *Wet* kombiniert und sollen die Wirksamkeit spezieller Politikmaßnahmen des Gewässerschutzes in diesen Klimaszenarien offen legen.

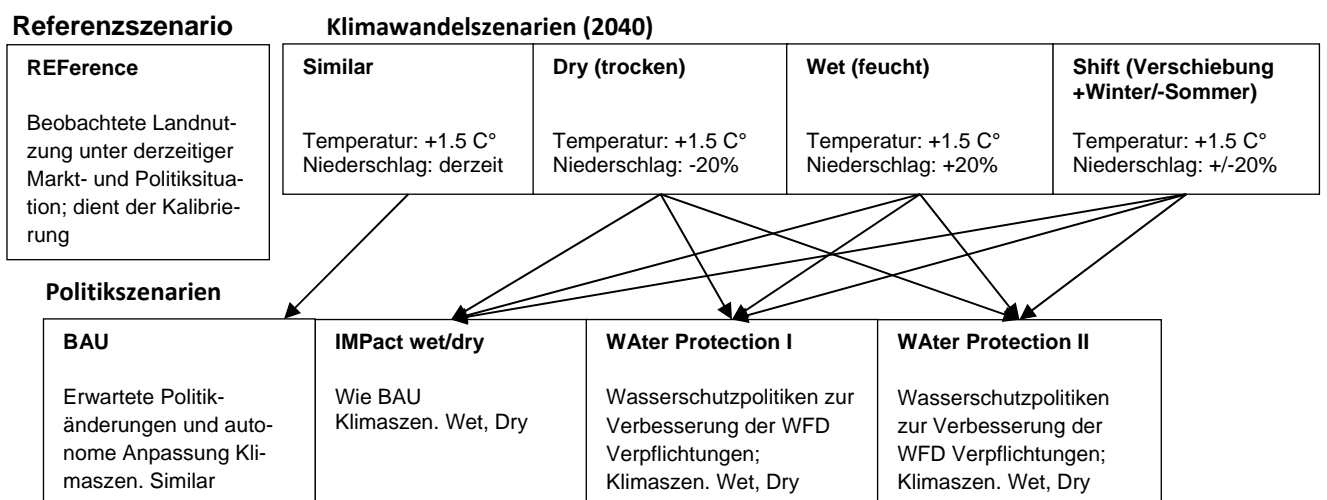


Abbildung 1: Szenarienüberblick

3 Prozedere zur Szenariendefinition

In Abbildung 2 ist das Prozedere zur Szenariendefinition dargestellt. Der **erste Schritt** ist die Sammlung von Wetterbedingungen auf Grundlage bisheriger Erfahrungen, die sich nachteilig auf die Qualität und Quantität der Grund- und Oberflächengewässer auswirken. Tabelle 1 zeigt dazu Beispiele. Diese Sammlung soll die Auswahl der Klimaszenarien erleichtern.

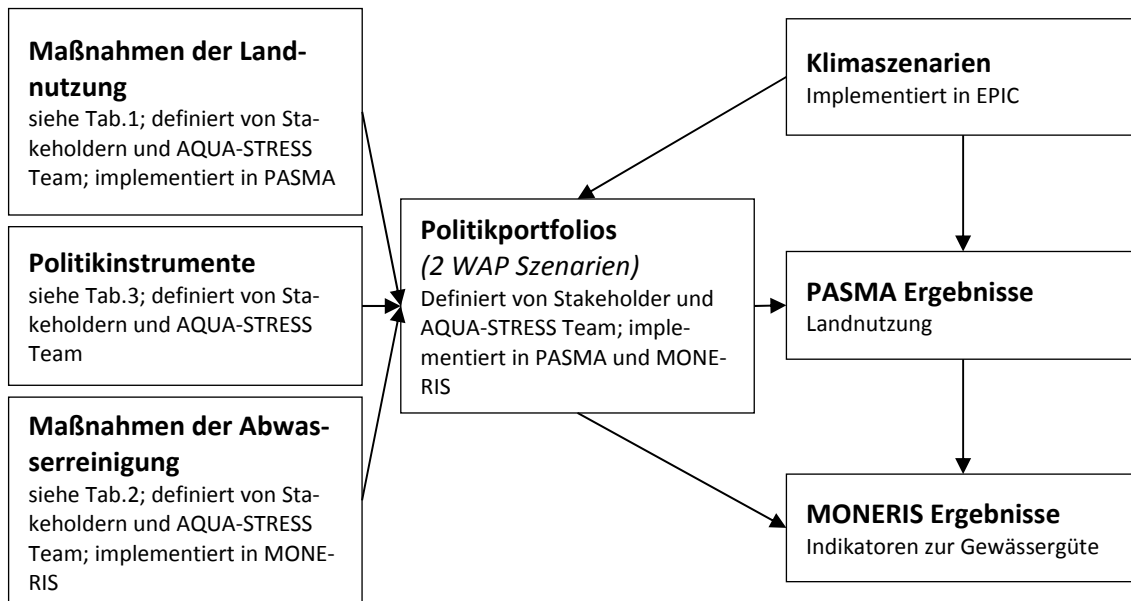


Abbildung 2: Prozedere der Szenariendefinition im Überblick

Der **zweite Schritt** ist die Vervollständigung und Bewertung einzelner Maßnahmen (siehe Tabellen 2 und 3), die LandwirtInnen sowie Abwasserreinigungsanlagen zur Verbesserung der Gewässergüte setzen können. Ziel der Bewertung ist eine Reduktion auf die wichtigsten Maßnahmen, die dann im Modellverbund umgesetzt werden. Die Bewertung erfolgt daher anhand des Kriteriums der Wirksamkeit auf Einzugsgebietsebene.

Tabelle 1: Ausgewählte Wetterbedingungen mit nachteiliger Wirkung auf die Qualität und Quantität der Grund- und Oberflächengewässer

Grundwasser		Oberflächengewässer	
Quantität	Qualität	Quantität	Qualität
Geringer Jahresniederschlag	Geringer Jahresniederschlag	Geringer Jahresniederschlag	Sommertrockenheit
Geringer Winter- Niederschlag	Geringer Winter- Niederschlag		Zunahme der Niederschläge im Herbst und Frühjahr

In einem **dritten Schritt** werden Politikinstrumente definiert, mit denen die ausgewählten Maßnahmen der Landnutzung und Abwasserreinigung in der Praxis umgesetzt werden können. Beispiele sind: Agrarumweltmaßnahmen, Grenzwerte von Emissionen (z.B. Nitratkonzentrationen), Regulierung von Viehbesatzdichten, Gebote und Verbote in der Landnutzung (z.B. Düngebeschränkungen). Die Diskussion dieser Instrumente sollte sich an allgemeinen Bewertungskriterien für umweltpolitische Instrumente orientieren, z.B. Ökologische Wirksamkeit, Ökonomische Effizienz, Dynamische Anreizwirkung, Praktikabilität, Systemkonformität, Wirkungsverzögerungen, Sozialverträglichkeit, Flexibilität, Reversibilität, Fehlerfreundlichkeit (für eine Erklärung dieser Kriterien siehe Anhang 2 im Dokument „Scenario development“).

In einem **vierten Schritt** wird die Strategie der Wahl der zwei Politikportfolios (WAP Szenarien) festgelegt sowie deren Politikinstrumente definiert. Die Portfolios könnten sich an den beiden Klimaszenarien *Wet* und *Dry* orientieren, oder an der Unterscheidung zwischen freiwilligen Förderinstrumenten (z.B. Agrarumweltprogramm) und Verboten und Geboten. Eine dritte Strategie wären aufeinander aufbauende Szenarien. Dabei könnten von der ersten zur zweiten Stufe der Budgeteinsatz bzw. die Schwellenwerte erhöht werden. Eine dieser drei oder eine alternative Strategie müssen gewählt werden. Zum vierten Schritt gehört auch die Festlegung anderer sozio-ökonomischer Rahmenbedingungen, besonders die Berücksichtigung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU.

Tabelle 2: Vorausgewählte Maßnahmen der Landnutzung zur Reduktion von Stickstoff- und Phosphoremissionen in Gewässer (siehe auch Tab.2 im Dokument „Scenario development“)

Kategorie	Feld		Einzugsgeb.		Nr	Maßnahme	PASMA
	N	P	N	P			
Grünland statt Ackerland	4	4	0	0	1.1	Erhaltung des Grünlandflächenausmaßes	Y
	4	4	0	0	1.2	Grünlandumbruchsverbot	Y
	4	4	1	1	1.3	Umwandlung von Acker in Grünland	Y
Grünbrache	4	4	1	1	2.1	Anlage/Erhaltung einer Grünbrache	Y
	4	4	0	1	2.2	Stilllegung bei Ackerzahl <30	Y
	4	4	0	2	2.3	Gewässerrandstreifen	Y
Begrünung	2	2	1	2	4.1	Begrünung von Ackerflächen im Herbst und Winter	Y
	3	3			4.2	Untersaat	Y
	4	4	1	1	4.3	Begrünung im Obst- und Weinbau	Y
Bodenbearbeitungsauflagen (Acker)	3	3	1	1	7.1	Mulchsaat nach Winterbegrünung	Y
	4	4	1	1	7.2	Direktsaat nach Winterbegrünung	Y
	1	1	1	1	7.3	Bewirtschaftung quer zum Hang	~
Fruchtfolgeauflagen	3	3	1	2	8.1	Reduktion des Hackfruchtanteils in der Fruchtfolge	Y
Allgemeine Düngebeschränkung	1		2		9.1	Festlegen von kulturspezifischen Düngerobergrenzen (Optimum oder Reduktion)	Y
	1		2		9.5	Verzicht auf Mineraldünger	Y
Düngung je nach Nährstoffgehalt im Boden	1	1	2	1	10.1	Düngung nach verfügbaren Nährstoffen im Boden	
Erstellen von Nährstoffbilanzen	1	1	2	1	13.1	Nährstoffbilanz für den Betrieb	
	1		2	1	13.3	Nährstoffbilanz für den Einzelschlag	
Weiterbildung					14.1	Schulung, Weiterbildung und Bewusstseinsbildung	
Düngegeräteaufgaben	1	1			15.1	Bodennahe Ausbringung von Wirtschaftsdünger	Y
Beschränkung des Viehbestandes					16.1	Maximal 2 GVE/ha	Y
					16.2	Maximal 2,5 GVE/ha bei Erfüllung best. Auflagen	Y
					16.3	Maximal 1,4 RGVE/ha	Y
					16.4	Maximal 210 kg N/ha	Y
	1	1			16.5	Aufstockungsverbot	Y
	1	1	2	1	16.6	Reduktion des Viehbestands um 20%	Y
Wirtschaftsdüngerlager und -verbringung	1	1	1	1	18.1	Mindestgrubenraum	
	1	1	1	1	18.2	Güllebörsen	

Legende: Werte in N und P Spalte (Feld) ... wirken auf Stickstoff und Phosphorverluste auf Feldebene, Reduktion der Verluste um >75-100% (4), >50-75% (3), >25-50% (2), 0-25% (1); Werte in N und P Spalte (Einzugsgebiet) ... erwartete Effektivität der Emissionsreduktion in Gewässer auf Einzugsgebietsebene: keine oder geringe Wirksamkeit (0), geringe Wirksamkeit oder Langzeiteffekt (1), hohe Wirksamkeit (2); PASMA ... (Y) Modellierbar in PASMA, (~) Modellierbarkeit gegeben mit größerem Aufwand.

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Beratende Ingenieure (2007)

Tabelle 3: Vorausgewählte Maßnahmen der Abwasserreinigungsanlagen zur Reduktion von Stickstoff- und Phosphoremissionen in Gewässer (siehe auch Tab.3 im Dokument „Scenario development“)

Kategorie	Anlage		Einzugsgeb.		Nr	Maßnahme	MONERIS
	N	P	N	P			
Weitergehende Abwasserreinigung	0	2	0	1	19.1	Erhöhter Fällmitteleinsatz	Y
	0	3	0	1	19.2	Nachgeschaltete Filtration	Y
	1	0	0	0	19.3	Optimierte Denitrifikation ohne externe C-Quelle	Y
	3	0	1	0	19.4	nachgeschaltete Denitrifikation mit externer C-Quelle	Y

Legende: Werte in N und P Spalte (Feld) ... wirken auf Stickstoff und Phosphorverluste auf Anlagenebene, Reduktion der Verluste um >75-100% (4), >50-75% (3), >25-50% (2), 0-25% (1); Werte in N und P Spalte (Einzugsgebiet) ... erwartete Effektivität der Emissionsreduktion in Gewässer auf Einzugsgebietsebene: keine oder geringe Wirksamkeit (0), geringe Wirksamkeit oder Langzeiteffekt (1), hohe Wirksamkeit (2); MONERIS ... (Y) Modellierbar in MONERIS

Quelle: Eigene Darstellung

4 Szenarien in Aqua-Stress

1. Klimaszenarien

Es werden drei Klimaszenarien simuliert: *Similar*, *Dry* und *Wet*. Die Szenarien unterscheiden sich vor allem im Niederschlag. *Similar* entspricht in etwa den heutigen Niederschlagsverhältnissen, *Dry* repräsentiert ein deutlich trockeneres Klima, *Wet* ein deutlich feuchteres. *Dry* und *Wet* beruhen auf vergangenen Wettersituationen, wobei je nach Szenario trockene (*Dry*) oder feuchte (*Wet*) Phasen häufiger vorkommen (siehe Abbildung 3). Eine trockene oder feuchte Phase wird für Österreich insgesamt definiert. Regional kann es daher durchaus zu Unterschieden kommen, wie Abbildung 3 zeigt. Zum Beispiel zeigt sich eine Tendenz zu mehr Niederschlägen in *Wet* (hier SWET2), jedoch nicht in allen Regionen bzw. nicht in jedem einzelnen Jahr der zukünftigen Klimaperiode (2010-2040). In der Klimaregion „alpine region“ zeigt *Dry* (SDRY2) in einem ausgewählten Jahr in einigen Monaten mehr Niederschläge, als *Wet*, in der Region „eastern Austria“ in den Monaten September – November sowie Februar. Wenn ein Klimaszenario im Mittel über die Klimaperiode für Gesamtösterreich überwiegend feucht oder trocken ist, so ergeben sich dennoch regional und zwischen-jährig Unterschiede.

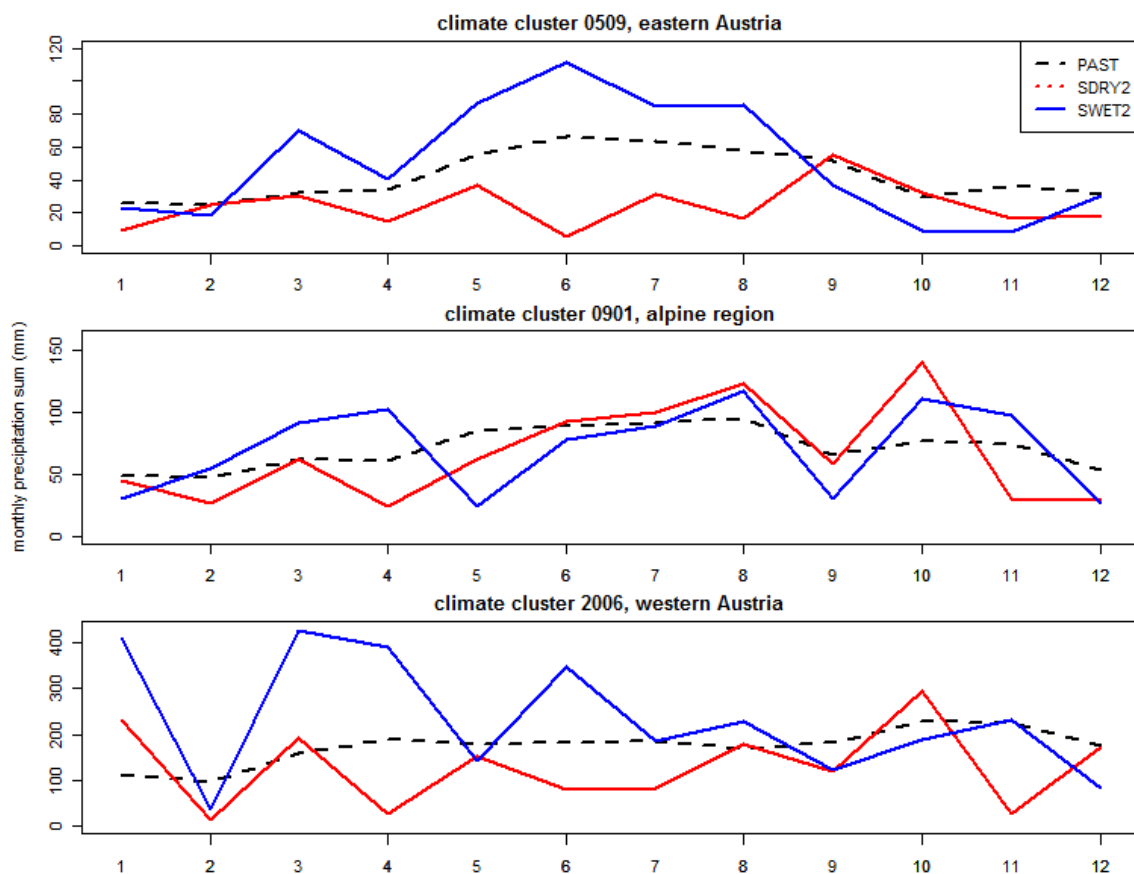


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung von monatlichen Niederschlagssummen für 3 Klimacluster (0509 Ostösterreich, 0901 Alpin, 2006 Westösterreich). PAST=Mittelwert für die Periode 1975-2005; moderates Trockenszenario (SDRY2), moderates Feuchtszenario (SWET2) jeweils im Jahr 2040.

2. Auswahl zu modellierender Maßnahmen

Ausgewählte Managementmaßnahmen zu Tabelle 1 werden in PASMA-Aktivitäten transferiert:

- Umwandlung von Ackerland in Grünland und vice versa
- Errichtung von Grünbrachen als Teil von Fruchtfolgen auf Ackerflächen
- Errichtung von Gewässerrandstreifen auf definierten Flächen (Auswahl der Flächen und Design sowie Management der Gewässerrandstreifen zu klären)
- Zwischenfruchtanbau (ein ausgewählter Typ)
- Reduzierte Bodenbearbeitung
- Anpassung der Fruchtfolge – Anteil bestimmter Kulturen (z.B. Hackfrüchte) wird verändert
- Düngungsobergrenzen und Düngungsintensitätsstufen
- Verringerung der Intensität der Tierhaltung (ev. zu berücksichtigen über die Obergrenzen der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern)
- Bewässerung

Ausgewählte Maßnahmen der Abwasserreinigung werden in MONERIS berücksichtigt und kostenmäßig erfasst:

- Einführung folgender erweiterter Anforderungen:
 - TP im Ablauf kommunaler Kläranlagen im Jahresmittel $<0,5\text{mg/l}$
 - N-Entfernung auf kommunalen Kläranlagen im Jahresmittel $>85\%$

3. Narrative

Das PolitikszENARIO *BAU* beschreibt eine Fortschreibung derzeitiger Politiken aus folgendem Grund: bisher war eine kontinuierliche Verschärfung der Agrarumweltpolitik zu beobachten. Dem Trend einer weiteren Verschärfung der Umweltgesetzgebung stehen eine wachsende Weltbevölkerung, Diskussionen um eine „nachhaltige Intensivierung“, der Druck internationaler Agrarmärkte, Produktivitätssteigerungen durch den Klimawandel sowie das Bewusstsein um die Effekte nationaler Politiken auf indirekten Landnutzungswandel (z.B. Rodung von natürlichen Wäldern aufgrund von Extensivierungen produktiver Flächen) entgegen.

Das Impakt-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 Wassereinzugsgebiete mit Fließgewässern, in denen Belastungen über den Umweltqualitätszielen für Nitrat und Phosphat auftreten. Es werden Maßnahmen zu Erreichung der Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie dort verstärkt, wo Grenz- und Zielwerte zur Zeit oder in Zukunft aufgrund veränderter Rahmenbedingungen nicht eingehalten werden können. Neben den verpflichtenden Maßnahmen wird die freiwillige Komponente über das Agrarumweltprogramm ÖPUL

gestärkt, indem Prämien zu bestehenden Maßnahmen mit Bezug zur Gewässerschonung (Erosionsminderung, verringerter Nährstoffeinsatz) in den besonders betroffenen Regionen erhöht oder neue Maßnahmen eingeführt werden. Damit wird eine Politik formuliert, die zu einem gezielten räumlichen Einsatz von Agrarumweltzahlungen führt (Targeting).

WAP II setzt die Politik aus *WAP I* mit z.T. 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 gerechteren Anwendung des Agrarumweltprogramms und einem flächendeckenden Gewässerschutz.

4. Politikinstrumente in vier Szenarien

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Politiken und Maßnahmen der beschriebenen Szenarien. Darin werden z.B. Grenzwerte festgelegt oder Agrarumweltmaßnahmen formuliert, um die Narrative des Abschnittes 3 zu quantifizieren und modellierbar zu machen. Es erfolgen bei einzelnen Maßnahmen z.T. nur Verweise auf andere Quellen, wie etwa die Sonderrichtlinie zum ÖPUL, ohne detaillierte Ausführungen, um den Überblick zu wahren.

Tabelle 4: Politikinstrumente in vier Szenarien

Politik		BAU	IMP	WAP I	WAP II
Marktregulierung & Direktzahlungen (1. Säule)	Produktionsbeschränkungen (z.B. Milchquote)	abgeschafft			
	Gekoppelte Direktzahlungen	abgeschafft			
	Einheitliche Betriebsprämie	Regionales Prämiensmodell			
	Cross compliance: Nitratrichtlinie ¹ N.... Stickstoff feldfallend je ha	max. 100kg N /Gabe max. N nach Anhang 3 max. 170kg N aus Wirtschaftsdüngern		max. 80kg N ³ wie BAU max. 150kg N	max. 80kg N ⁴ wie BAU max. 150kg N
	Greening	Erhaltung von Dauergrünland ² 5% Ökologische Ausgleichsflächen Fruchtfolgebeschränkungen		Umbruchsverbot Nur Stilllegung erlaubt wie BAU + max. 50% Mais	Umbruchsverbot Nur Stilllegung erlaubt wie BAU + max. 33% Mais
Ländliche Entwicklung (2. Säule)	Ausgleichszahlung für benachteiligte Gebiete (AZ)	ja		wie BAU	wie BAU
	Agrarumweltprogramm ÖPUL	<i>Prämien und Auflagen laut ÖPUL Sonder-richtlinie für folgende Maßnahmen:</i> Umweltgerechte und biodiversitätsfördernde Wirkung Einschränkung ertragssteigernder Betriebsmittel Zwischenfruchtanbau System Immergrün Mulch- und Direktsaat (Vorbeugender Grundwasserschutz) Bewirtschaftung auswaschungsgefährdeter Ackerflächen Vorbeugender Oberflächengewässerschutz auf Ackerflächen Biologische Wirtschaftsweise		wie BAU, <i>zusätzlich (regional):</i> +25% Prämien ³ für Zwischenfruchtanbau, System Immergrün, Mulch- und Direktsaat und Vorbeugenden Oberflächengewässerschutz auf Ackerflächen +25% Prämien ³ für Einschränkung ertragssteigernder Betriebsmittel +25% Prämien ³ für Biologische Wirtschaftsweise Kein Hackfruchtanbau auf Ackerflächen >8% Neigung in Gewässernähe (Prämien laut IMP-Ergebnissen) ^{3,5}	wie BAU, <i>zusätzlich (national):</i> +25% Prämien ⁴ für Zwischenfruchtanbau, System Immergrün, Mulch- und Direktsaat und Vorbeugenden Oberflächengewässerschutz auf Ackerflächen +25% Prämien ⁴ für Einschränkung ertragssteigernder Betriebsmittel +25% Prämien ⁴ für Biologische Wirtschaftsweise Kein Hackfruchtanbau auf Ackerflächen >8% Neigung (Prämien laut IMP-Ergebnissen) ^{4,5}
	Kommunale Abwässer	Derzeitige Standards: zumindest Gesamtphosphor < 1 mg/l Stickstoffentfernung > 70%		Gesamtphosphor < 0,5mg/l ³ Stickstoffentfernung >85% ³	Gesamtphosphor < 0,5mg/l ⁴ Stickstoffentfernung >85% ⁴

¹ Die folgenden Maßnahmen werden nicht berücksichtigt: Zeitpunkt der Ausbringung, Hangneigung, Wassersättigung, Minimaldistanz zu Gewässern, Wirtschaftsdüngerlager

² Erhaltung von 96% der Referenz auf regionaler Ebene, Greeningmaßnahmen laut aktueller nationaler Umsetzung

³ Gebietskulisse: in Einzugsgebieten zur Grundwassersanierung aufgrund von Nitratbelastungen und bei Fließgewässern wo auf Grundlage der IMP Ergebnisse mit Nitrat bzw. Phosphatbelastungen über den Umweltqualitätszielen zu rechnen ist.

⁴ Flächendeckend in Österreich.

⁵ Gebietskulisse: in Gebieten mit Hackfruchtanbau in IMP.

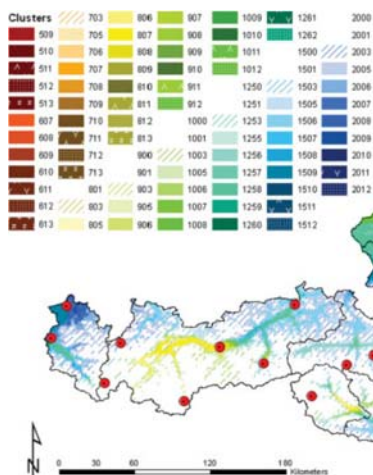
12 Informationsblatt Klimaszenarien

Informationsblatt Klimaszenarien

23.2.2015 | Mitter, H., Schmid, E. | Kontakt: hermine.mitter@boku.ac.at

1 Ausgangsbasis (Strauss et al., 2013a)

- **Österreichische Klimacuster** (siehe Abb. 1): Cluster mit homogenen Klimacharakteristika, basierend auf einer 30-jährigen Zeitreihe von räumlich hoch aufgelösten Daten (1 km Raster) zu mittlerer Jahresniederschlagssumme und Jahresmitteltemperatur; in Summe ca. 60 Klimacuster für Österreich
- Räumlich hochaufgelöste, **tägliche Wetterdaten für die Vergangenheit** (1975-2007), basierend auf beobachteten täglichen Stationswetterdaten
- **6 Wetterparameter**: Maximal-/ Minimaltemperatur, Niederschlag, solare Strahlung, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit)



Precipitation (mm)	Class	Temperature (° C)	Class*
≤ 500	500	≤ 0	0
>500 to ≤ 600	600	>0 to ≤ 2.5	1
>600 to ≤ 700	700	>2.5 to ≤ 4.5	3
>700 to ≤ 800	800	>4.5 to ≤ 5.5	5
>800 to ≤ 900	900	>5.5 to ≤ 6.5	6
>900 to ≤ 1000	1000	>6.5 to ≤ 7.5	7
>1000 to ≤ 1250	1250	>7.5 to ≤ 8.5	8
>1250 to ≤ 1500	1500	>8.5 to ≤ 9.5	9
>1500	2000	>9.5 to ≤ 10.5	10
		>10.5 to ≤ 11.5	11*
		>11.5 to ≤ 12.5	12*
		>12.5	13*

Abb. 1. **Österreichische Klimacuster**,

Quelle: Strauss et al., 2013a

Beispiel: Cluster 509 (500 + 9) steht für mittlere Jahresniederschlagssumme ≤ 500 mm und Jahresmitteltemperatur zwischen 8.5 und 9.49 °C

2 Methode zur Entwicklung von Extremwetter Szenarien (trocken und feucht) für Österreich (Strauss et al., 2013b)

- **Dry Day Index:**
Der Index gibt den Flächenanteil Österreichs an, der an einem beliebigen Tag im Jahr *trocken* ist. Ein Dry Day Index von 1 bedeutet, dass im gesamten Land kein Niederschlag zu beobachten ist. Ein Dry Day Index von 0 bedeutet, dass es im gesamten Land regnet oder schneit.
- **Block bootstrap:**
Jeder Monat wird in 4 Blöcke zu 8(bzw. 7) Tagen geteilt. Für jeden 8(7)-Tages-Block im Zeitraum zwischen 1975 bis 2007 wird der Dry Day Index berechnet. Dadurch werden ‚trockene‘ bzw. ‚feuchte‘ Blöcke identifiziert.
- **Gewichtetes resampling:**
Für die zukünftige Periode (2008-2040) werden Blöcke mit täglichen Wetterparametern aus ‚vergangenen‘ Blöcken (1975-2007) gezogen. Die Ziehung eines Blocks für das Referenzszenario erfolgt zufällig aus dem Pool aller vergangenen Blöcke des jeweiligen Monats. Beim Ziehen der Blöcke für das Trocken- bzw. Feuchtszenario werden – basierend auf einer angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeit von trockenen bzw. feuchten klimatischen Bedingungen – entsprechend trockene bzw. feuchte Blöcke bevorzugt.

- **Beispiel:** Für einen 8(7)-Tages-Block im März 2040 wird aus allen vergangenen 8(7)-Tages-Blöcken des Monats März gezogen. Zur Erstellung des **Referenzszenarios** wird jeder vergangene Block (des Monats März) mit gleicher Wahrscheinlichkeit ‚resampled‘. Beim **Trockenszenario** wird hingegen häufiger aus den trockeneren Blöcken der Vergangenheit resampled. Umgekehrt gilt für das **Feuchtszenario**, dass mit höherer Wahrscheinlichkeit aus feuchteren Blöcken gezogen wird. Im Trockenszenario tritt also ein Block, in dem es in großen Teilen Österreichs regnet, seltener auf als im Referenzszenario und im Feuchtszenario.
- **Szenarien im Detail:**
Für trockene und feuchte klimatische Bedingungen wurden ein Referenzszenario (SDRY1, SWET1), ein ‚moderates‘ Trocken- bzw. Feuchtszenario (SDRY2, SWET2) und ein ‚extremes‘ Trocken- bzw. Feuchtszenario (SDRY3, SWET3) erstellt. Der Unterschied zwischen den Szenarien (SDRY1-2-3 bzw. SWET1-2-3) besteht im Wesentlichen in der angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeit von trockenen bzw. feuchten klimatischen Bedingungen (gewichtetes resampling).
Um Unsicherheiten abzubilden wurde zudem das bootstrap Verfahren für alle 6 Szenarien (SDRY1-2-3, SWET1-2-3) jeweils 30-mal angewendet. Damit steht für jeden Klimacluster und jedes Szenario eine Verteilung der täglichen Wetterparameter (jeweils 30 Werte) zur Verfügung.
- **Zeitliche, räumliche und physikalische Konsistenz der Daten:**
Die zeitliche Autokorrelation der Wetterparameter wird durch das Block bootstrap Verfahren (Verwendung von 8(7)-Tages-Blöcken) berücksichtigt.
Für einen bestimmten zukünftigen Block werden alle 6 Wetterparameter vom gleichen vergangenen Block für ganz Österreich gezogen. Dadurch kann sowohl räumliche Autokorrelation einzelner Wetterparameter berücksichtigt als auch physikalische Konsistenz zwischen den Wetterparametern sicher gestellt werden.

3 Ergebnis: Klimaszenarien für Österreich

- Räumlich explizite, tägliche Wetterdaten für die Parameter: Maximal-/ Minimaltemperatur, Niederschlag, solare Strahlung, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit
- Zeitlich, räumlich und physikalisch konsistent
- Referenzszenario sowie Trockenszenarien und Feuchtszenarien mit jeweils moderater und starker Ausprägung von „Wetterextremheit“

3.1 Regionale Unterschiede

Abb. 2 zeigt die räumliche Variabilität von monatlichen Niederschlagssummen (links) und Monatsmitteltemperaturen (rechts) anhand von drei ausgewählten Klimaclustern.

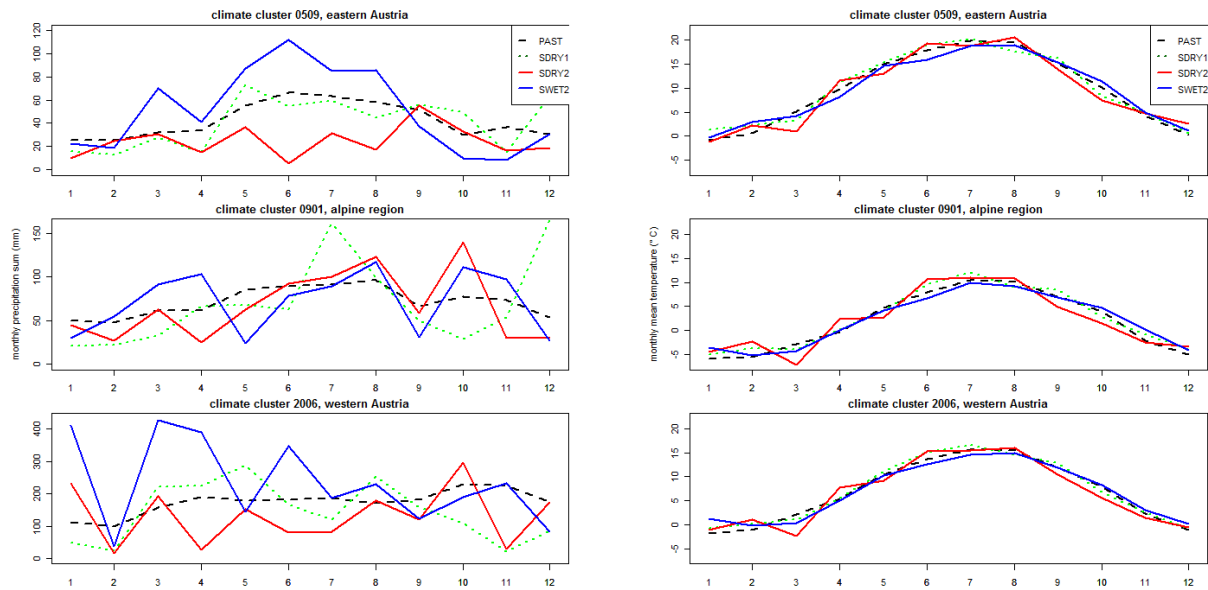


Abb.2. Beispielhafte Darstellung von monatlichen Niederschlagssummen (links) und Monatsmitteltemperaturen (rechts) für 3 Klimacluster (0509 Ostösterreich, 0901 Alpin, 2006 Westösterreich). PAST=Mittelwert für die Periode 1975-2005; Referenzszenario (SDRY1), moderates Trockenszenario (SDRY2), moderates Feuchtszenario (SWET2) jeweils im Jahr 2040, Ziehung 01 (aus 30).

3.2 Bandbreite der Unsicherheiten

Für die einzelnen Klimaszenarien (SDRY1-2-3 und SWET1-2-3) kann durch wiederholtes Ziehen (in Summe 30 Ziehungen pro Klimaszenario) eine Bandbreite an Unsicherheiten für die einzelnen Wetterparameter abgebildet werden. Für einen ausgewählten Klimacluster zeigt Abb. 3 die mittleren monatlichen Niederschlagssummen für die vergangene (1975-2005) und die zukünftige Periode (2010-2040). Für letztere sind jeweils 10 Realisierungen (Ziehungen) der Klimaszenarien SDRY2, SDRY3, SWET2 und SWET3 dargestellt. Werden die monatlichen Niederschlagssummen über die gesamte zukünftige Periode gemittelt, liegen diese in den einzelnen Realisierungen größtenteils unter (SDRY2 und SDRY3) bzw. über (SWET2 und SWET3) dem Mittelwert aus der Vergangenheit (Abb. 3). In einzelnen Jahren können die monatlichen Niederschlagssummen hingegen deutlich stärker vom langjährigen Mittelwert (1975-2005) abweichen, also deutlich höher bzw. niedriger ausfallen (Abb. 4).

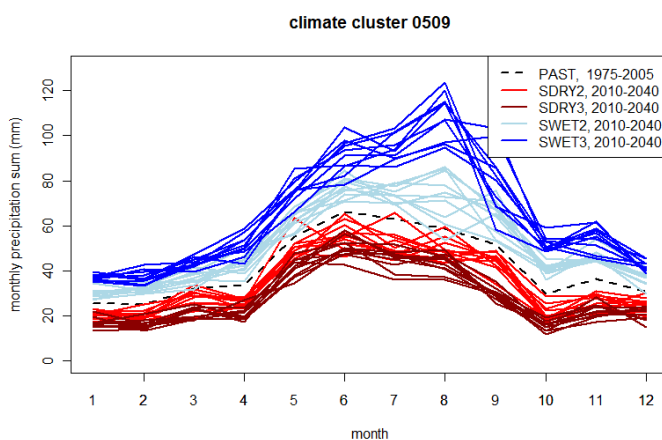


Abb 3. Monatliche Niederschlagssummen für Klimacluster 0509. PAST=Mittelwert für die Periode 1975-2005; Trockenszenarien (SDRY2, SDRY3), Feuchtszenarien (SWET2, SWET3) jeweils Mittelwerte über die Jahre 2010-2040, Ziehungen 01-10 (aus 30).

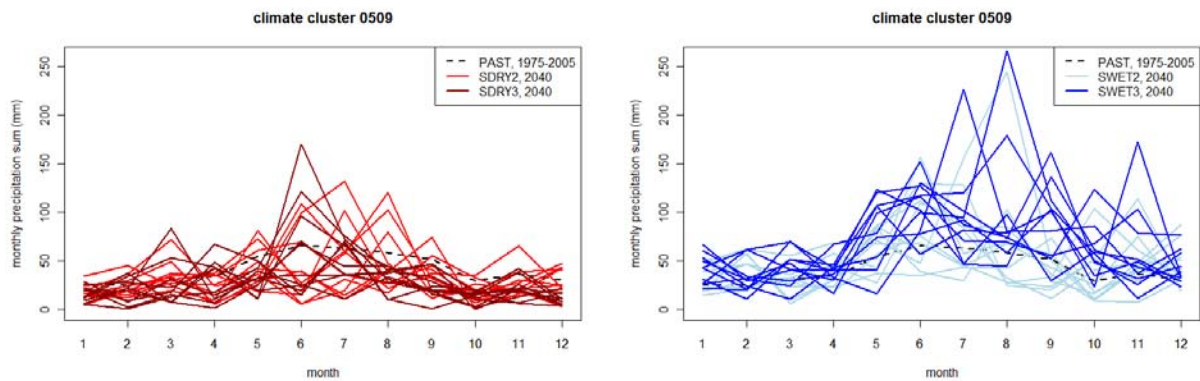


Abb 4. Monatliche Niederschlagssummen für Klimacluster 0509. PAST=Mittelwert für die Periode 1975-2005; Trockenszenarien (SDRY2, SDRY3), Feuchtszenarien (SWET2, SWET3) jeweils im Jahr 2040, Ziehungen 01-10 (aus 30).

Referenzen

- Strauss, F., Formayer, H., Schmid, E., 2013a. High resolution climate data for Austria in the period 2008–2040 from a statistical climate change model. *International Journal of Climatology* 33, 430–443. doi:10.1002/joc.3434
- Strauss, F., Moltchanova, E., Schmid, E., 2013b. Spatially Explicit Modeling of Long-Term Drought Impacts on Crop Production in Austria. *American Journal of Climate Change* 02, 1–11. doi:10.4236/ajcc.2013.23A001