Publizierbarer Endbericht

gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	UnLoadC³
Langtitel:	Uncertainty assessment of water flow and nutrient loads under future climate change conditions
Zitiervorschlag:	Schulz, K., Schürz, C., Mehdi, B., Matulla, C., Hollosi, B., Pressl, A., Ertl, T., 2017. Uncertainty Assessment of water flow and nutrient loads under future climate change conditions. ACRP Project "UnLoadC3", KR13AC6K11021, Final Report.
Programm inkl. Jahr:	ACRP 6th Call, 2013
Dauer:	01.07.2014 bis 30.11.2017
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW)
Kontaktperson Name:	Karsten Schulz
Kontaktperson Adresse:	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW) Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien Muthgasse 18 1190 Wien
Kontaktperson Telefon:	+43-1-47654-81699
Kontaktperson E-Mail:	karsten.schulz@boku.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW), BOKU Wien: Christoph Schürz, Bano Mehdi und Karsten Schulz Zentralanstalt für Meteorologie & Geodynamik (ZAMG), Wien: Brigitta Hollosi und Christoph Matulla

Allgemeines zum Projekt	
	Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasser-wirtschaft und Gewässerschutz (SIG), BOKU Wien: Alexander Pressl und Thomas Ertl
Schlagwörter:	Water quality; Uncertainty estimation; Sensitivity analysis; Climate Change
Projektgesamtkosten:	€386.539,-
Fördersumme:	€282.608,-
Klimafonds-Nr:	KR13AC6K11021
Erstellt am:	05.09.2013

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Um fundierte Aussagen über den Einfluss des Klimawandels auf die Ressource Wasser und deren Qualität treffen zu können, haben Gewässergütemodelle bei der Wahl von Adaptierungsmaßnahmen einen wichtigen Stellenwert. Ebenso wichtig ist es für Entscheidungsträger in der Politik und im operativen Einsatz zu wissen, welche Unsicherheiten mit den Prognosen verbunden sind.

Unsicherheiten ergeben sich im Rahmen von Untersuchungen zu Folgen des Klimawandels auf Wassermengen und –qualität durch eine Reihe von Einflussfaktoren. Dazu gehören Unsicherheiten bezüglich i) der Entwicklung des zukünftigen Klimas in Abhängigkeit von sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen, ii) der zukünftigen Landnutzungsentwicklung, iii) der Entwicklung urbaner Räume mit entsprechenden Stoffeinträgen in die Fließgewässer, iv) unterschiedlicher in den verwendeter globaler und regionaler Klimamodelle, sowie deren Parametrisierung und Initialisierung, vi) einer möglichen „Bias"-Korrektur der Klimaszenarien, v) der Modellstruktur möglicher „Impact"-Modelle sowie deren Parametrisierung und vi) der Daten zur Kalibrierung der Modelle.

Daher war es Ziel dieses Projektes, den Einfluss dieser Unsicherheiten auf Prognosen bzgl. Wassermengen und –qualität unter globalem Wandel zu analysieren. Dazu musste zunächst ein Verfahren entwickelt werden (*GUESS*), welches den Einfluss multipler Einflussfaktoren und Eingangsgrößen sowie multipler Modellstrukturen und –parametrisierungen auf hydrologische Kenngrößen, sowie deren Sensitivitäten integral analysieren kann. *GUESS* bietet die Möglichkeit einer nahtlosen Einbindung von Umweltsystemmodellen und Methoden zur globalen Analyse von Sensitivitäten von Modell-Eingangsgrößen und –Parametern und erlaubt dabei die Analyse von nominal skalierten Größen. Es ist grundsätzlich so angelegt, dass es auch für verschiedene "Impact"-Modelle genutzt werden kann. Im Projekt wurde das Verfahren für das hydrologische Modellsystem SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ausgelegt.

Ein zweiter wesentlicher Schritt bestand in der Entwicklung von möglichen Szenarien zu Klima- und Landnutzungswandel, sowie der Entwicklung von zukünftigen Stoffausträgen aus urbanen Systemen. Bezüglich Klimaszenarien wurde auf das EURO-CORDEX Projekt zurückgegriffen. Jeweils 11 RCP4.5- und RCP8.5-basierte regionale Klimaprojektionen wurden über statistisches „Downscaling" und eine „Bias-Korrektur" in einer Auflösung von 1x1km für die beiden Testgebiete Schwechat und Raab für drei zeitliche Perioden (Beobachtungszeitraum: 1971-2000, nahe Zukunft: 2021-2050, ferne Zukunft: 2071-2100) entwickelt. Ein Vergleich der Projektionen für den Beobachtungszeitraum mit Messdaten (SPARTACUS, GPARD) zeigte sehr zufriedenstellende Übereinstimmungen. Für die Landnutzung wurden in beiden Einzugsgebieten jeweils 2 Entwicklungspfade generiert, eine „Buisness-as-usual"-Variante in der jeweilige Trends im Gebiet fortgesetzt wurden und eine „Extensive"-Variante, bei der durch Reduktion Mais- und Weizen-Anbau die Nitratausträge reduziert wurden. Für mögliche Szenarien aus der

Siedlungswasserwirtschaft wurden aufgrund limitierter Daten relativ einfache Annahmen gemacht. Zukünftige Nährstoffausträge durch punktuelle Einleiter setzen sich dabei aus einer prognostizierten Bevölkerungsentwicklung und einer gleichbleibenden Prokopf-Fracht zusammen. In Bezug auf industrielle Einleitungen wurden Szenarien zwischen Ausweitung der Produktion bis hin zur vollständigen Abwanderung gemacht.

Im dritten Schritt wurde auf Basis vorhandener Grundlagendaten für beide Einzugsgebiete das Modellsystem SWAT aufgesetzt und anhand gemessener Abfluss- und Nitrat-Daten über Monto-Carlo-basierte Verfahren kalibriert. Bei einem Einhalten bzw. „Überschreiten" von a priori gesetzten Gütekriterien zu Abflussraten und Nitrat-Frachten, wurden die entsprechenden Modellparametrisierung für die folgende Analyse als „geeignet" weiter berücksichtigt. Die unterschiedlichen Modell-Parametrisierungen, die unterschiedlichen räumliche Diskretisierungen des Gebietes, sowie die Szenarien zu den drei Bereichen Klima, Landnutzung und Siedlungswasserwirtschaft stellen schließlich das Spektrum an variablen bzw. unsicheren Einflussfaktoren dar, welches im Folgenden mit dem entwickelten Verfahren *GUESS* intensiv für beide Gebiete analysiert wird.

Die Ergebnisse dieser Analyse lassen generell wie folgt zusammenfassen: Für alle betrachteten Zielvariablen des Wasser- und Nitrat-N-Kreislaufs ist es von großer Bedeutung, eine möglichst große Bandbreite an GCM-RCM Kombinationen in den verwendeten Klimaszenarien zu berücksichtigen. Unabhängig von den gewählten sozioökonomischen Szenarien führen die verschiedenen GCM-RCM Kombinationen zu deutlich unterschiedlichen Aussagen für die betrachteten Zielvariablen und respektive zu großen Unsicherheitsbandbreiten. Die Wahl der RCPs hat insbesondere einen deutlichen Effekt auf die Extremwerte der Prognosebandbreite. Die entwickelten Landnutzungsszenarien hatten in der implementierten Form sowohl in absoluten Zahlen aber auch relativ zu den anderen berücksichtigten Einflussgrößen für alle betrachteten Zielvariablen einen äußerst geringen Effekt. Dieses Ergebnis wirft die Frage der Ursache auf und sollte Gegenstand weiterer Arbeiten sein. Die in den beiden Fallstudien berücksichtigten Änderungen für kommunale Abwässer zeigen einen ähnlich geringen relativen Einfluss wie die Landnutzungsszenarien. Lediglich die Entwicklung großer Emittenten zeigte einen Einfluss auf Nitrat-N Frachten sowie Konzentrationen. Auf den Abfluss hatten die industriellen Einleiter jedoch keinen Einfluss, da eher die hohen Stoffkonzentrationen als die Menge des Abwassers hier zu Tragen kommt. Für beide Gebiete zeigt sich ein überraschend geringer Einfluss der gewählten Modellstruktur bzw. räumlichen Diskretisierung auf die Prognose von Wasser- und Stoffkreislaufkomponenten. Hingegen zeigten die unterschiedlichen Parametrisierungen des Modells eine sehr große Sensitivität. Diese Ergebnisse bzgl. räumlicher Diskretisierung und Parametrisierung gelten unserer Ansicht nach nur für flächenintegralen Größen wie Abfluss und Nitrat-N Frachten am Gebietsauslass. Völlig andere Verhältnisse können für kleinräumig betrachtete Variablen gelten. Für Analysen wie die hier dargestellte kann man jedoch schließen, dass die Wahl eines recheneffizienten Modells mit großen Augenmerk auf eine gute Parametrisierung dieses Modells empfehlenswert ist.

2 Executive Summary

Strategies for managing water resources under climate change conditions are required to assist decision-makers. Typically, this knowledge is generated using mathematical models that have several inputs and simulation steps; each of which introduces uncertainties that are propagated throughout the model. A model output can be analyzed by means of a sensitivity analysis to identify the main sources of uncertainty contributing to the modelled results.

The UnLoadC³ project analyzed the entire modeling chain of uncertainties arising from the individual sources of data input and model setup during the simulation of discharge and nitrate loads under future conditions. The main development of UnLoadC³ was a framework "Generalized Uncertainty Estimation and Sensitivity analysis Scheme" (*GUESS*) for multiple input factors, parameters and model setups to allow an integral analysis of sensitivities and their effects on the simulated uncertainty of output variables. This allowed us to determine the overall prediction uncertainty for discharge and nitrate as well as the dominant sources of uncertainty within the impact analyses for two catchments in Austria.

The Raab and Schwechat catchments were chosen as two case studies for this analysis. Both have a regional mix of forest and typical agricultural crops and also industrial as well as municipal influences as point pollution sources. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT; Arnold et al., 1998) was the ecohydrological model used in the GUESS framework.

To undertake an analysis of the uncertainty in the input data, several sources of input data had to be generated or obtained. Firstly, an ensemble of climate change projections for UnLoadC3 was developed at a regional scale relevant to the spatial scale of the catchment areas. Eleven climate simulations from the EURO-CORDEX project were obtained for both a near (2021-2050) and a far future (2071-2100) with different combinations of GCM-RCM and two socioeconomic pathways (RCP4.5 and 8.5). Statistical downscaling was applied to each projection to provide the climate data on a 1x1 km grid over Austria from the period from 1961 to present. Each projection was bias-corrected using the "Quantile Mapping" method.

Temperature changes for January for the near future show increases of ~1°C. The scenarios for the far future show a mean temperature increase of ~2.5°C (RCP4.5) and ~4.3°C (RCP8.5). The temperature changes for July show no large differences for the near future, but exhibit a substantial divergence towards the end of this century, amounting up to ~2°C. Precipitation changes for January for the far future show mean increases in of ~0.3 mm/day (RCP4.5) and ~0.45 mm/day (RCP8.5). In July overall mean changes are rather small.

Secondly, for the land use change scenarios, the focus on diffuse nutrient pollution pathways was undertaken by developing two scenario storylines for the agricultural areas in each catchment; the first scenario was a "Business as Usual" scenario with continued intensification of agricultural areas. A second "Extensive" scenario of agricultural extensification was developed, where in the Raab catchment this scenario focused on restricting the amount of corn planted as a measure to reduce nutrient transport; and in the Schwechat, the scenario had the cereal area decrease to become pasture or legumes.

The point source pollution in both catchments was examined through changes in waste water treatment plants (WWTP) and industrial plants. For the development of these scenarios, a direct relationship between the changes in future population and the changes in municipal point source emissions was assumed. Industrial

plants were only situated in the Raab catchment, and here two scenarios were developed for the main emitting industry (leather industry); one in which the industry relocates to outside the catchment and another where production is increased.

Thirdly, the SWAT model was setup for both catchments several times, in each case the spatial characteristics of the catchments were represented with different degrees of detail. This resulted in a different number of subbasins and HRUs in each model setup. Parameter sets were selected for all model setups that reproduced the observed time series of discharge and NO3--N loads equally well. The model performance was assessed applying Monte Carlo filtering and using objective criteria (Nash Sutcliffe Efficiency, Kling Gupta Efficiency and the percentage bias) that exceeded defined thresholds.

Lastly, a "Generalized Uncertainty Estimation and Sensitivity analysis Scheme" (*GUESS*) for SWAT was developed to support a variety of model inputs in a global sensitivity and uncertainty analysis framework. GUESS was applied to the Raab and Schwechat catchments where the impact of the following input factors: climate scenarios, land use scenarios, point sources of NO3--N, the model setup, and the model parameterization was analyzed for their impacts on the modelled outputs of discharge and NO3--N loads.

To overcomes the problem of non-continuous variables, the STAR sampling (Razavi and Gupta, 2016b) was adapted to analyze the maximum variability an input factor can produce for a model output when employing all levels that input factor can take in the analysis and keeping all other inputs constant. The STAR sampling scheme resulted in 8100 and 6800 different model setups for the Raab and the Schwechat catchment, respectively, all of which were assembled, executed and further analyzed.

The overall results of UnLoadC3 highlight the importance of considering a wide range of GCM-RCM combinations for the climate change impact assessment. For both catchments, the analyzed model objectives showed highly sensitive responses to the climate scenarios (independent of the socioeconomic RCP scenario) applied in SWAT.

The model parametrization had the next largest relative impact on the analyzed objectives, but the model setup (e.g. the spatial representation of the catchment) had a small relative impact. Both factors contain the most subjective choices in modelling.

Changes in WWTP point source emissions had a small relative impact on the analyzed objectives, but the large industrial emitters had an impact on simulated NO3-N amounts. The implemented land use scenarios had little to no effect on any of the analyzed objectives relative to the other input factors. The reason for a small impact should be analyzed further.

With *GUESS* a freely available tool was developed to undertake an uncertainty and sensitivity analysis of environmental modelling studies using a robust and global method. The framework allows model inputs of any structure to be implemented in a combined sensitivity analysis, including model parameters, weather inputs, and different model setups. For the UnLoadC³ project, the *GUESS* framework focused on the implementation of the SWAT model for the sensitivity analysis, however the *GUESS* framework is theoretically feasible for any other model application.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Um fundierte Aussagen über den Einfluss des Klimawandels auf die Ressource Wasser und deren Qualität treffen zu können, haben Gewässergütemodelle bei der Wahl von Adaptierungsmaßnahmen einen wichtigen Stellenwert. Das Wissen darüber, welche Unsicherheiten in hydrologischen Prognosen inhärent sind, sollte vor allem für Entscheidungsträger in der Politik und im operativen Einsatz einen hohen Stellenwert haben (Kundzewicz, 2007). Dies gilt insbesondere, da der Schutz und Erhalt der Ressource Wasser oft mit großen strukturellen Maßnahmen einhergeht. Zu den Maßnahmen werden in Zukunft auch häufiger Anpassungen an den Klimawandel gehören (Wilby und Wood, 2012). Prognosen unter Klimawandeleinfluss und damit die Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen sind jedoch nur so gut wie das schwächste Glied in einer Modellkette, respektive die größte Quelle an Unsicherheiten sind. Auch wenn das Themenfeld Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse langsam in den Bereichen Hydrologie und Gewässergüte-Modellierung Einzug findet, sind kaum Studien verfügbar die Unsicherheiten in der Prognose von Wasserqualitätsparametern unter Klimawandeleinfluss analysieren (Beven, 2011).

Während die Wasserqualität der Oberflächengewässer sowie des Grundwassers in Österreich hoch ist (BMLFUW, 2011), sind die Entwicklungen der Gewässersysteme unter extremeren Wetterbedingungen, und damit veränderten Eintragspfaden von Stoffen in die Gewässer, sehr unsicher. Ein Anstieg der Temperaturen und einhergehende ausgedehntere Trockenperioden können zu einer Reduktion des Basisabflusses, geringerer Bodenfeuchte und reduzierten Grundwassererneuerungsraten führen. Intensivere Niederschlagsereignisse wiederum können zu einer Erhöhung extremer Abflussereignisse führen. All diese Faktoren können einen signifikanten Einfluss auf die biochemischen Stoffkreisläufe und schlussendlich auch auf die Wasserqualität haben (Perfler et al., 2007, Zweimüller et al., 2008).

Die Unsicherheiten in den Prognosen von hydrologischen Kenngrößen und Wasserqualitätsparametern resultieren in der Regel aus den Unsicherheiten vieler Einflussgrößen deren komplexe Interaktionen bislang nur zum Teil beschrieben werden (können) (siehe schematische Abbildung 3.1). Mit zunehmendem Komplexitätsgrad der Analyse (räumlich, zeitlich, oder thematisch, siehe Abb. 3.1) pflanzen sich die Unsicherheiten der Einflussgrößen in der Modellkette fort. Im Zusammenwirken der Einflussgrößen im Rahmen einer Klimafolgen-Analyse können sich die Effekte der abgebildeten Unsicherheiten noch zusätzlich verstärken. Ebenso können die für eine Klimafolgen-Analyse verwendeten Modelle und deren Parametrisierungen zusätzliche Quellen von Unsicherheiten sein.

Aus diesem Grunde stand im Projekt UnLoadC³ eine integrative Betrachtung der individuellen Quellen von Unsicherheiten in der Prognose von Abfluss und Nährstoffkreislauf in österreichischen Fließgewässersystemen unter Klimawandeleinfluss im Vordergrund. Im Rahmen des Projekts wurden folgende Ziele festgelegt:

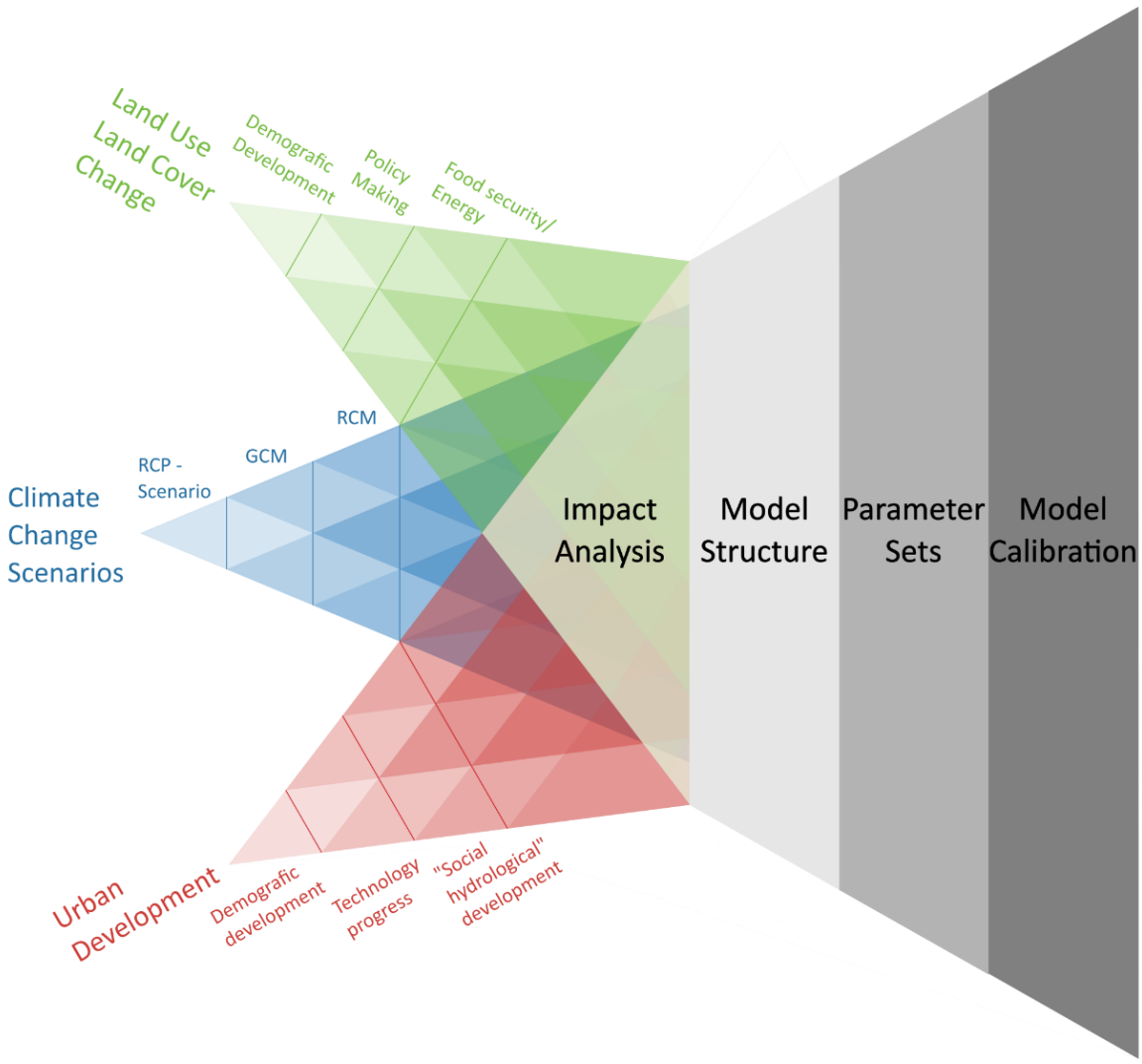

Abbildung 3.1: Darstellung der Fortpflanzung und der Interaktion von Unsicherheiten in Studien zu Klimafolgen. Die kontinuierliche Aufweitung der der Flächen soll schematisch die Aufweitung der entstehenden Unsicherheitsbandbreiten in einer Prognose skizzieren.

- Die Entwicklung eines Verfahrens welches den Einfluss multipler Einflussfaktoren und Eingangsgrößen und multipler Modellstrukturen und –parametrisierungen auf hydrologische Kenngrößen, sowie deren Sensitivitäten integral analysieren kann. Dieses Verfahren (im folgenden *GUESS* (Generalized Uncertainty Estimation and Sensitivity analysis Scheme) genannt) ist in der Lage, den Einfluss mehrerer Modelleingangsgrößen in Klimafolgen-Studien zu analysieren und stellt Verfahren bereit, um die dominanten Größen für die Unsicherheiten in der Prognose von hydrologischen Variablen und Wasserqualitätsparametern identifizieren zu können.
- Eine möglichst große Bandbreite an möglichen Klimawandelszenarien für Österreich soll bereitgestellt werden. Diese sollen relevante künftige sozioökonomischen Entwicklungen unter Verwendung von „state-of-the-art" Methoden abbilden und auf einer kleinstmöglichen räumlichen Auflösung "downgescaled" bereitstellen (Anmerkung: Der ÖKS15 Datensatz war mit Beginn des Projektes noch nicht verfügbar und werde erst mit Ende des

Projektes vom ACRP bereitgestellt. Er konnte daher im Projekt nicht berücksichtigt werden).

- Unterschiedliche Nährstoffemissionsszenarien sollen entwickelt werden und für die Verwendung in Impactanalysen bereitgestellt werden.
- Im Rahmen mehrerer Fallstudien soll das entwickelte Verfahren *GUESS* angewendet werden. Für ausgewählte Variablen des Wasser- und Nährstoffkreislaufs sollen die gesamte Unsicherheiten in der Prognose bestimmt und die dominanten beitragenden Einflussgrößen der Prognoseunsicherheiten identifiziert werden.

4 Projektinhalt und Ergebnisse

Um systematisch auf die im Projekt UnLoadC³ festgelegten Ziele eingehen zu können, wurden die Themenschwerpunkte entsprechend der Expertise der im Projektkonsortium beteiligten Partner aufgeteilt. Generell lassen sich die Tätigkeiten in diesem Projekt in drei große Blöcke gliedern.

Der erste und im Wesentlichen projektübergreifende Themenbereich befasste sich mit der konzeptionellen Entwicklung von *GUESS*. Hier lag der Hauptfokus im Design des Verfahrens und zwar der Entwicklung einer Möglichkeit, unterschiedlichste Modellkomponenten in einer Sensitivitätsanalyse einbinden zu können und diese flexibel mit „state-of-the-art" Methoden zur Sensitivitätsanalyse inkl. notwendiger „Sampling"-Strategien zu koppeln. Die theoretisch angestellten Überlegungen wurden für die operative Anwendung softwaretechnisch ausformuliert. Für die konkrete Fragestellung der Unsicherheiten in der Prognose von Wasser- und Nährstoffkreislaufkomponenten und mit dem Ziel eine möglichst große Community in der Umweltsystemmodellierung zu erreichen, wurde das entwickelte Verfahren spezifisch für das Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Arnold et al., 1998) mit seiner aktiven Anwender-„Community" (Mannschatz et al., 2016) entwickelt. Die funktionelle Bandbreite der entwickelten Methode wurde dabei in einem intuitiven "Workflow" mit dem SWAT-Modell gekoppelt und wird den SWAT-Anwendern in Form des R Pakets SWATpasteR (Schürz et al., 2017b) frei zugänglich bereitgestellt (Kap. 4.1).

Der Fokus des zweiten Themenblocks lag auf der Szenarien-Entwicklung für die verschiedenen Modelleinflussgrößen Klima, Landnutzung und punktuelle Einleiter (Siedlungsräume und Industrie). Zur Entwicklung der Klimaszenarien wurde auf die größtmöglich verfügbare Palette an Klimaszenarien zurückgegriffen. Um die verfügbaren Klimaszenarien für die anschließenden Klimafolgen-Analysen in adäquater räumlicher Auflösung bereitzustellen, wurden die akquirierten Daten "downgescaled" und "biaskorrigiert" (Kap. 4.2). Zur Entwicklung der Landnutzungsszenarien wurden primär Agrarstatistiken eingebunden und Trends aus der Vergangenheit extrapoliert. Die Trends wurden hinsichtlich extensivem und intensivem Verhalten der Landwirte in einem realistischen Rahmen modifiziert und in Form von Szenarien aufbereitet (Kap. 4.3). Vor allem die Akquise und Verfügbarkeit von zeitlich hochaufgelösten Daten für punktuelle Einleiter stellte sich als

schwierig heraus. Basierend auf der bestmöglichen Datengrundlage wurden Zeitreihen für punktuelle Einleiter entwickelt und basierend auf demografischen Entwicklungen diese in verschiedenen möglichen Szenarien aufbereitet (Kap. 4.4).

Im abschließenden dritten Block wurden die entwickelten Szenarien für die Modelleinflussgrößen in einer integralen Sensitivitätsanalyse zusammengeführt. Hier wurden in zwei Fallstudien an den Fließgewässern Raab und Schwechat SWAT Modelle aufgesetzt und diese gemeinsam mit den anderen Modelleinflussgrößen in *GUESS* eingebunden. Für unterschiedliche Variablen die den mengenmäßigen Abfluss beschreiben, sowie für die Nitrat-N Frachten aus den beiden Einzugsgebieten wurden die relativen Sensitivitäten der Einflussgrößen Klima, Landnutzung, Siedlungswasserwirtschaft, die räumliche Aggregierung der SWAT Modelle, sowie deren Parametrisierung ermittelt. In ausgewählten detaillierten Beispielen wurde gezeigt, welchen Effekt die Reduktion in den Unsicherheiten bestimmter Einflussgrößen auf die Prognoseunsicherheiten der langjährigen Monatsmittel für Abfluss und Nitrat-N Frachten aus dem Einzugsgebiet der Raab haben (Kap. 4.5).

4.1 Entwicklung des Sensitivitätsanalyseframeworks

Die Analyse von Unsicherheiten bei der Modellierung von Umweltsystemen gewinnt, unter anderem auch aufgrund leicht verfügbarer Rechenleistung, immer mehr an Stellenwert und wird allmählich als essenzieller Bestandteil von Modellstudien angesehen (Baroni und Tarantola, 2014; Saltelli und Annoni, 2010). Wobei der Fokus einer Unsicherheitsanalyse auf der möglichen Bandbreite der modellierten Größen aufgrund von unsicheren Eingangsgrößen liegt, ist das Ziel der Sensitivitätsanalyse die Anteile der resultierenden Unsicherheiten den individuellen unsicheren Eingangsgrößen zuzuordnen (Saltelli et al., 2008). In der Regel gehen daher (wenn vielleicht auch unbewusst) Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse in Modellstudien meist einher.

In der Vielzahl der Umweltsystem-Modellstudien basieren Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen jedoch noch immer auf der sogenannten "one-at-a-time" Analyse (OAT) bei der von einem "optimalen" Zustand eines Modells ausgegangen wird und die Eingangsgrößen des Modells nacheinander um einen gewissen Wert von ihrem "optimalen" Punkt ausgelenkt werden, um deren Einfluss auf die modellierte Größe zu analysieren (Saltelli et al., 2008; Saltelli und Annoni, 2010). Eine Vielzahl an Studien, die den Einfluss von Landnutzungsänderungen oder Klimawandel analysieren, kann man im Prinzip ebenfalls als eine OAT Analyse betrachten. Saltelli und Annoni (2010) zeigen sehr deutlich die Probleme mit OAT Analysen auf, die im Prinzip lineare Modelle und völlig unabhängige Modelleingangsgrößen voraussetzen und Interaktionen zwischen Modelleingangsgrößen nicht berücksichtigen. Dies ist bei Umweltsystemmodellen jedoch in keiner Weise gegeben. Saltelli und Annoni (2010) empfehlen daher regionale bzw. globale Methoden zur Analyse von Modellsystemen, wie etwa die "Elementary Effects" Methode (EET) oder eine globale Sensitivitätsanalyse (GSA) (z.B. Sobol (Sobol, 1993)) welche die Modellsensitivitäten nicht nur im "optimalen" Punkt betrachten.

Der Einsatz von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen beschränkt sich in der Umweltsystemmodellierung fast ausschließlich auf skalare kontinuierliche Modelleingangsgrößen, meist in Form von Modellparametern. Oftmals ist aber auch der Einfluss von nicht-skalaren (etwa ordinalen oder nominalen) Eingangsgrößen, wie etwa der Modellstruktur, Szenarien verschiedener Modellkomponenten (Wetter, Landnutzung, demografische Entwicklung etc.), oder zusammenhängender korrelierter Parametersets von Interesse. Diese lassen sich jedoch mit den verfügbaren Methoden nur schwer analysieren.

Die genannten Punkte verdeutlichen die Relevanz und Notwendigkeit, Methoden zu entwickeln, die eine flexible Analyse von Unsicherheiten und Sensitivitäten in der Umweltsystemmodellierung ermöglichen, welche vor allem auch nicht-skalare Größen einbeziehen können.

Baroni und Tarantola (2014) präsentieren einen generellen Workflow zur Analyse von Modellunsicherheiten und den Sensitivitäten betrachteter Einflussgrößen mit ihrem "General Probabilistic Framework" (GPF). In einer Fallstudie zeigen sie anhand des "Soil-Water-Atmosphere-Plant" (SWAP) Models (Kroes und van Dam, 2003) Analysen der Unsicherheiten von modellierter Verdunstung und Perkolation und der respektiven Sensitivitäten der Einflussgrößen Modellstruktur, Pflanzenparameter, oder Messungenauigkeiten in den Beobachtungsdaten.

In Anlehnung an das beschriebene GPF (Baroni und Tarantola, 2014) wurde im Rahmen des Projekts UnLoadC³ ein Sensitivitätsanalyseframework (SAF) entwickelt welches die Analyse von kontinuierlichen Größen wie Modellparametern, sowie diskreten Einflussgrößen wie Szenarien in und in einem gemeinsamen Rahmen ermöglicht und in einem intuitiv anwendbaren "Workflow" mit dem SWAT Modell gekoppelt. Der Ablauf des *GUESS* ist in zwei wesentliche Arbeitsschritte unterteilt, einen "Daten-Pre-Processing" Schritt und die eigentlichen Sensitivitätsanalyse (siehe Abb. 4.1).

Beim "Daten-Pre-Processing" werden die notwendigen Eingangsdaten zur Erstellung des SWAT Modells (bzw. der Modelle im Falle einer Analyse unterschiedlicher Modellstrukturen), wie etwa Geländemodell, Landnutzungsdaten, oder Bodenkarten akquiriert und das (die) Basismodell(e) erstellt. Für die relevanten Modellkomponenten, die im SAF untersucht werden sollen, werden je nach Fragestellung Szenarien entwickelt bzw. die Bausteine des Basismodells mit Unsicherheiten behaftet und verschiedene Realisierungen des jeweiligen Bausteins ermittelt.

Im Rahmen der eigentlichen Sensitivitätsanalyse werden zuerst die entwickelten Szenarien der betrachteten Modelleinflussgrößen, bzw. deren mit Unsicherheiten behafteten Realisierungen für das Einbinden in der Modellierung aufbereitet und für das Sampling als faktorielle Größen mit diskreten „Levels" definiert. Im darauffolgenden "Sampling"-Schritt werden Kombinationen der Modelleinflussgrößen extrahiert. Die "Sampling"-Strategie kann hier abhängig von der gewählten Methode zur Sensitivitätsanalyse unterschiedliche Designs haben. Im Beispiel der Abb. 4.1 ist das STAR-Sampling (Razavi und Gupta 2016b) illustriert, welches auch in den weiter unten beschriebenen Fallstudien angewandt wurde. Im Modellierungsschritt werden die Realisierungen der einzelnen Modellkomponenten

entsprechend der definierten Faktorensets zu lauffähigen SWAT Modellen zusammengesetzt und ausgeführt. Je nach Fragestellung bzw. zu analysierender Modellausgangsgröße werden aus jeder Modellkonfiguration die simulierten Zielvariablen extrahiert und für eine weitere Evaluierung abgespeichert. Um die Sensitivität der Modelleinflussgrößen analysieren zu können, werden im folgenden Schritt die Modell-"Outputs" der einzelnen Modellkonfigurationen evaluiert. Dies kann entweder anhand der modellierten Größen selbst, einer aggregierten Form dieser, oder aber auch anhand daraus berechneter Zielkriterien passieren. Im abschließenden Schritt werden basierend auf den berechneten Zielkriterien/Modell-"Outputs" die Sensitivitäten der Modelleinflussgrößen evaluiert. Die Wahl der Methode zur Sensitivitätsanalyse hängt jedoch vom zuvor gewählten Sampling Design ab. Darüber hinaus muss darauf geachtet werden, dass die gewählte Methode eine Analyse von diskreten Modelleinflussgrößen zulässt. Als gängigstes Verfahren kann hier die Methode nach Sobol (Sobol, 1993) angeführt werden. In den folgenden Fallstudien wurde jedoch eine adaptierte Variante der STARVARS Methode (Razavi und Gupta 2016a) angewandt.

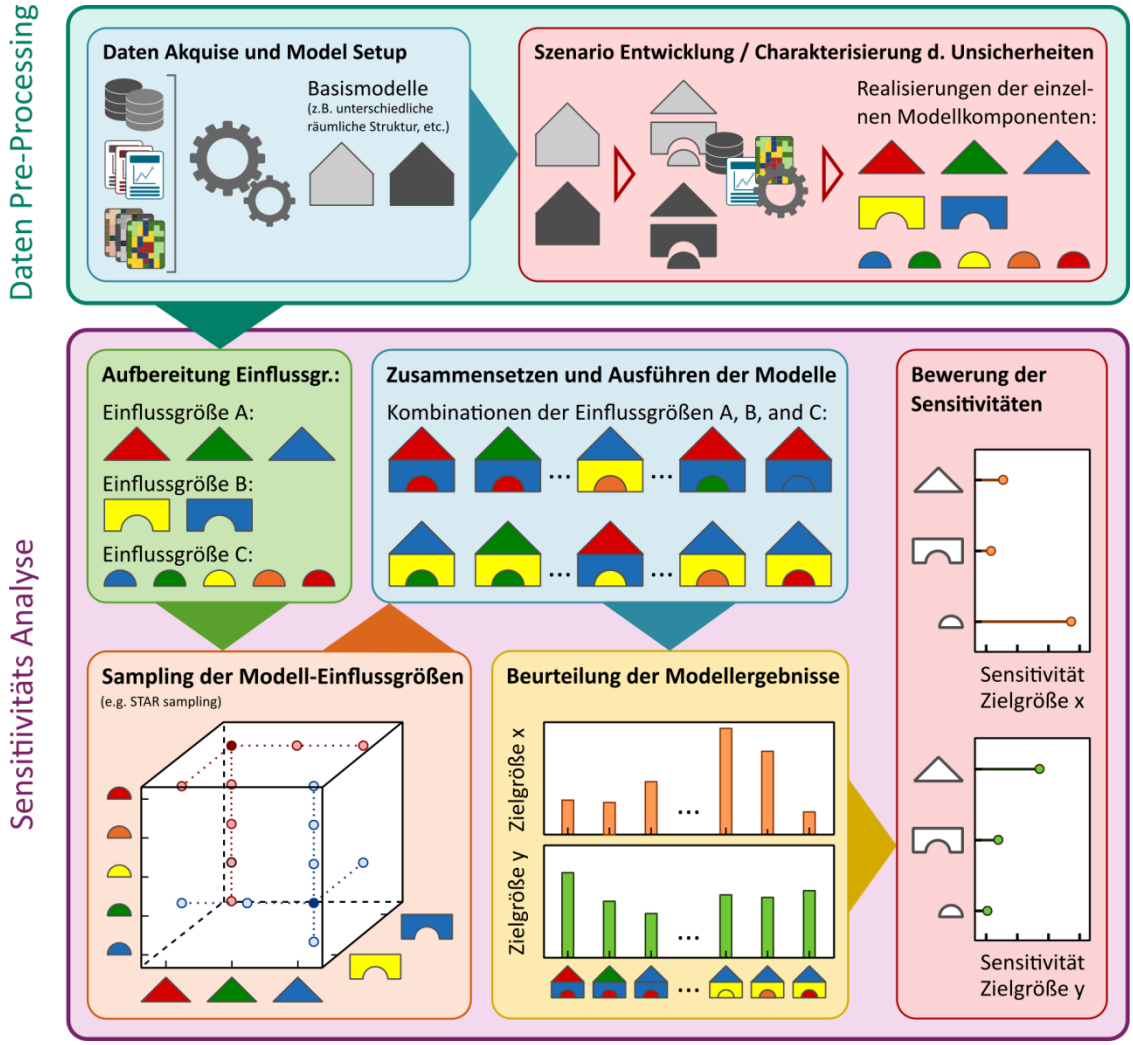

Abbildung 4.1: Schematische Darstellung des entwickelten GUESS Verfahrens. Beschrieben ist der Ablauf einer Sensitivitätsanalyse, wenn Modellkomponenten mit diskreten Zuständen eingebunden werden. Die notwendigen Schritte vom Aufbau der Modelle und der einzelnen Modellkomponenten die in die Analyse untersucht werden sollen, über das Sampling, dem Ausführen der Modelle, bis zur Analyse der Modellergebnisse sind in einem Workflow dargestellt.

Der beschriebene Workflow in *GUESS* wurde in der Skriptsprache R entwickelt. Wie weiter oben deutlich gemacht, sollen derartige Analysen einen zentralen Stellenwert in der Ökosystemmodellierung einnehmen. Daher war eine große Priorität in diesem Projekt, diese Methode einer breiten Community einfach und frei verfügbar bereit zu stellen. Daher wurde das Werkzeug in einem intuitiven Workflow an R Funktionen umgesetzt und wird frei verfügbar als R Paket mit dem Namen SWATpasteR (Schürz et al., 2017b) bereitgestellt.

4.2 Szenarienentwicklung

4.2.1 Klimaszenarien

Ein zentrales Ziel von UnLoadC³ besteht darin, die aus der Klimamodellierung resultierenden Unsicherheiten zu quantifizieren. Um die Unsicherheiten der Klimamodelle zu beschreiben werden "Ensembles" regionaler Klimaprojektionen generiert, welche eine Bandbreite möglicher klimatischer Zustände beschreiben. Die regionalen Klimaprojektionen werden von unterschiedlichen sozioökonomischen Szenarien angetrieben. Die aktuelle Generation an sozioökonomischen Szenarien, in Form der "Representative Concentration Pathways" (RCP; IPCC, 2013) wurde für die Entwicklung der Klimaszenarien herangezogen. Die in UnLoadC³ verwendeten regionalen Klimaprojektionen wurden im Rahmen der EURO-CORDEX Initiative (Jacob et al., 2013) unter Verwendung von dynamischem Downscaling (DD) entwickelt. Aus der Initiative stehen die im Projekt benötigten Klimavariablen auf Tagesbasis zur Verfügung.

Die EURO-CORDEX Ensembles bestehen aus jeweils 11 regionalen Klimawandel-Projektionen, welche mit den sozioökonomischen Szenarien RCP4.5 (Smith and Wigley, 2006; Wise et al., 2009) und RCP8.5 (Riahi et al., 2007) angetrieben worden sind (siehe IPCC AR5, 2013). Diese Ensembles wurden in UnLoadC³ mit statistischem Downscaling (SD, inklusive Bias-Korrektur) für Österreich auf ein 1 x 1 km Raster skaliert und für die Flusseinzugsgebiete Raab und Schwechat extrahiert. Damit liegen für die beiden Einzugsgebiete zwei Ensembles (RCP4.5 und RCP8.5) von jeweils 11 regionalen Projektionen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts für Temperatur (Mittel, Minimum und Maximum) und Niederschlag auf Tagesbasis vor. Die darauf beruhenden Resultate gestatten die Darstellung statistisch robuster Veränderungen sowie die Untersuchung von Unsicherheiten der jeweiligen Variablen.

Bei der Darstellung der Ergebnisse werden drei Perioden unterschieden: (i) die Beobachtungsperiode (1971-2000), (ii) die nahe Zukunft (2021-2050), sowie (iii) die fernere Zukunft (2071-2100). Das Vertrauen in Aussagen, die sich auf künftig mögliche Klimaänderungen beziehen, ist von der Fähigkeit der dazu verwendeten Methoden das beobachtete Klima wiederzugeben, bestimmt. Abbildung 4.2 (erste Spalte) beschreibt die Modellierung (EURO-CORDEX+SD+Bias-Korrektur) des in der Vergangenheit beobachteten Klimas, wobei angegeben sind (von oben nach unten): (i) Temperatur im Januar, (ii) im Juli, sowie (iii) Niederschlag im Januar und (iv) im Juli. Es ist sichtbar, dass EURO-CORDEX plus SD-Bias-Korrektur gesamtflächig gesehen, für 1971-2000 und den hier getrachteten Ausschnitt eine

realistische Wiedergabe des beobachteten Klimas gestattet. Dennoch ist die modellierte Januar-Temperatur (trotz Bias-Korrektur) im Mittel und in den Extremen (Maximum, Minimum) um 0.42°C bzw. 1.26°C zu hoch und für das Minimum um 1.12°C zu tief. Im Juli sind die modellierten Werte näher an den Beobachtungen. Betrachtet man den Niederschlag, so fällt auf, dass die simulierten Werte im Januar etwas zu feucht, während die im Juli zum Teil zu trocken sind. Die Veränderungen, die mit den RCP4.5 und RCP8.5 Szenarien für die nahe und fernere Zukunft (Spalten zwei bis fünf) einhergehen, zeigen für die nahe Zukunft ein hohes Maß an Konformität, während sich gegen Ende des Jh. bei der Temperatur deutliche Unterschiede ergeben. Das ist im Einklang mit den Ergebnissen der IPCC Reports, deren Ergebnisse allerdings in der Regel nur auf kontinentaler, also einer viel gröber aufgelösten Skala Gültigkeit besitzen.

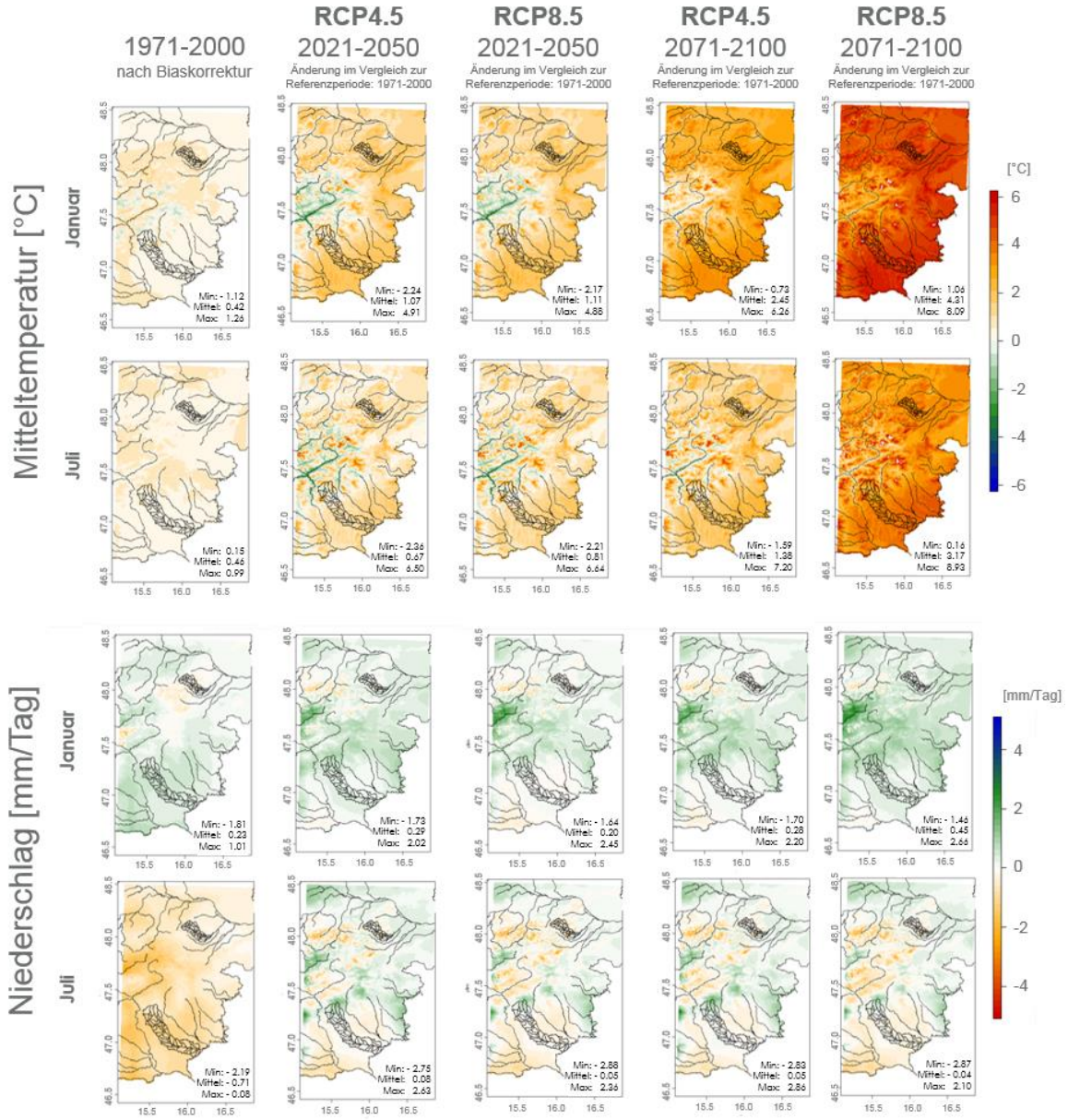

Abbildung 4.2: Modellierung der mittleren Temperatur im Januar (erste Zeile) und Juli (zweite Zeile) in der Vergangenheit (die erste Spalte), für die nahe Zukunft (2021-2050, zweite und dritte Spalte – RCP4.5 und RCP8.5) und die fernere Zukunft (2071-2100, vierte und fünfte Spalte - RCP4.5 und RCP8.5). Die untere Hälfte der Abbildung beschreibt den Niederschlag in analoger Weise. Die betrachteten Einzugsgebiete und deren Unterteilung in Subregionen sind mit feinen schwarzen Linien gekennzeichnet.

Alle Ergebnisse, die sich auf die zukünftigen Temperaturen beziehen, sind von Zunahmen geprägt. Diese fallen im Mittel für die nahe Zukunft im Januar mit etwa +1°C aus. Für die fernere Zukunft ergeben sich je nach Szenario rund 2.5°C (RCP4.5) bzw. 4.3°C (RCP8.5). Die potentiellen Veränderungen im Juli sind geringer (siehe Abb. 4.2, unten). Das räumliche Muster der Erwärmung zeigt hohe Übereinstimmung zwischen den RCP Szenarien und auch zwischen den Prognosen für Januar und Juli. Tatsächlich sind die gezeigten Temperaturveränderungen für beide Einzugsgebiete ähnlich. Auch die Resultate für den Niederschlag zeigen für beide Szenarien sowie für Januar und Juli räumlich konsistente Muster, wobei sich der Januar deutlich vom Juli unterscheidet. Der Januar (in der nahen, wie der ferneren Zukunft) ist von Zunahmen geprägt, während der Juli im Vergleich dazu nur geringere Veränderungen (die zum Teil auch Abnahmen beinhalten) zeigt. Insgesamt ist beim Niederschlag der Unterschied zwischen naher und fernerer Zukunft, sowie zwischen den RCP Szenarien viel geringer als bei den simulierten Temperaturveränderungen. Auch das ist im Einklang mit den für Europa modellierten IPCC Ergebnissen.

Tabelle A1 (siehe Anhang) beschreibt die oben gezeigten Analysen und Ergebnisse im Detail. Dort sind nicht nur Veränderungen im Mittelwert und in der Streuung dargestellt, sondern auch asymmetrische Veränderungen der Verteilungen (unterhalb bzw. oberhalb des Medians) zu erkennen.

4.2.2 Landnutzungsszenarien

Die Landnutzung (LN) verändert sich kontinuierlich. In Westeuropa fanden die zwei größten Transformationen im Zeitraum 1950 bis 2010 statt, mit einem Wechsel von Grasland zu Wald, bzw. von landwirtschaftlichen Flächen hin zu Grasland (Fuchs et al., 2013). Auf den landwirtschaftlichen Flächen fanden Anpassungen an zukünftige klimatische Änderungen, wie etwa eine Diversifizierung der angebauten Feldfrüchte, ein Anbau neuer Feldfrüchte oder eine angepasste Bewirtschaftung (z.B. Bewässerung), sowie eine Anpassung der Anbaudaten statt (Mehdi, 2014; Olesen et al., 2011; Reidsma et al., 2010). Diese Entwickelungen machen es erforderlich, Landnutzungsszenarien ebenfalls in dieser Studie zu berücksichtigen. Im Rahmen des Projekts wurden für die beiden betrachteten Einzugsgebiete jeweils zwei konträre aber durchaus mögliche Landnutzungsszenarien entwickelt.

Die zwei entwickelten "Storylines" (Rounsevell and Metzger, 2010) bilden zum einen ein "Business-as-Usual" ab, bei dem die fortschreitende Intensivierung der landwirtschaftlichen Praktiken weiter in die Zukunft fortgeschrieben werden, zum anderen wird eine Extensivierung der Landwirtschaft berücksichtigt. In beiden Szenarien blieben die Waldflächen unverändert, lediglich Transformationen zwischen Feldfruchtanteilen, Grünlandflächen und urbanen Flächen fanden Eingang in die Szenarien.

4.2.2.1 Einzugsgebiet Raab

Historisch betrachtet war Mais mit einer Zunahme von 220% im Zeitraum 1970-2010 die Feldfrucht mit der stärksten Zunahme bzgl. Anbaufläche im Raab-Einzugsgebiet. Die Anbauflächen von Zuckerrübe und Wintergetreide reduzierten sich dagegen im selben Zeitraum um 10% bzw. 30%.

In der „Business-as-Usual"-Variante wurde dieser Trend mit einer Verdopplung der Maisanbauflächen bis zum Jahr 2071 fortgesetzt. Diese Zunahme soll die Verwendung von Mais als Energiequelle für die Biogasproduktion abbilden.

Aufgrund der Grundwasserschutzmaßnahmen in den anschließenden Gebieten des Leibnitzer Feldes, ist eine Reduktion der Feldfrüchte, die signifikant zum Eintrag von Nitrat ins Grundwasser beitragen, der Hauptfokus des extensiven Szenarios. Tabelle 4.1 zeigt die Transformationen welche in der intensiven sowie in der extensiven Betrachtung im Raab Einzugsgebiet durchgeführt wurden.

Tabelle 4.1: Transformationen zwischen Landnutzungen für die Szenarien "Business-as-Usual" und Extensiv. Die Anteile (bzw. äquivalenten Flächen in Hektar) beschreiben die prozentuellen Anteile der ursprünglichen Flächen deren Landnutzung in eine neue Landnutzung übergeführt werden.

"Business as usual" Szenario			Extensiv Szenario		
Von LN	Nach LN	Anteil/Fläche	Von LN	Nach LN	Anteil/Fläche
Ext. Grasland	Mais	75% / 8726ha	Mais	Ext. Grasland	27.5% / 3595ha
Zuckerrübe	Mais	80% / 2429ha	Mais	Leguminosen	27.5% / 3595ha
Leguminosen	Mais	70% / 419ha			
Winterweizen	Mais	30% / 557ha			

4.2.2.2 Einzugsgebiet Schwechat

Die Landnutzungsszenarien im Schwechat Einzugsgebiet wurden entlang der selben Entwicklungspfade wie sie sich im Raab-Einzugsgebiet abzeichnen entwickelt. Die Anteile der Feldfrüchte unterscheiden sich jedoch in den beiden Einzugsgebieten. Traditionell ist an der Schwechat der Weinbau dominant. Dies ist jedoch keine Kultur die schlagartig zunehmen wird. Daneben wird Weizen als häufigste Feldfrucht angebaut. Aufgrund des prognostizierten Bevölkerungszuwachses im Großraum Wien war bei der Szenarienentwicklung die Transformation von dünn besiedelten Gebieten zu dichtem Siedlungsraum, bzw. die Erschließung von Grünland ein wichtiger Faktor. Tabelle 4.2 gibt eine Übersicht über die in den jeweiligen Szenarien berücksichtigten Landnutzungsänderungen.

Tabelle 4.2: Transformationen zwischen Landnutzungen für die Szenarien "Business-as-Usual" und Extensiv. Die Anteile (bzw. äquivalenten Flächen in Hektar) beschreiben die prozentuellen Anteile der ursprünglichen Flächen deren Landnutzung in eine neue Landnutzung übergeführt werden.

"Business-as-Usual" Szenario			Extensives Szenario		
Von LN	Nach LN	Anteil/Fläche	Von LN	Nach LN	Anteil/Fläche
Urban, dünn	Urban, dicht	10% / 239ha	Winterweizen	Ext. Grasland	27.5% / 184ha
Ext. Grasland	Urban, dünn	15% / 361ha	Winterweizen	Leguminosen	27.5% / 184ha
Ext. Grasland	Winterweizen	20% / 481ha			

4.2.3 Szenarien in der Siedlungswasserwirtschaft

4.2.3.1 Beobachtungsdaten für punktuelle Einleiter

In der Vergangenheit wurden eine Vielzahl von Modellen aus Simulationsstudien von Abwassernetzen und Behandlungsanlagen (HSGSim, 2008) abgeleitet. Zuverlässige Prognosen von Emissionsbelastungen mit diesen Modellen erfordern jedoch oft schwer zu beschreibende Eingabeparameter. Insbesondere der Materialtransport sowie Umwandlung- und Abbauprozesse in Abwasserkanälen, Puffertanks und anderen spezifischen Anlagenschritten sind komplexe Themengebiete. Die Beschaffung von Emissionsdaten der Abwasser-Reinigungsanlagen (ARA) im Einzugsgebiet der Schwechat und Raab in einer detaillierten zeitlichen Auflösung war daher eine hohe Priorität im Rahmen des Projektes. Wenn möglich wurden alle verfügbaren Daten aus der Eigenüberwachung der Kläranlagen bezogen. In einigen Fällen musste jedoch auf die Emissionsdaten aus der Fremdüberwachung zurückgegriffen werden, die nur in einer geringen zeitlichen Auflösung verfügbar sind. Eine Übersicht über die Verfügbarkeit der kommunalen und industriellen Kläranlagendaten für die beiden Einzugsgebiete Raab und Schwechat ist in Tab. 4.3 dargestellt.

Tabelle 4.3: Verfügbare Datensätze für kommunale (>2.000 EW) und relevante industrielle Kläranlagen entlang der Flüsse Raab, Schwechat (d ... täglich / zweimal oder dreimal pro Woche, w ... wöchentlich, m ... monatlich, a ... jährlich, FÜ … Fremdüberwachung, EÜ … Eigenüberwachung).

Name der Anlage	Ausbau-größe EW /EW60 [1)]	Ablauf [m^3/d]	NO3-N/ Nges [mg/L]	PO4-P/ Pges [mg/L]	Auflösung	Verfügbarer Zeitraum
Alland (*Schwechat*)	10.000	d	d	d	Einzelwerte	2011-2016
Baden (*Schwechat*)	45.000	m	m	m	Mittelwerte	2005-2015
Heiligenkreuz (*Schwechat*)	4.500	m	m	m	Mittelwerte	2010-2012
Fehring	11.000	d	d	d	Einzelwerte	2012-2015
Feldbach-Raabau	35.000	d	w	m	Einzelwerte	11/2015
Fladnitz im Raabtal	12.000	d	w	m	Einzelwerte	2015-2015
Gleisdorf	32.000	d	w	w	Einzelwerte	2010-2015
Hatzendorf	2.700	m	m	m	Mittelwerte	2010-2015
Krottendorf-Preding	3.000	a [3)]	a [3)]	a [3)]	synthetisch	jährlich
Passail	11.000	m	m	m	Mittelwerte	2007-2016
Riegersburg	2.000	d	d	w	Einzelwerte	2006-2012
St. Kathrein am Offenegg	3.100	d	d	w	Einzelwerte	2006-2016
St.Margarethen an der Raab	5.200	m	m	m	Mittelwerte	2015
St.Ruprecht an der Raab	3.800	a	a	a	Mittelwerte	2005-2016
Tannhausen	2.500	d	w	w	Einzelwerte	2014-2016
Weiz	30.000	d	w	m	Einzelwerte	2005-2015
AGRANA Fruit Austria GmbH	Industrie	d	d	d	Einzelwerte (EÜ)	2005-2015
BOXMARK Leder/Feldbach	Industrie/ PRTR [2)]	d (2006-2007)	a [3)]	a [3)]	Einzelwerte (FÜ)	2005-2007
BOXMARK Leder/Jennersdorf	Industrie/ PRTR [2)]	d (2006-2007)	d	d	Einzelwerte (EÜ)	2007-2015

Fleischhof Raabtal GmbH	Industrie/ PRTR 2)	a 3)	a 3)	a 3)	Einzelwerte (FÜ)	2005-2007
Johann Titz Ges.m.b.H.	Industrie/ PRTR 2)	a 3)	a 3)	a 3)	Einzelwerte (FÜ)	2006-2007
WOLLSDORF Leder	Industrie/ PRTR 2)	a 3)	m	m	Einzelwerte (EÜ)	2007-2015

1) Einwohnerwert (EW), Die Zahl (60) drückt die tägliche BSB-Belastung eines Einwohners aus (1 EW = 60 g BSB/d).
2) Industrieanlage ist Teil des „European Pollutant Release and Transfer Registers" (E-PRTR), welches wichtige Umweltdaten dieser Anlage zur Verfügung stellt. Diese Daten sind jedoch nicht in vollem Umfang für externe Benutzer verfügbar.
3) Keine Daten vom Anlagenbetreiber verfügbar, Die Daten stammen aus dem wasserrechtlichen Bescheid (öffentlich verfügbar) und von der Bezirks-Wasserrechtsbehörde.

Berücksichtigt werden nur Anlagen mit einer Ausbaugröße größer 2.000 EW. Monatliche Daten (m) stellen häufig Mittelwerte dar, können aber auch einmal pro Monat erfasst worden sein. Basierend auf den Daten in Tab. 4.3 wurden mittlere jährliche Stofffrachten für die Einzugsgebiete Raab (Tab. 4.4) und Schwechat (Tab. 4.5) ermittelt und nach Einleitertypen kategorisiert. Die Qualität dieser Bilanzierung ist jedoch stark von der zeitlichen Verfügbarkeit der Beobachtungsdaten abhängig, liefert jedoch einen guten Überblick welche Einleiterkategiorien relevant sind. Dabei war die Stickstoff-Eliminationsrate aller betrachteten Kläranlagen besser, als in der jeweiligen Verordnung für die jeweilige Branche verlangt wird (BGBl. Nr. 210/1996, BGBl. Nr. 1078/1994, BGBl. II Nr. 10/1999, BGBl. II Nr 12/1999).

Tabelle 4.4: Durch Punktquellen verursachte mittlere Jahresfrachten von P (Gesamtphosphor) und N (Gesamtstickstoff, Nitrat-Stickstoff) in die Raab.

Kategorie	n	Pges [kg/a]	%	Nges [kg/a]	%	NO3-N [kg/a]	%
Kleingewerbe (industriell) ARA 1)	**53**	19	**0,2**	383	**0,2**	306	**0,1**
Kleinkläranlagen (ARA < 50 EW)	**685**	2.420	**22,8**	6.960	**3,1**	5.570	**2,8**
kommunale ARA 50 bis 2000 EW	**48**	615	**5,8**	4.830	**2,2**	3.864	**2,0**
kommunale ARA > 2000 EW	**13**	5.250	**49,4**	74.495	**33,4**	59.060	**30,1**
Relevante industrielle ARA	**6**	2.321	**21,8**	136.186	**61,1**	127.590	**65,0**
Summe		**10.626**	**100**	**222.855**	**100**	**196.389**	**100**

1) Nicht relevant hinsichtlich der P- und N-Emissionen, Sie wurden daher nicht berücksichtigt.

Die relevanten industriellen Kläranlagen verursachen fast 61% der gesamten N_{ges}-Fracht und 65% der NO3-N-Fracht. Rund ein Drittel der Stickstofffrachten stammt aus kommunalen Kläranlagen >2.000 EW, und nur 5% aus Kläranlagen <2.000 EW, ob ihrer großen Anzahl.

Tabelle 4.5 zeigt die Jahresfracht der Kläranlagen im Einzugsgebiet der Schwechat. Es befinden sich keine relevanten industriellen Kläranlagen und keine Kleinkläranlagen <50 EW im Einzugsgebiet. Fast die gesamte Fracht wird ausschließlich von den drei Kläranlagen >2.000 EW emittiert.

Tabelle 4.5: Durch Punktquellen verursachte mittlere Jahresfrachten von P (Gesamtphosphor) und N (Gesamtstickstoff, Nitrat-Stickstoff) in die Schwechat.

Kategorie	n	Pges [kg/a]	%	Nges [kg/a]	%	NO3-N [kg/a]	%
Kleingewerbe (industriell) ARA [1)]	**17**	-	**-**	-	**-**	-	**-**
kommunale ARA 50 bis 2000 EW	**13**	49	**1,4**	382	**0,8**	306	**0,8**
kommunale ARA > 2000 EW	**3**	3.393	**98,6**	45.694	**99,2**	39.842	**99,2**
Summe		3.441	**100**	46.076	**100**	40.148	**100**

1) Nicht relevant hinsichtlich der P- und N-Emissionen, Sie wurden daher nicht berücksichtigt.

4.2.3.2 Szenarien punktuelle Einleiter

<u>Einzugsgebiet Raab:</u>

Hinsichtlich der Entwicklung kommunaler Punkteinleiter wurde ein direkter Zusammenhang zur Bevölkerungsentwicklung angenommen. Hierzu wurden unterschiedliche Prognosestatistiken in unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung auf Landesebene auf Landesebene (bis 2100, Statistik Austria, 2016), Bezirksebene (bis 2075, Statistik Austria, 2015a) sowie auf Gemeindeebene (bis 2030, Amt d. Stmk Lreg, 2017, Amt d. Stmk Lreg, 2016, Amt d. Stmk Lreg, 2010) herangezogen. Aufgrund unterschiedlicher Entstehungszeitpunkte, Prognosezeithorizonte und räumlicher Betrachtung fallen die Prognosen der Bevölkerungsentwicklung unterschiedlich aus. Generell ist der Trend langfristig stabil, beziehungsweise leicht rückläufig. Tabelle 4.6 zeigt die Änderungen der Einwohnerzahl für die beiden Bezirke Weiz und Südoststeiermark in denen das Raab Einzugsgebiet liegt. Die für die kommunalen Einleiter relevanten Einwohnerwerte und den daraus berechneten NO3-N Frachten wurden um die prozentualen Änderungen der Bevölkerung korrigiert.

Tabelle 4.6: Entwicklung der Bevölkerung im Raab-Einzugsgebiet basierend auf der Regionalen Bevölkerungsprognose Steiermark 2015/16 (REF) bzw. der ÖROK Regionalprognose 2014 und der daraus resultierenden NO3-N Jahresfrachten aus kommunalen Abwässern.

Bezirk	Szenario RBP Steiermark (2016)			ÖROK Regionalprognose (2014)		
	Änderung	EW 2030	NO3-N [kg/a]	Änderung	EW 2100	NO3-N [kg/a]
Weiz	+7.7%	56.982	44.918	-2.0%	51.529	40.872
Südoststeiermark	+2.3%	32.296	16.537	-20.4%	25.117	12.868
Summe	+5.7%	89.278	61.455	-8.7%	76.646	53.740

Die im Raab-Einzugsgebiet präsente lederverarbeitende Industrie hat einen Anteil von 94% an der gesamten Stickstofffracht aller industriellen Einleiter (Tabelle 4.3). Daher ist für zukünftige Überlegungen zu industriellen Einträgen, dieser Industriezweig von großem Interesse. Es wurden daher zwei konträre, aber mögliche Szenarien für die Lederindustrie angenommen, die einer vollständigen Abwanderung der Lederindustrie bzw. die einer Ausweitung der Produktion.

Nach der Abwanderung eines lederverarbeitenden Betriebs verbleiben nur vier Industrieanlagen im Raab-Einzugsgebiet. Die NO3-N-Fracht aus industriellen Einleitern reduziert sich drastisch von 127.590 kg auf 31.667 kg pro Jahr. Der ursprünglich sehr dominante Einfluss der industriellen Einleiter reduziert sich in diesem Fall auf nur mehr 32% der gesamten NO3-N Frachten.

Die Erhöhung der Produktionsleistung der lederverarbeitenden Industrie wurde mit einer Zunahme in der Höhe von 30% und damit einer 30%igen Erhöhung der Abwasserfracht getroffen. Es wurde eine Abschätzung der Immission mit Hilfe einer Verdünnungsrechnung nach ÖWAV (2010) durchgeführt. Bei alleiniger Berücksichtigung des Parameters Nitrat könnten die Emissionen der derzeitigen Kläranlagen der lederverarbeitenden Industrie theoretisch verdoppelt werden. Wenn man jedoch nur die 30%ige Erhöhung der Abwasserfracht berücksichtigt, entspricht der dadurch resultierende Immissionswert von 4,2 mg NO3-N/L der Bandbreite des "guten Zustands" in diesem Gewässerabschnitt. Für den Parameter NH4-N beträgt der resultierende Wert 0,27 mg/L, der nur gering unter der Umweltqualitätsnorm liegt. Für den Parameter PO4-P ergibt sich ein theoretischer Immissionswert von 0,08 mg/L, welcher der aktuellen Immissionskonzentration am betrachteten Gewässerquerschnitt entspricht. Der Grund sind die geringen Abwasserfrachten von Phosphor von den Kläranlagen für die Lederindustrie. Es muss hier jedoch erwähnt werden, dass diese Annahme nur auf der Beurteilung der Immissionen der Nährstoffparameter N und P beruht. Tabelle 4.7 fasst die Szenarien der industriellen Einleiter zusammen.

Tabelle 4.7: Übersicht der NO3-N Jahresfrachten resultierend aus den beiden Szenarien einer Abwanderung eines lederverarbeitenden Betriebs bzw. dessen Ausbau der Produktion um 30%.

Betrieb	Absiedlung Lederindustrie		Ausbau Produktion	
	Änderung	NO3-N [kg/a]	Änderung	NO3-N [kg/a]
Agrana Fruit Austria GmbH	0.0%	1.029	0.0%	1.029
BOXMARK Leder/Feldbach	-100.0%	0	+30.0%	88.257
BOXMARK Leder/Jennersdorf	-100.0%	0	+30.0%	36.442
Fleischhof Raabtal GmbH	0.0%	292	0.0%	292
Johann Titz GmbH	0.0%	3.774	0.0%	3.774
WOLLSDORF Leder	0.0%	26.572	0.0%	26.572
Summe	-75.2%	31.667	+22.6%	156.366

<u>Einzugsgebiet Schwechat</u>

Die Bevölkerungsprognose bis 2075 (Statistik Austria, 2015a) zeigt einen stetigen Anstieg der Bevölkerung im Bezirk Baden. Aufgrund eines ähnlichen Trends im gesamten Bundesland Niederösterreich wird davon ausgegangen, dass die Bevölkerung in den betroffenen Gemeinden um durchschnittlich 32% bis 2100 ansteigt (Statistik Austria, 2016). Die Ablaufffracht aller kommunalen Kläranlagen >50 EW wurde mit diesen Prognosewerten modifiziert. Tabelle 4.8 zeigt die Veränderungen für die beiden relevanten Kategorien. Im Gegensatz zum Einzugsgebiet

der Raab müssen hier zwei kommunale ARAs >2000 EW durch eine Erweiterung oder den Zubau zusätzlicher Anlagenteile diese Mehrbelastung kompensieren.

Tabelle 4.8: Entwicklung der Bevölkerung im Schwechat-Einzugsgebiet bis 2100. Durch Punktquellen verursachte mittlere Jahresfrachten von P (Gesamtphosphor) und N (Gesamtstickstoff, Nitrat-Stickstoff).

Kategorie	n	Pges [kg/a]	%	Nges [kg/a]	%	NO3-N [kg/a]	%
kommunale ARA 50 - 2000 EW	**13**	64	**1,4**	505	**0,8**	404	**0,8**
kommunale ARA > 2000 EW	**3**	4,478	**98,6**	60.316	**99,2**	52.591	**99,2**
Summe		4.542	**100**	60.821	**100**	52.995	**100**

4.3 Fallstudien Raab und Schwechat

4.3.1 Wahl der Modelleinzugsgebiete

Das entwickelte Werkzeug *GUESS* zur Sensitivitätsanalyse wurde in zwei Fallstudien in den Einzugsgebieten der Flüsse Schwechat (Abb. 4.3a) und Raab (Abb. 4.3b) angewandt. Die beiden Einzugsgebiete wurden aufgrund ihrer guten Datenlage zur Gewässergüte ausgewählt. Die zeitlich hoch aufgelösten Zeitreihen für z.B. Nitratstickstoff gehen einerseits aus dem Langzeitmonitoring an der Raab (BMLFUW, 2015a; BMLFUW, 2015b), sowie aus einem Monitoring an der Schwechat im Rahmen des Projekts IMW3 (BMLFUW, 2013) hervor. Eine Übersicht der beiden Einzugsgebiete, ihrer Landnutzung, Punkteinleitern aus Industrie und Siedlungsräumen sowie den verfügbaren Messstellen ist in Abb. 4.3 gegeben.

Die beiden in der Studie betrachteten Einzugsgebiete Schwechat bis Guntramsdorf und der österreichische Teil der Raab sind repräsentative Beispiele für die Flusslandschaft der Ostregion Österreichs. Darüber hinaus ist das Raab-Einzugsgebiet aufgrund der dominant vorherrschenden Lederindustrie und der historisch gegebenen Umweltfolgen (Ruzicka et al., 2009) vom Gesichtspunkt punktueller Einleiter in dieser Studie sehr interessant.

Im Folgenden werden die Resultate der Sensitivitätsanalysen für die beiden Einzugsgebiete Raab und Schwechat dar- und gegenübergestellt, um generelle Schlüsse aus den Erkenntnissen ziehen zu können.

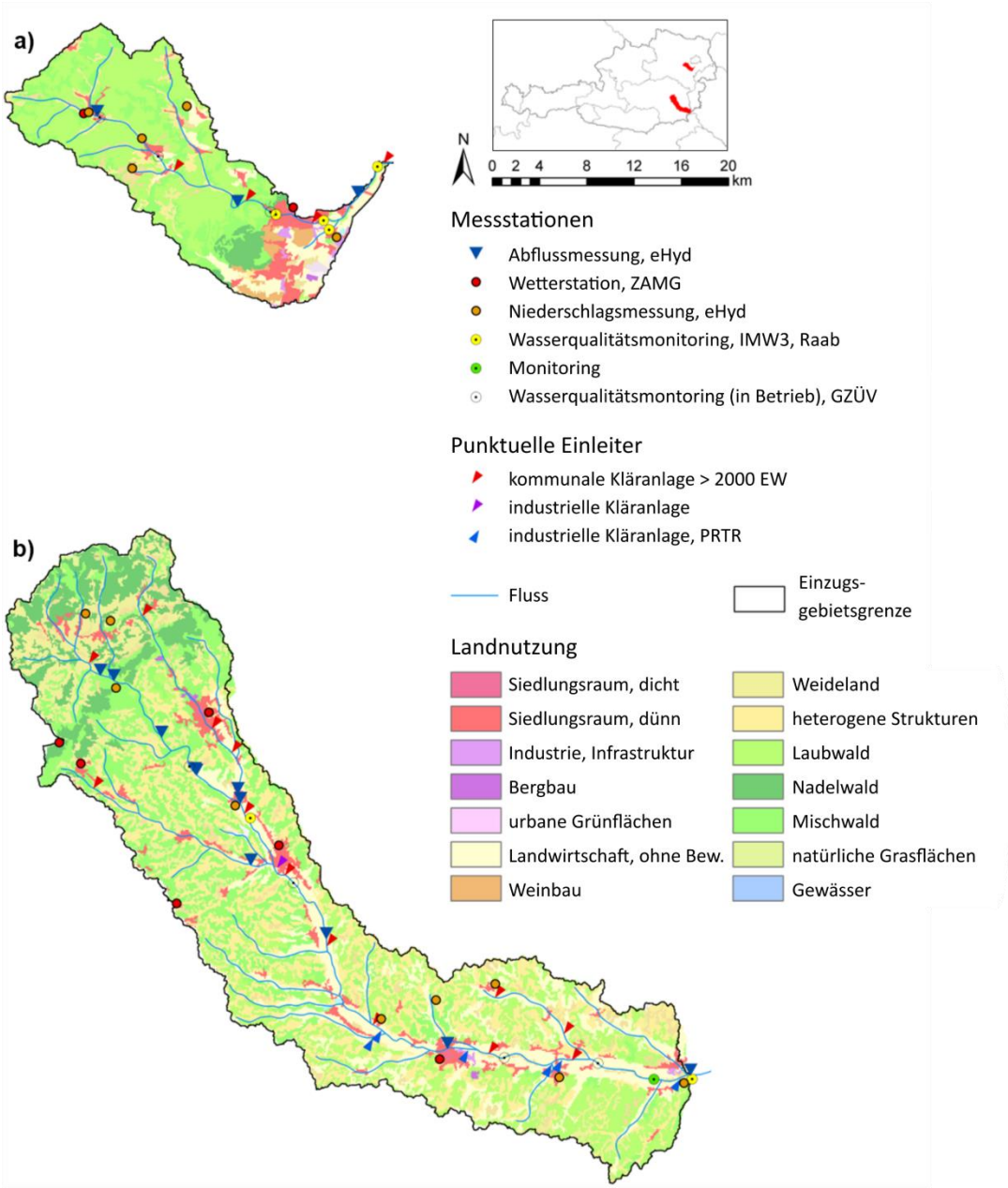

Abbildung 4.3: Übersicht über die Einzugsgebiete a) Schwechat und b) Raab.

4.3.2 Modelleinflussgrößen

Im Rahmen der Sensitivitäts-/Fallstudien für die Einzugsgebiete der Raab und der Schwechat wurden folgende Faktoren bzw. Einflussgrößen variiert und analysiert: Klimaszenarien, Landnutzungsszenarien, siedlungswasserwirtschaftliche Szenarien, unterschiedlich räumliche SWAT-Modell-Aggregierungen, sowie unterschiedliche Parameter-Datensätze. Wie in Kap. 4.2 beschrieben, wurden Szenarien für die ersten drei Einflussgrößen entwickelt und für die Einbindung in die SWAT-Modelle aufbereitet. Die in der Sensitivitätsstudie verwendeten Parametersets resultieren aus der Kalibrierung aller erstellten "Basis-SWAT-Modelle" und entsprechen Parameter-Kombinationen welche die Zielvariablen Abfluss und Nitrat-N Frachten durch Erreichen gewisser Qualitätskriterien gut abbilden konnten (equifinal). Tabelle 4.9 gibt eine Übersicht über Modelleinflussgrößen für die Einzugsgebiete Raab und Schwechat.

Tabelle 4.9: Zusammenfassung der in der Studie berücksichtigten Modelleinflussgrößen

Einflussgröße	Anzahl Zustände		Details zu Zuständen der Einflussgrößen
	Raab	Schwechat	
Klimaszenarien	**22**	**22**	11 RCP4.5, 11 RCP8.5 Läufe, Zeitraum: 2071 - 2100
Landnutzungsszen.	**2**	**2**	1 extensives, 1 intensives Szenario
Szenarien Siedlungs-wasserwirtschaft	**4**	**2**	Bevölkerung: starker/schwacher Zuwachs, Industrie Raab: Ausbau/Abwanderung
Modell Setup	**6**	**4**	Raab: 54, 30, 4 Subbasins inkl. HRU Reduktion, Schwechat: 14, 3, Subbasins inkl. HRU Reduktion
Parameter-Datensätze	**52**	**43**	Raab: KGE_Q[1)] > 0.6, KGE_N[1)] > 0.4 $pbias_N$[2)] < 50% Schwechat: KGE_Q[1)] > 0.5, KGE_N[1)] > 0.3 $pbias_N$[2)] < 50%

1) Kling Gupta Efficiency (Gupta et al. 2009), 2) Percentage bias (Gupta et al., 1999)

4.3.3 Sensitivitätsanalyse

Abbildung 4.4 zeigt die Ergebnisse aus der Anwendung von *GUESS* für die beiden Einzugsgebiete Raab (linke Spalte) und Schwechat (rechte Spalte). Zeilenweise sind die fünf betrachteten Modelleinflussgrößen Klimaszenarien, Landnutzungs-szenarien, Einflüsse aus Punktquellen, SWAT-Modell Aggregierungen und (equi-finale) Parameter-Datensätze aufgetragen. Die Sensitivität dieser Modelleinfluss-größen wurde für eine Vielzahl unterschiedlichster Zielvariablen untersucht welche in den einzelnen Grafiken in farblich unterteilte Gruppen zusammengefasst sind. Dies sind die Einflüsse auf die Abflussquantile (grün), Bemessungshochwässer (blau), saisonale Nitratstickstofffrachten (violett), Quantile von Nitratstickstoff-frachten (gelb) und Nitratstickstoffkonzentrationen bei unterschiedlich hohen Ab-flussereignissen (rot). Die aufgetragenen Balken der einzelnen Zielvariablen stellen relative Sensitivitäten dar und bilden für jede Zielvariable über alle Modell-einflussgrößen eine Summe von 1. Die Abbildung lässt daher keinen Rückschluss auf die absolut resultierenden Unsicherheiten einer entsprechenden Zielvariable in Abhängigkeit einer Modelleinflussgröße zu, sondern stellt die relativen Einflüsse der in der Analyse betrachteten Komponenten gegenüber. Die Abbildung von Ab-solutwerten der resultierenden Unsicherheiten ist für die Beispiele der monatlichen spezifischen Abflüsse und der Nitratfrachten im Raab-Einzugsgebiet weiter unten in Abb. 4.5 dargestellt. Die Darstellung der relativen Sensitivitäten in Abb. 4.4 bietet jedoch den Vorteil einerseits einen gesamtheitlichen Überblick darüber zu geben, welche der betrachteten Modelleinflussgrößen unter den gegebenen Rahmenbedingungen der durchgeführten Analyse große Wichtigkeit für alle Systemprozesse haben und andererseits lassen sich durch die Normierung der Sensitivitäten unterschiedliche Zielgrößen einfach vergleichen. Ein Vergleich der einzelnen in den Abbildungen aufgetragenen relativen Sensitivitäten erlaubt eine Aussage zu treffen, mit welchem Anteil die entsprechende Einflussgröße zu den Unsicherheiten in der Prognose der betrachteten Zielgröße beiträgt. Auf die ver-wendeten Methoden zur Berechnung der abgebildeten Sensitivitäten wird genauer in Kap. 6.1.2 eingegangen.

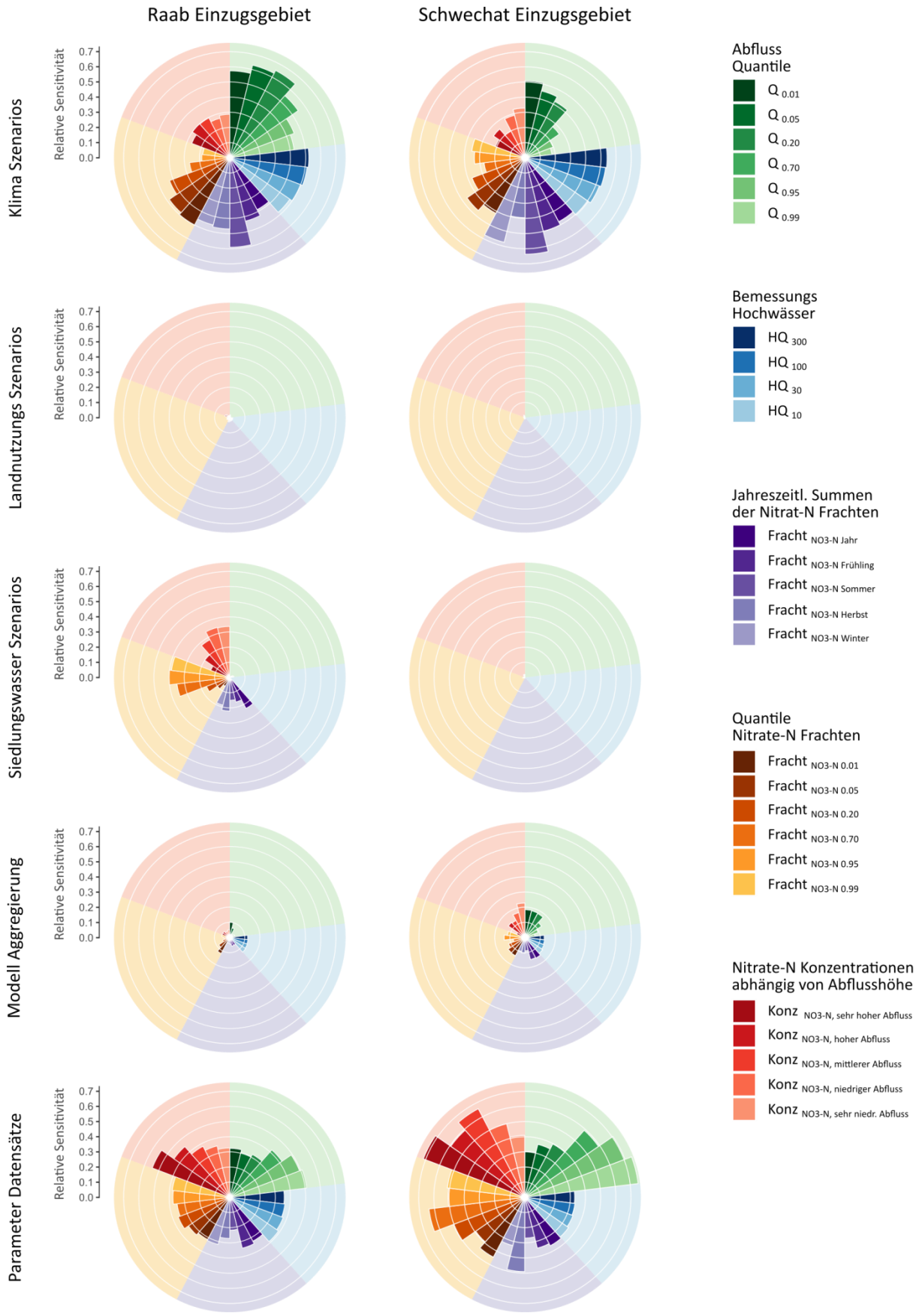

Abbildung 4.4: Resultate der Sensitivitätsanalyse für die Einzugsgebiete Raab (links) und Schwechat (rechts). Zeilenweise sind die Resultate der fünf betrachteten Modelleinflussgrößen aufgetragen. Die aufgetragenen Balken beschreiben die relative Sensitivität der jeweiligen Modelleinflussgröße in der jeweiligen Fallstudie für eine der analysierten Zielgrößen. Die Zielgrößen sind themenhaft gruppiert und farblich in Gruppen zusammengefasst.

Konsistent in beiden Fallstudien zeigen die Einflussgrößen Klimaszenarien und Parameter-Datensätze den bei weitem größten Einfluss auf alle betrachteten Zielvariablen. Die in der Studie betrachteten Landnutzungsszenarien hatten in der Form wie sie implementiert waren einen vernachlässigbar geringen Einfluss auf alle betrachteten Zielvariablen. Während der Einfluss der punktuellen Einleiter an der Schwechat äußerst gering war, hatten diese im Einzugsgebiet der Raab einen deutlichen Einfluss auf die Modellierung des Nitratstickstoff-Kreislaufs. Dies lässt sich jedoch durch die im Raab-Einzugsgebiet präsente Lederindustrie und die dafür abgeleiteten Szenarien erklären. Vor allem bei niedrigen Abflüssen und Stofffrachten nimmt die Bedeutung der Industrieeinleiter zu, da in diesem Fall die diffusen Einträge aus der Landwirtschaft fehlen und hauptsächlich punktuelle Einleitungen zu tragen kommen. Überraschend waren die sehr geringen Sensitivitäten die aus der Wahl der Wahl der SWAT-Modellstruktur (räumlichen Diskretisierung) resultierten. Für beide Fallstudien ist zwar ein Einfluss der Modellstruktur (räumlichen Diskretsierung) sichtbar, dieser ist jedoch relativ zu den anderen Einflussgrößen gering.

Bei Betrachtung der individuellen Zielvariablen lassen sich aus beiden Fallstudien konsistente Muster ableiten. Hohe Abflüsse aus beiden Einzugsgebieten wiedergegeben in den Abflussquantilen $Q_{0.01}$, $Q_{0.05}$ und $Q_{0.20}$, bzw. in Form der Bemessungshochwässer (in blau) weisen eine hohe Sensitivität für Klimaszenarien aus. Diese Prozesse sind stark vom Niederschlag getrieben und spiegeln hier die große mengenmäßige und zeitliche Variabilität der Niederschläge in den Klimaszenarien wieder. Für die Beschreibung von Niederwasserereignissen gewinnt die Parametrisierung der Modelle stark an Bedeutung, da die Wahl der Parameter hohe Relevanz für die Beschreibung von Speicherprozessen und des Basisabflusses aus den Einzugsgebieten hat. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für die Frachten des Nitratstickstoffs. Auch der Austrag von großen Nitratstickstofffrachten ist primär über diffuse Pfade aus der Landwirtschaft getrieben. Dies zeigt sich vor allem durch eine hohe Sensitivität der Klimaszenarien im Sommer, wo starke Niederschläge und das Aufbringen von Dünger zusammenspielen, bzw. im Einzugsgebiet der Schwechat auch im Winter, wo Winterweizen eine wichtige Rolle als Feldfrucht spielt. Die Nitratstickstoffkonzentrationen zeigen generell hohe Sensitivitäten für die Wahl der Modellparameter. Stoffkonzentrationen sind jedoch generell auf der gewählten räumlichen Skala eine schwer abzubildende Größe, was daher in großen Parameterunsicherheiten sichtbar wird.

Die in Abb. 4.4 gezeigten relativen Sensitivitäten der Modelleinflussgrößen verhalten sich konsistent mit entsprechenden Unsicherheitsbändern von Prognosen der abgebildeten Zielvariablen. Wie in Abb. 4.5 dargestellt, hat eine Reduktion bzw. differenzierte Betrachtung der möglichen Zustände einer Modelleinflussgröße einen stärkeren Effekt auf die resultierenden Unsicherheitsbänder der Prognosen wenn diese Modelleinflussgröße eine höhere Sensitivität aufweist. Am Beispiel des Raab-Einzugsgebiets zeigt Abb. 4.5 die Änderung der Unsicherheitsbänder für die Prognose des langjährigen mittleren monatlichen Gebietsabfluss, sowie der langjährigen mittleren monatlichen Nitrat-N Frachten bei Reduktion der Unsicherheiten in den Modelleingangsgrößen bzw. einer Betrachtung von Teilmengen der möglichen Zustände einer Modelleingangsgröße.

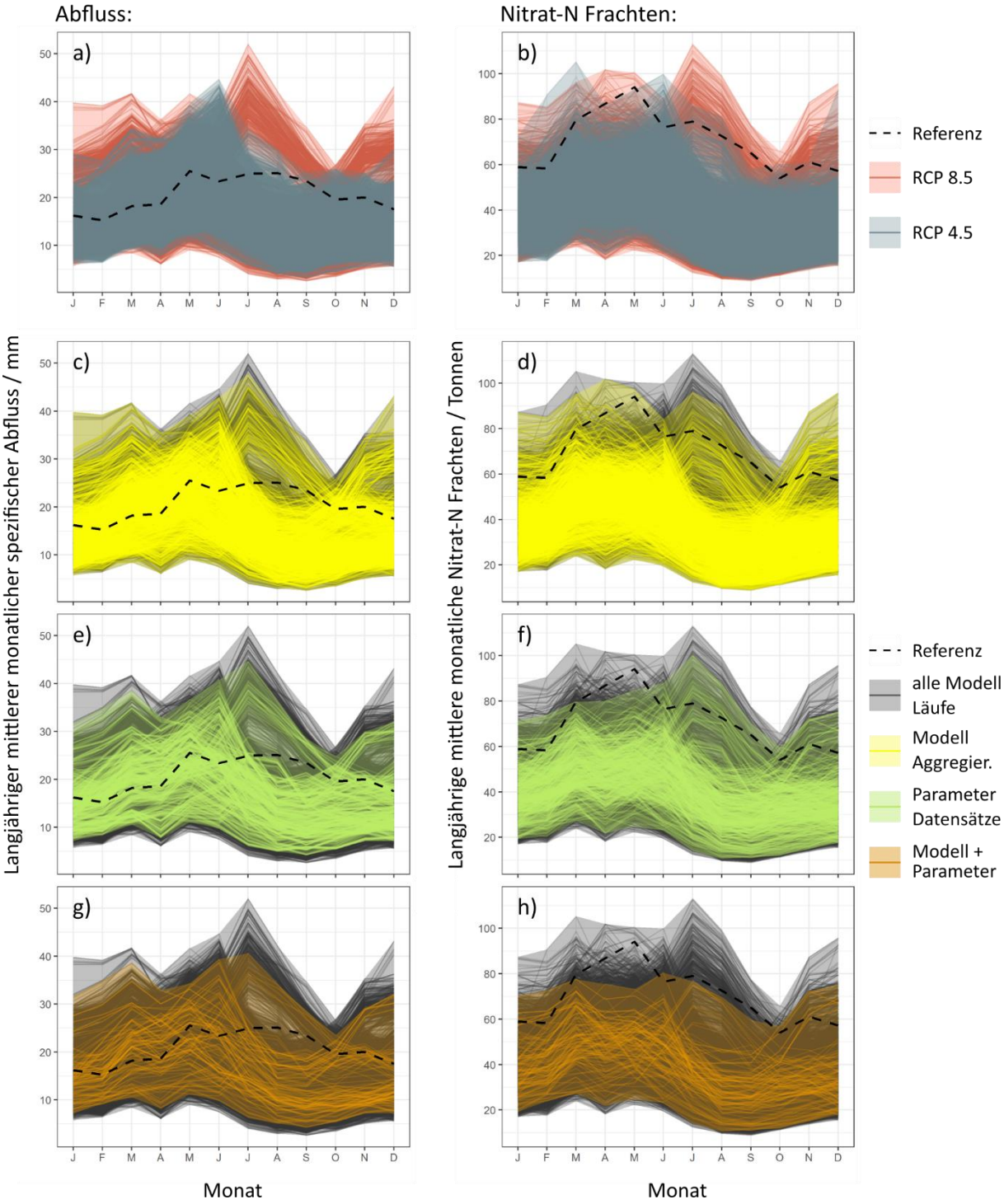

Abbildung 4.5: Langjähriger mittlerer monatlicher spezifischer Abfluss (links) und langjährige mittlere monatliche Nitrat-N Fracht (rechts) für das Einzugsgebiet Raab für den Zeitraum 2071 bis 2100. Die durchgezogenen Linien stellen die Simulationsresultate der individuellen Modellläufe dar. Die Farbgebung der Linien indizieren Gruppierungen der Modellläufe für alle Läufe in schwarz, nach RCP Szenarien (blau, rot), bei Berücksichtigung von nur zwei der ursprünglich sechs Modellstrukturen (gelb), einer reduzierten Zahl an Parameter-Datensätze die höhere Güte-Kriterien erfüllen (grün) und der Kombination aus Modellreduktion und eingeschränkten Parametersets (orange). Die gruppierten Modellläufe sind mit gleichfarbigen Bändern hinterlegt welche eine Einschränkung der Unsicherheiten durch Einschränkung der jeweiligen Modelleinflussgrößen darstellen. Die schwarz strichlierten Linien stellen zum Vergleich die besten Simulationsergebnisse für den historischen Kalibrierzeitraum (2003 – 2015) dar.

Der Einfluss einer Differenzierung in die beiden sozioökonomischen Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 wird in Abbildung 4.5 a) und b) gezeigt. Die individuellen Unsicherheitsbänder für RCP4.5 und RCP8.5 weisen große Bandbreiten auf. Diese können zum einen aus den unterschiedlichen GCM-RCM Kombinationen resultieren, die von diesen sozioökonomischen Szenarien angetrieben werden, aber auch aus der Variation der anderen Modelleingangsgrößen, die hier berücksichtigt sind, stammen. Generell weisen die Modellläufe auf Basis von RCP8.5 Szenarien eine größere Variabilität auf, die vor allem zu höheren Abflüssen und Nitrat-N Austrägen in den Sommer- und Wintermonaten führen kann.

Der dargestellte Einfluss der unterschiedlichen Modellaggregierungen in Abb. 4.4 war für alle betrachteten Zielvariablen sehr gering. Die Abb. 4.5 c) und d) zeigen für den mittleren monatlichen Abfluss sowie den Nitrat-N Austrag aus dem Einzugsgebiet ein ähnliches Bild. Eine Reduktion der betrachteten Modellaggregierungen von den ursprünglich sechs betrachteten Modellen auf zwei, führte nur zu einer sehr geringen Reduktion in den resultierenden Unsicherheitsbändern. Lediglich die extremen Spitzen in den Nitrat-N Frachten in den Sommermonaten treten bei den gewählten Modellen nicht auf.

Eine stärkere Reduktion der Unsicherheiten in den prognostizierten Abflüssen und Nitrat-N Frachten ist jedoch bei einer restriktiveren Auswahl der Parameter-Datensätze möglich. Die in Abb. 4.5 e) und f) in Grün dargestellten Modellläufe erfüllen strengere Gütekriterien für Abfluss und Nitrat-N Frachten ($KGE_Q > 0.65$, $KGE_N > 0.5$ und $pbias_N < 50\%$) als die ursprünglich selektierten. Dies führt zu einer Reduktion von ursprünglich 54 auf 14 "guter" Parameter Datensätze. Die Modelle welche nur diese 14 Parameter Datensätze verwenden weisen eine deutlich schmälere Unsicherheitsbandbreite auf. Sowohl die Extrema im Frühjahr und Sommer für Abfluss und Nitrat-N Frachten werden deutlich reduziert, aber auch sehr niedrige Simulationen des Abflusses kommen in diesen selektierten Modellläufen nicht mehr vor.

Die Modelleinflussgrößen Modellaggregierung und Parameter-Datensätze weisen jedoch einen gewissen korrelativen Zusammenhang auf, der vor allem in Abb. 4.5h) erkennbar ist. Eine gleichzeitige Reduktion der betrachteten Modelle aus Abb. 4.5 d) sowie der reduzierten Auswahl an Parameter-Datensätzen (Abb. 4.5 f)) führte zu einer verstärkten Einschränkung des Unsicherheitsbandes in der Prognose von Nitrat-N Frachten. Dies ist vor allem für die Monate März bis August deutlich erkennbar. Alle anderen Modellaggregierungen, die z.B. im grünen Unsicherheitsband in Abb. 4.5 f) dargestellt sind und für Abb. 4.5 g) und h) nicht selektiert wurde, müssen jedoch als gleichwertige Repräsentation des Raab Einzugsgebiets betrachtet werden. Vom Standpunkt der durchgeführten Analysen kann keines der verwendeten Modelle als besser gegenüber den anderen betrachtet werden. Das heißt die für Abb. 4.5 g) und h) Selektion ist auf keinen Fall als Strategie zur Reduktion der Prognoseunsicherheiten zulässig und soll nur den starken Zusammenhang von Modellstrukturen und deren Parametrisierung aufzeigen.

In allen Abbildungen wurde zusätzlich zu den Unsicherheitsbändern die langjährigen mittleren monatlichen Abflüsse und Nitrat-N Frachten für den Zeitraum

2003 – 2015 als Referenz (strichliert) aufgetragen. Der Abfluss zeigt im Vergleich zur Historie tendenziell stärkere Zunahmen für Winter und Frühjahrsabflüsse, bzw. für die Sommermonate und dies vor allem für Klimaszenarien mit dem sozioökonomischen Szenario RCP8.5. In der Studie gab es jedoch auch eine Vielzahl an Modellkonfigurationen welche eine starke Reduktion der Abflüsse prognostizieren. Sehr überraschend fällt der Vergleich zur Historie für die Nitrat-N Frachten aus. Hier weist die Mehrheit aller Modellläufe durchwegs deutlich geringere Nitrat-N Frachten im Vergleich zur Historie aus. Eine mögliche Erklärung dafür könnte durch die Änderungen der jährlichen Tagesmitteltemperaturen und Jahresniederschläge der Klimaszenarienläufe gegeben sein. Wie in Abb. 4.6 dargestellt prognostizieren alle Szenarien einen Anstieg der Tagesmitteltemperaturen. Fast zwei Drittel der Klimaszenarien prognostizieren zusätzlich eine Abnahme der Jahresniederschläge, was auch in der linken Spalte in Abb. 4.5 mit der großen Zahl an Simulationen erkennbar ist, die unter der Simulation des historischen Referenzzeitraums liegen. Erhöhte Pflanzenproduktivität durch höhere Temperaturen und daraus resultierende verstärkte Nährstoffaufnahme, bzw. Evapotranspiration, zusammen mit geringeren Niederschlägen könnten die gezeigten Resultate erklären. Jedoch ob dies ein Effekt ist, der sich real einstellen würde, oder ob die Ursache in einer Systematik im Modellsetup beziehungsweise in den grundlegenden formalen Ansätzen, welche im SWAT Modell implementiert sind liegt, lässt sich mit der durchgeführten Arbeit nicht beantworten. Eine detaillierte Sensitivitätsanalyse der Prozesse welche den Nitratkreislauf beschreiben und deren Effekt auf die resultierenden Nitrat-N Frachten wären zur Beantwortung dieser offenen Frage hochgradig relevant. Diese Fragestellung sollte in jedem Fall Gegenstand weiterführender Arbeiten sein.

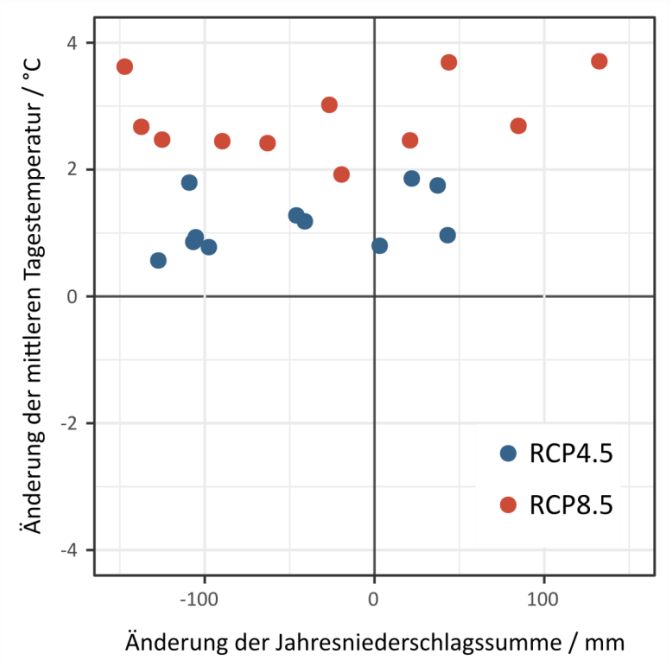

Abbildung 4.6: Änderungen in der langjährigen mittleren Tagestemperatur und der langjährigen mittleren Jahresniederschlagssumme der verwendeten regionalen Klimaprojektionen gegenüber der historischen Periode 1971 bis 2000.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Basierend auf den anfangs gestellten Projektzielen und den im vorigen Kapitel präsentierten Projektergebnissen leiten wir die hier dargestellten Schlussfolgerungen ab und versuchen Empfehlungen für künftige Studien in diesem Themenkomplex bereitzustellen. Daran anschließend diskutieren wir in welchen konkreten Bereichen wir basierend auf die Ergebnisse dieser Studie weiteren Forschungsbedarf sehen.

5.1 Bereitstellung einer großen Bandbreite an Klimaszenarien für Österreich in hoher räumlicher Auflösung

Ein zentraler Arbeitsschritt von UnLoadC³ bestand in der Entwicklung und Bereitstellung einer großen Bandbreite möglicher zukünftiger klimatischer Entwicklungen auf hochaufgelöster regionaler Skala. Aus der EURO-CORDEX Initiative standen insgesamt 11 regionale Klimaprojektionen zur Verfügung welche mit den aktuellen sozioökonomischen Szenarien in Form der RCPs angetrieben werden. Mittels statischem "Downscaling" und "Bias-Korrektur" war es im Rahmen des Projekts möglich die regionalen Klimaprojektionen auf einer für die anschließende Klimafolgenanalyse operativ sinnvolle räumlichen Auflösung von 1x1km bereit zu stellen.

Die entwickelten Klimaprojektionen umfassen jeweils 11 RCP4.5- und RCP8.5-basierte regionale Klimaprojektionen in 1x1km Auflösung, für die Ostregion Österreichs in der die beiden Einzugsgebiete Raab und Schwechat liegen. Die Klimaszenarien umfassen die Zeiträume 1971-2000 als Referenz, die nahe Zukunft: 2021 – 2050 und die ferne Zukunft: 2071-2100.

Der Vergleich der Referenzzeiträume der räumlich hoch aufgelösten Szenarien mit historischen Daten (SPARTACUS für Temperatur und GPARD für Niederschlag) zeigen eine gute Übereinstimmung, wobei die Abweichungen für die Niederschlagsfelder deutlicher ausfallen. Um systematische Abweichungen zwischen Modelldaten und Beobachtungen zu korrigieren, wurden statistische Fehlerkorrekturansätze angewendet. Mit der sogenannten "Quantile Mapping Methode" wurden die mit dynamischem Downscaling produzierten Fehler der täglichen Mittelwerte, Minima und Maximalwerte der Temperatur, sowie die der täglichen Niederschlagssummen reduziert. Die Bias-Korrektur brachte eine Verbesserung der Übereinstimmung von Klimaszenarienläufen und Beobachtungszeitreihen.

Die simulierten Temperaturen nehmen in allen sozioökonomischen Szenarionen und betrachteten regionalen Klimaprojektionen zu. Im Szenario RCP8.5 ist gegen Ende des 21. Jahrhunderts der Temperaturanstieg über den Flußeinzugsgebieten markanter (+3.6°C) als im Szenario RCP4.5 (+1.9°C). Die Erwärmung über den Flußeinzugsgebieten scheint sich geringfügig schwächer auszuprägen als im übrigen untersuchten Gebiet. Die projizierten Temperaturänderungen sind generell im Winterhalbjahr ausgeprägter als in den Sommermonaten.

Während die prognostizierte Temperaturzunahme über den betrachteten Zeitraum beschleunigt verläuft, ist beim Niederschlag für beide Szenarien in beiden Flußeinzugsgebieten in naher sowie in ferner Zukunft nur mit einer leichten Zunahme im mittleren Jahresniederschlag zu rechnen.

5.2 Bereitstellung unterschiedlicher Nährstoff-Emissionsszenarien

Der ursprüngliche Fokus des Projekts UnLoadC³ bezogen auf Nährstoff-Emissionsszenarien (auch resultierend aus der Zusammensetzung des Projektkonsortiums) lag auf den Einträgen aus punktuellen Einträgen aus der Siedlungswasserwirtschaft. In den in Österreich generell sehr landwirtschaftlich geprägten Flusseinzugsgebieten haben jedoch diffuse Stoffeinträge in die Fließgewässer (die vorwiegend aus landwirtschaftlichen Aktivitäten herrühren) eine große Relevanz. Daher wurde bei der Szenarienentwicklung in den beiden durchgeführten Fallstudien der Gewässer Raab und Schwechat Rücksicht sowohl auf die landwirtschaftliche als auch auf die siedlungswasserwirtschaftliche Entwicklung genommen.

Für die Prognose der Entwicklungen in der Landwirtschaft kamen lediglich Informationen zu Trends des flächenmäßigen Anbaus bestimmter Feldfrüchte in der Vergangenheit zu tragen. Diese Trends wurden in die Zukunft weiter extrapoliert und daraus Szenarien abgeleitet. Ziel der Landnutzungsszenarien war es extreme Entwicklungen hin zu extensivem, bzw. intensivem Handeln abzubilden, die prognostizierten Entwicklungen jedoch in einem realistischen Rahmen zu halten. Ökonomische Entwicklungen, bzw. drastische Änderungen der landwirtschaftlichen Methoden, welche z.B. einen signifikanten Einfluss auf die Düngung und dessen Eintrag in die Gewässersysteme haben könnte, wurden in den sehr einfach gehaltenen Szenarien außer Acht gelassen.

Generell war der äußerst geringe relative Einfluss der Landnutzungsszenarien in beiden Fallstudien ein überraschendes Ergebnis dieser Studie, da es ein großes Anwendungsgebiet des SWAT Modells ist, den Effekt von Landnutzungsänderungen auf Umweltsystemgrößen zu analysieren. Methodisch (in der Art und Weise wie Landnutzungsänderung in der Simulation berücksichtigt wird) unterscheiden sich andere Studien nicht wesentlich von dieser. Jedoch werfen die vorliegenden Resultate die Frage auf, ob die Form der Repräsentation von Landnutzungsszenarien systematisch überdacht werden sollte, da die verwendeten Landnutzungsszenarien nicht weit genug ins Detail gegangen sind und zusätzlich Modifikationen der landwirtschaftlichen Praktiken absolut erforderlich sind, oder tatsächlich der relative Einfluss der Landnutzung in Relation zu den anderen betrachteten Einflussgrößen derart gering ist.

Der Einfluss der punktuellen Einträge ist vor allem bei niedrigen Abflüssen im Fließgewässer und hier besonders für ökologische Fragestellungen (Eutrophierung) relevant. Dies ist deutlich aus den Ergebnissen der Fallstudie an der Raab erkennbar, da in dieser Studie punktuelle Emittenten kontinuierlich wesentliche Stoffeinträge beitragen und diese demnach bei niedrigen Abflüssen (und geringerem

Verdünnungseffekt) stärker zu tragen kommen. Die technologischen Entwicklungen und damit ein möglicherweise völlig anderer und zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschätzbarer Umgang mit Abfällen aus Siedlungsräumen ist nur schwer zu prognostizieren. Bei der Entwicklung der Punkteinleiter-Szenarien wurde daher ein starker Bezug zu demografischen Entwicklungen hergestellt und die Abschätzungen basieren auf dem aktuellen technologischen Stand. Somit wurde lediglich die Änderung der punktuellen Einträge aus Siedlungsgebieten in Abhängigkeit der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung abgeschätzt, sowie mögliche Entwicklungen der Produktion großer industrieller Betriebe von einer Steigerung der Produktion bis hin zur kompletten Absiedlung betrachtet.

In den eher landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten Raab und Schwechat, die in den beiden Fallstudien betrachtet wurden, sind die dominanten Nährstoffeintragspfade primär aus diffusen Quellen und daher stark an Niederschlags-Abflussprozesse gekoppelt. Der Einfluss der punktuellen Einträge aus den Siedlungsräumen war in den Fallstudien sehr gering und ein Effekt der betrachteten Szenarien in der Form wie sie in dieser Studie berücksichtigt wurden relativ zu den anderen betrachteten Einflussgrößen vernachlässigbar. Industrielle Punkteinleiter hingegen, vor allem wenn es sich branchenbedingt um Abwässer mit sehr hohen Nährstoffkonzentrationen handelt, können in integralen Betrachtungen wie dieser Studie eine wesentliche Rolle spielen.

In Anbetracht der sehr aufwändigen Datenakquise, vor allem von zeitlich hochaufgelösten Daten, ist vorab eine überschlägige Bilanzierung der relevanten Eintragspfade absolut empfehlenswert. Falls, wie etwa im Fall der Studie an der Schwechat, die Einträge durch punktuelle Einleiter sehr gering sind, sollten diese mit einfach Ansätzen abgeschätzt werden. Im Fall der Raab wo ein relevanter Industriezweig einen Großteil der punktuellen Nährstoffemissionen beiträgt, sollte der Fokus auf die Entwicklung dieses Emittenten gelegt werden.

5.3 Bereitstellung und Anwendung eines Verfahrens zur globalen Sensitivitätsanalyse

Mit dem hier vorgestellten Verfahren zur Unsicherheiten- und Sensitivitätsanalyse *GUESS* wurde ein Werkzeug entwickelt, mit welchem man flexibel den Einfluss von einzelnen Modellparametern bis hin zu kompletten Modellbausteinen für Prognosen von Wasser- und Stoffkreislaufkomponenten analysieren kann. Im Rahmen der projektspezifischen Fragenstellung wurde die Methode auf des Umweltsystemmodell SWAT zugeschnitten, ließe sich aber einfach auf andere Modellanwendungen ausweiten. Mit dem R Paket SWATpasteR wird das entwickelte Verfahren frei verfügbar einer großen „Community" an Modellierern bereitgestellt.

Die Anwendung des Verfahrens in den beiden Fallstudien an den Fließgewässern Raab und Schwechat zeigt die Potenziale einer umfangreichen Sensitivitätsanalyse auf und lässt zumindest aus diesen beiden durchgeführten Fallstudien folgende konsistente Schlüsse zu:

Die Wichtigkeit der Berücksichtigung einer großen Bandbreite an GCM-RCM Kombinationen in den verwendeten Klimaszenarien ist für alle betrachteten Zielvariablen

des Wasser- und Nitrat-N-Kreislaufs deutlich in beiden Studien ersichtlich. Unabhängig von den gewählten sozioökonomischen Szenarien führen die verschiedenen GCM-RCM Kombinationen zu deutlich unterschiedlichen Aussagen für die betrachteten Zielvariablen und respektive zu großen Unsicherheitsbandbreiten. Weiters hat die Wahl der sozioökonomischen Szenarien in Form der Representative Concentration Pathways (RCPs) einen deutlichen Effekt auf die Extremwerte der Prognosebandbreite. Daher sollte in jedem Fall eine Bandbreite unterschiedlicher RCP-Szenarien in derartigen Studien Beachtung finden.

Die entwickelten Landnutzungsszenarien hatten in der implementierten Form sowohl in absoluten Zahlen aber vor allem auch relativ zu den anderen berücksichtigten Einflussgrößen für alle betrachteten Zielvariableneinen äußerst geringen Effekt. Dieses Ergebnis wirft die Frage der Ursache auf (wie bereits weiter oben dargestellt) und sollte Gegenstand weiterer Arbeiten sein.

Die in den beiden Fallstudien berücksichtigten Änderungen für kommunale Abwässer zeigen einen ähnlich geringen relativen Einfluss wie die Landnutzungsszenarien. Lediglich die Entwicklung großer Emittenten zeigte einen Einfluss auf Nitrat-N Frachten sowie Konzentrationen. Auf den Abfluss hatten die industriellen Einleiter jedoch keinen Einfluss, da eher die hohen Stoffkonzentrationen als die Menge des Abwassers hier zu Tragen kommt. Wie oben bereits angedeutet kann eine Bilanzierung punktueller Einleiter zur Identifikation relevanter Emittenten eine große Hilfestellung für detaillierte Analysen sein.

Die wohl aktivsten "Stellschrauben" in der Umweltsystemmodellierung sind, abgesehen vom gewählten Modell, der räumliche Detailgrad mit dem man versucht die Realität abzubilden (was jedoch einen direkten Einfluss auf die Rechenzeit hat) und die Parametrisierung des Modells. Hier zeigten beide Fallstudien einen überraschend geringen Einfluss der gewählten Modellstruktur auf die Prognose von Wasser- und Stoffkreislaufkomponenten, jedoch eine sehr große Sensitivität der Parametrisierung dieser Modelle. Ein deutlicher Unterschied dieser beiden Einflussgrößen war für alle betrachteten Zielvariablen deutlich. Die beispielhafte Darstellung der Unsicherheitsbänder für mittleren monatlichen Abfluss und Nitrat-N Frachten zeigt darüber hinaus, das durchaus größere Potential der Reduktion von Prognoseunsicherheiten durch eine bessere Parametrisierung gegenüber der Wahl der räumlichen Modellstruktur. Besonders deutlich wird aber auch der Starke Zusammenhang der Modellstruktur und der Parametrisierung, da eine gemeinsame Betrachtung die Unsicherheitsbänder in den Prognosen wesentlich stärker einschränken konnte als jede der individuellen Betrachtungen. Die dargestellten Ergebnisse gelten unserer Ansicht nach nur für flächenintegrale Größen wie Abfluss und Nitrat-N Frachten am Gebietsauslass eines Flusseinzugsgebietes. Völlig andere Verhältnisse können für kleinräumig betrachtete Variablen gelten. Für Analysen wie die hier dargestellte kann man jedoch schließen, dass die Wahl eines rechneffizienten Modells mit großen Augenmerk auf eine gute Parametrisierung dieses Modells empfehlenswert ist.

5.4 Weiterführende Fragenstellungen

Mit der vorliegenden Studie ziehen wir Schlüsse aus den Erkenntnissen zweier Fallstudien. Um generellere Rückschlüsse anstellen zu können ist es wichtig, die entwickelten Methoden auf weitere Einzugsgebiete und Fallstudien anzuwenden. In weiteren Studien sollte der Fokus insbesondere auch auf folgende Punkte gelegt werden:

Für die Entwicklung von Landnutzungsszenarien sollen detailliertere Betrachtungen angestellt werden. Vor allem ökonomische Entwicklungen sowie Änderungen in landwirtschaftlichen Praktiken sollten mitberücksichtigt werden. Ausgehend vom geringen relativen Einfluss der Landnutzungsszenarien in dieser Studie wäre eine systematische Analyse der Ursache relevant, um möglicherweise Strategien ableiten zu können, wie die Änderung der Landnutzung am besten in der Umweltsystemmodellierung implementierbar ist.

Im Zusammenhang mit dieser Frage wäre auch eine Analyse der starken Reduktion von Nitrat-N Frachten interessant, wie sie im Fall der Raab in Abb. 4.5 erkennbar ist. Für weitere ähnliche Studien wäre interessant zu klären ob die Ursache für die gezeigten Resultate in systematischen Fehlern in dieser Studie, in der modellhaften Umsetzung im SWAT Modell, oder vielleicht wirklich in möglichen realen Effekten liegt.

C) Projektdetails

6 Methodik

6.1 Entwicklung des *GUESS* - Verfahrens

6.1.1 Entwicklung und Umsetzung von *GUESS*

Der Workflow von *GUESS* wurde wie bereits dargestellt in der Skriptsprache R (R Core Team, 2017) entwickelt und wird als R Paket SWATpasteR (Schürz et al., 2017) für weitere Anwendungen frei zur Verfügung gestellt. Aufgrund des gegebenen Projektbezugs wurde das Verfahren auf die Eingangs- und Zielgrößen des Umweltsystemmodells SWAT angepasst, bietet jedoch die Möglichkeit, die bereitgestellte Funktionalität für andere Modellanwendungen zu erweitern.

Abgesehen vom relativ neuen Ansatz der GSA der ausführlicher in Kap. 4.1 beschrieben ist, bietet das R-Paket auch Methoden zur klassischen GSA von kontinuierlichen Modellparametern an, wie z.B. Methode nach Sobol (Sobol, 1993) oder neuere Methoden wie STARVARS (Razavi und Gupta, 2016a; Razavi und Gupta, 2016b), sowie Methoden zur SWAT-Modell-Kalibrierung an.

6.1.2 Verwendete Methoden in den Fallstudien Raab und Schwechat

6.1.2.1 Erstellen der Basis-SWAT-Modelle

Zur Modellierung des Abflusses und der Nitrat-N Frachten aus den Einzugsgebieten Raab und Schwechat wurde das SWAT Modell (SWAT 2012, Rev. 622) verwendet. SWAT wird für eine Vielzahl hydrologischer und ökologischer Fragestellungen weltweit in einer großen Bandbreite an Einzugsgebieten und Klimadaten eingesetzt (Gassman et al., 2007). Mit der Wahl dieses Modells wird sichergestellt, dass die Erkenntnisse aus dieser Studie eine möglichst große und relevante Nutzergruppe erreicht.

SWAT ist ein räumlich semi-verteiltes Modell und verwendet als kleinste Berechnungseinheit Flächen gleicher hydrologischer Eigenschaften (sogenannte „Hydrological Response Units", HRUs). HRUs werden durch eine Überlagerung von räumlichen topografischen Daten, Landnutzungskarten und Bodenkarten gebildet. Das Modell wird mit meteorologischen Daten, wie Niederschlag und Minimum- und Maximum Temperatur auf Tagesbasis angetrieben. Zur Beschreibung von Nährstoffeinträgen in das Modellsystem sind räumlich und zeitlich verteilte Daten zu landwirtschaftlicher Praxis sowie punktuelle Einträge durch Siedlungsräume gefordert. Tabelle 6.1 gibt einen Überblick über die in dieser Studie verwendeten Modelleingangsdaten zur Erstellung der Basismodelle.

Um den Einfluss der räumlichen Modellaggregierung in der Studie zu berücksichtigen, wurden SWAT-Modelle mit unterschiedlicher Anzahl an Teileinzugsgebieten sowie HRUs für die Schwechat und die Raab aufgesetzt. Um eine gewisse Konsistenz zwischen den beiden unterschiedlich großen Gebieten und der räumlichen Auflösung der Eingangsdaten zu gewährleisten, wurde darauf geachtet, die

Flächen der Subeinzugsgebiete für Raab und Schwechat bei der jeweiligen Aggregierung ähnlich groß zu halten. Dies resultiert in Modellen mit 54, 30 und 4 Teileinzugsgebieten für die Raab und nur 14, bzw. 3 Teileinzugs-gebieten für die Schwechat.

Tabelle 6.1: Übersicht der Eingangsdaten zur Erstellung der Basis SWAT Modelle die in weiterer Folge in der Sensitivitätsstudie verwendet wurden.

Eingangsgröße	Quelle	Aufbereitung / Eigenschaften
Topografie	data.gv.at DGM Österreich (Geoland.at, 2015)	Digitales Geländemodell für Österreich in 10x10m Auflösung aus flugzeuggestützten Laserscans
Landnutzung	CORINE Landcover (EEA, 2015), Agrarstrukturerhebung 2010 (Statistik Austria, 2015b)	Basis CORINE Landnutzung, Landwirtschaftlich ausgewiesene Flächen überlagert mit statistischen Daten der Agrarstrukturerhebung 2010.
Boden	soilgrids.org (Hengl et al., 2017), euptf (Toth et al., 2015)	Basis soilgrids Layer in 250x250m Auflösung in 7 Bodentiefen und mehrerer physikalischer Eigenschaften, Weitere benötigte Parameter wurden mit Pedotransferfunktionen (R Paket euptf) ermittelt. Die resultierenden Daten wurden über die Tiefe aggregiert und über die Fläche „geclustert".
Meteorologie	INCA (Haiden et al., 2009)	Rasterdaten in 1x1km Auflösung auf Subtages-basis. Räumliche Aggregierung für SWAT-Modell Teileinzugsgebiete, sowie zeitliche Aggregierung auf Tagesbasis wurde in R durchgeführt.
Landwirtschaftl. Praktiken	Statistik Austria (2015b), LAKO (2015),	Informationen aus Agrarstrukturerhebung und landwirtschaftlichen Feldversuchen wurden akquiriert und generelle Praktiken daraus abgeleitet.

Um SWAT-Modelle recheneffizient zu gestalten, werden HRUs mit sehr kleiner Fläche aus den Modellen entfernt und anderen HRUs flächengewichtet zugewiesen, was jedoch eine Verschiebung in Flächenanteilen bestimmter Landnutzungen, oder Bodenklassen bewirkt und Modellergebnisse beeinflussen kann. Daher ist diese Funktion in der SWAT Community umstritten. Um auch diese Möglichkeit zu berücksichtigen, wurden in dieser Studie alle erstellten Modelle sowohl mit als auch ohne HRU Reduktion analysiert.

6.1.2.2 Parametersensitivität und Modellkalibrierung

Die sechs bzw. vier resultierenden Modellstrukturen für die Raab und die Schwechat wurden zunächst bzgl. sensitiven Modell-Parameter analysiert. Als Verfahren zur globalen Sensitivitätsanalyse wurde die STARVARS-Methode (Razavi and Gupta, 2016a; Razavi and Gupta, 2016b) angewandt. Der über die zu analysierenden Parameter aufgespannten Parameterraum werden zunächst über „Latin Hypercube Sampling (LHS)" ermittelte Startpunkte in jede orthogonale Parameterrichtung Transekte mit Stützstellen (welche Parameterkombinationen entsprechen) generiert und das Modell für jede dieser Parameterkombinationen

ausgewertet. Entlang dieser Transekte wird die Variabilität jedes Parameters, analog zu Variogrammen in der Geostatistik ausgewertet.

Für beide Einzugsgebiete konnten keine merklichen Unterschiede hinsichtlich sensitiver Parameter für die unterschiedlichen räumlichen Modellaggregierungen festgestellt werden. Daher konnten unabhängig von der Modellstruktur für die Raab und die Schwechat 16 respektive 19 sensitive Modellparameter definiert werden.

Zur Kalibrierung der Modelle wurden die aus der Sensitivitätsanalyse resultierenden Parameter zufällig gesampelt und Parametersets mit jeweils 100.000 Realisierungen generiert. Mittels Monte Carlo Filtering (Fedra et al., 1981) wurden Parametersets selektiert welche den hydrologischen Kreislauf und den Nitrat-N Kreislauf ausreichend gut beschreiben (siehe dazu auch Tabelle 4.9). Die Kalibrierung der SWAT Modelle für die Raab bzw. die Schwechat resultierte in 52 respektive 43 Parametersets welche die definierten Kriterien erfüllen.

6.1.2.3 Sensitivitätsanalyse

Mit dem entwickelten Werkzeug zur Sensitivitätsanalyse *GUESS* wurde der Einfluss der Modelleingangsgrößen Klimaszenarien, Landnutzungsszenarien, Einflüsse aus Punktquellen, SWAT-Modell-Setups und equifinale Parameter-Datensätze auf den Abfluss bzw. die Nitrat-N Frachten analysiert. Wie bei der Analyse der Parametersensitivitäten wurde auch hier das STAR-Sampling (Razavi und Gupta, 2016b) zur Definition der Kombinationen der Modellkomponenten verwendet. Da es sich bei den Modelleinflussgrößen jedoch um diskrete Größen und nicht wie in Razavi und Gupta (2016b) vorgestellt, kontinuierliche Parameter handelt, konnte kein „Sampling" mit definiertem „Sampling"-Intervall angewandt werden. Daher wurde im konkreten Fall jede Kombination entlang eines Transekts (vergleiche „Sampling" in Abbildung 4.1) ausgewertet.

Die präsentierte Methode in Razavi und Gupta (2016a) setzt kontinuierliche Eingangsgrößen voraus, für welche ein Abstand zwischen Stützstellen klar definiert ist. In der konkreten Anwendung der Fallstudien Raab und Schwechat werden jedoch ausschließlich nicht-skalare Eingangsgrößen analysiert, für welche weder eine Verhältnisskala (Distanzen zwischen den Zuständen der Einflussgrößen sind definiert) noch eine ordinale Skalierung (Zustand A einer Einflussgröße ist größer als Zustand B) zulässig ist. Daher wurde zur Berechnung der Sensitivitäten der Modelleinflussgrößen folgender distanzfreie Ansatz gewählt:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(\max\left(O_{i,j}\right) - \min\left(O_{i,j}\right)\right)}{n}$$

wobei S_i die Sensitivität erster Ordnung (d.h. deren Einfluss ohne Berücksichtigung von Korrelationen mit anderen Größen) der Einflussgröße *i* ist, $O_{i,j}$ das betrachtete Objektivitätskriterium für die Einflussgröße *i* und das Transekt *j* ist und *n* die Anzahl der Transekte pro Einflussgröße ist.

Die Normierung der einzelnen Sensitivitäten erster Ordnung S_i wie sie in Abbildung 4.4 dargestellt werden wurde wie folgt durchgeführt:

$$S_i' = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^{m} S_j}$$

wobei S_i' die normierte relative Sensitivität erster Ordnung ist und m die Anzahl der betrachteten Modelleinflussgrößen ist.

6.2 Entwicklung der Klimaszenarien

Die Entwicklung der dieser Studie zugrundeliegenden Klimawandelszenarien stützt sich auf die EURO-CORDEX Projektionen für Europa (Jacob et al. 2013, siehe Tabelle 2). Dabei werden jeweils 11, mit dynamischem Downscaling (DD) erzeugte Klimaänderungsprojektionen (Ensembles), die zwei sozio-ökonomischen Entwicklungspfaden entsprechen (RCP4.5 und RCP8.5, Smith and Wigley, 2006; Wise et al., 2009, Riahi et al., 2007), verwendet. Die Projektionen (technische Auflösung etwa 12 x 12 km) sind für Regionen von rund 80km^2 physikalisch konsistent interpretierbar (Grotch and MacCracken 1991, Zorita and von Storch 1997). Da diese Auflösung für die betrachteten Einzugsgebiete zu gering ist, mussten sie "verfeinert" – "downgescaled" werden (siehe unten).

Die mit DD erzeugten Reproduktionen des beobachteten Klimas weichen z.T. deutlich von den Beobachtungen ab (z.B. Haslinger et al. 2013). Deswegen wurden in diesem Projekt sogenannte „Bias-Korrekturen" (e.g. Teutschbein and Seibert, 2013 - nach fruchtbaren Diskussionen mit dem Scientific Advisory Board) angewendet. Das bedeutet, dass die Fehler die DD bei der Reproduktion des beobachteten Klimas verursacht durch nachträgliche Verschiebungen hin zu den beobachteten Werten kompensiert werden. Diese Korrekturen werden dann auf die Projektionen für die Zukunft angewendet. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die DD Projektionen, von den gleichen Fehlern geprägt sind wie in der Vergangenheit. Abgesehen von dieser Korrektur sind die EURO-CORDEX Läufe mit statistischem Downscaling (SD) unter Verwendung von gegitterten Beobachtungen auf ein 1 x 1 km Gitternetz verdichtet worden. Die verwendeten Gitterpunktsdatensätze für Österreich (SPARTACUS, Hiebl and Frei, 2016) geben die räumliche Verteilung der täglichen Lufttemperatur (Minimum, Maximum, Mittel) und die des Niederschlags (GPARD, Hofstätter et al., 2013) auf einem 1 x 1 km Gitter ab 1961 wieder.

Tabelle 6.2: GCM-RCM Modellketten, die in dieser Studie verwendet wurden.

Modell	RCP4.5	RCP8.5
EUR-11_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_*_CLMcom-CCLM4-8-17	x	x
EUR-11_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_*_SMHI-RCA4	x	x
EUR-11_ICHEC-EC-EARTH_*_CLMcom-CCLM4-8-17	x	x
EUR-11_ICHEC-EC-EARTH_*_SMHI-RCA4	x	x
EUR-11_ICHEC-EC-EARTH_*_KNMI-RACMO22E	x	x
EUR-11_ICHEC-EC-EARTH_*_DMI-HIRHAM5	x	x
EUR-11_IPSL-IPSL-CM5A-MR_*_IPSL-INERIS-WRF331F	x	x
EUR-11_IPSL-IPSL-CM5A-MR_*_SMHI-RCA4	x	x
EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_*_CLMcom-CCLM4-8-17	x	x
EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_*_SMHI-RCA4	x	x
EUR-11_MOHC-HadGEM2-ES_*_SMHI-RCA4	x	x

Abbildung 6.1 zeigt das Ergebnis der angewendeten Bias-Korrektur. Das linke Bild in beschreibt die Temperatur für das gesamte Jahr und die in Abbildung 4.2

dargestellten Region. Das rechte Bild zeigt Analoges für den Niederschlag. Obwohl bei der Temperatur optisch kein deutlicher Unterschied der Reproduktion der beobachteten Werte vor und nach der Bias-Korrektur sichtbar ist, zeigt sich, dass die Korrektur den Fehler im Gebietsmittel (-1.04°C) eliminiert. Deutlicher ist der Effekt der Korrektur beim Niederschlag erkennbar. Hier führt sie vor allem bei den relativ keinen und großen Niederschlagswerten zu einer Verbesserung. Abgesehen davon reduziert sie den Fehler im Mittel von 0.72 mm/Tag auf -0.22 mm/Tag.

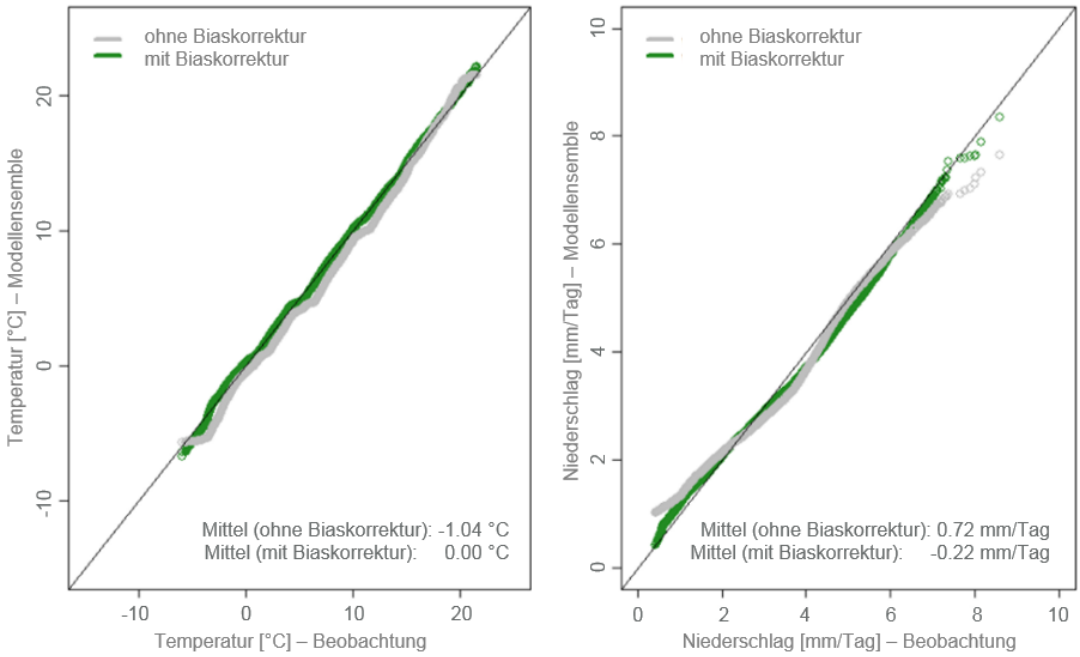

Abbildung 6.1: x-Achse: Werte der beobachteten Verteilung; y-Achse Modellsimulationen (beides: ganzes Jahr); links: Temperaturmittel; rechts: Niederschlagssummen; grau: ohne Bias-Korrektur; grün: nach Bias-Korrektur. Stimmen beobachtete und modellierte Verteilungen überein, liegen die einander entsprechenden Werte auf der Diagonalen, bei Überschätzung oberhalb, sonst darunter.

Abbildung 6.2 zeigt die räumlichen Verteilungen der Fehler vor und nach der Bias-Korrektur für Januar und Juli. Man kann erkennen, dass die Abweichungen (vor Korrektur) für die Temperatur im Wintermonat im Allgemeinen größer sind als die im Juli. Das Bild für den Sommermonat ist jedoch deutlich differenzierter. Es gibt sowohl Unter- wie auch Überschätzungen. Nach der Korrektur ist der räumliche Verlauf der Fehler geringer, wobei im Flächenmittel die Bias-Korrektur im Januar zu einer Verbesserung führt, während im Juli eine Verschlechterung erzielt wird. Auch bei den Niederschlagssummen führt die Korrektur analog zur Temperatur zu einer räumlich flacheren Verteilung der Abweichungen der modellierten Werte von den beobachteten.

Abbildung 6.3 zeigt eine weitere Methode die Leistung der in UnLoadC3 verwendeten Modellketten zu beschreiben. Auf der x-Achse ist die Standard-abweichung der Beobachtungen als offener, schwarzer Kreis gegeben. Die radialen Distanzen der Punkte und Kreuze vom Nullpunkt stellt die Standardabweichung der Modellergebnisse das. Am äußeren Kreisbogen ist der Korrelationskoeffizient als Funktion des Winkels aufgetragen. Die Radien der Kreise deren Mittelpunkt der offene schwarze Kreis auf der x-Achse ist, entsprechen den auf die Mittelwerte bezogenen „root mean square sums (RMS)".

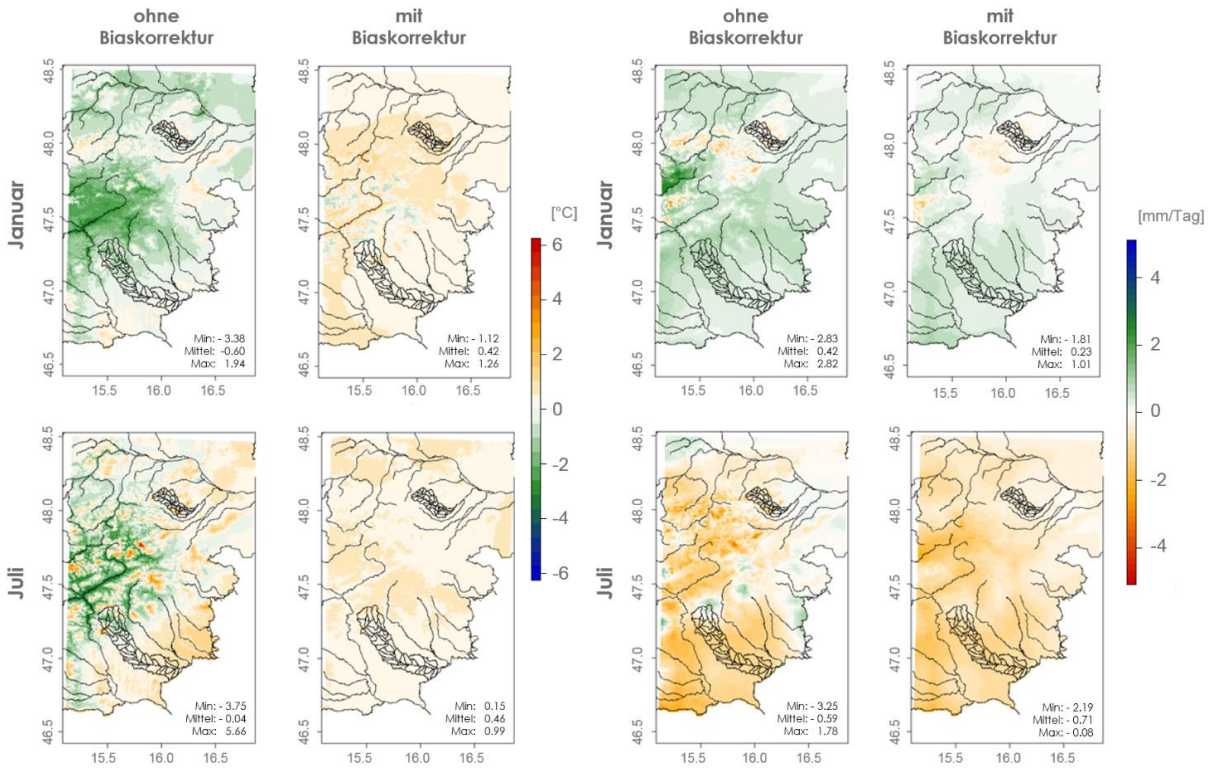

Abbildung 6.2: die linken zwei Spalten zeigen die Abweichungen der Reproduktion der Temperatur (vor – links -- und nach der Bias-Korrektur – rechts). Die rechten Spalten stellen dasselbe für die Niederschlagssummen dar. Die erste Zeile bezieht sich auf den Januar und die zweite auf den Juli. Die Zahlen im rechten, unteren Eck geben die Abweichungen im dargestellten Gebiet wieder.

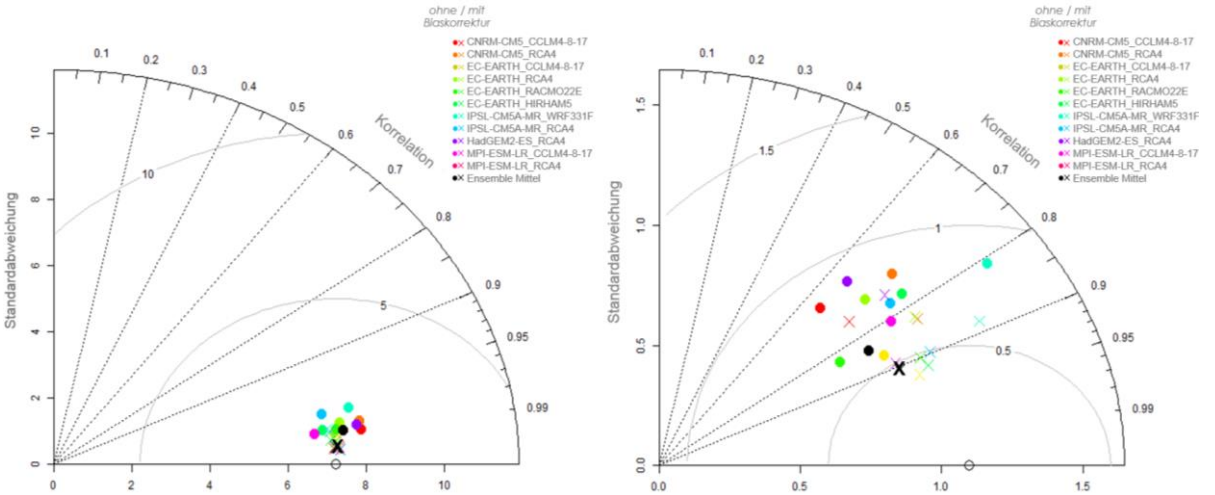

Abbildung 6.3: Taylor Diagramme zur Beschreibung der Güte der Reproduktionen der beobachteten Jahresmitteltemperatur (links) und Jahresniederschlagssummen (rechts) durch die hier verwendeten Klimamodelle (siehe Legende) vor (Punkte) und nach (Kreuze) der Bias-Korrektur.

Je näher die Punkte oder Kreuze an dem offenen, schwarzen Kreis liegen, desto besser entsprechen die Simulationen den Beobachtungen (hoher Korrelationskoeffizient, Standardabweichung nahe dem der Beobachtung und kleiner RMS). Im linken Bild (Temperatur) sieht man, dass alle Simulationen relativ nahe den Beobachtungen liegen und die Bias-Korrektur (nach Konstruktion) eine Verbesserung bringt. Beim Niederschlag (rechtes Bild) sind die Abweichungen z.T. erheblich. Während die Variabilitäten der modellierten Felder vergleichbar den beobachteten Niederschlagssummen sind, ist die Korrelation deutlich geringer als

bei der Temperatur. Berücksichtigt man allerdings die komplexen Prozesse, die zu Niederschlagssummen führen, sind die erzielten Ergebnisse vergleichbar zu anderen Studien in topographisch strukturiertem Gelände (z.B. Matulla et al. 2002, Haslinger et al. 2013).

6.3 Datenakquise und Entwicklung der Landnutzungsszenarien

Als Datengrundlage diente die historische Entwicklung der angebauten Feldfrüchte für den Zeitraum 1970 – 2010 von der StatCube-Datenbank der Statistik Austria bezogen (Statistik Austria, 2017). Diese beschreibt die Entwicklung der Anbauflächen häufiger Feldfrüchte auf Bezirksebene. Die Entwicklung der häufigsten Feldfrüchte ist in Abb. 6.4 für das Einzugsgebiet der Raab dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die kontinuierliche Zunahme der Anbauflächen für Mais über die letzten 40 Jahre und die starken Rückgänge für Weizen und Zuckerrübe in den letzten 15 Jahren der betrachteten Datenaufzeichnung.

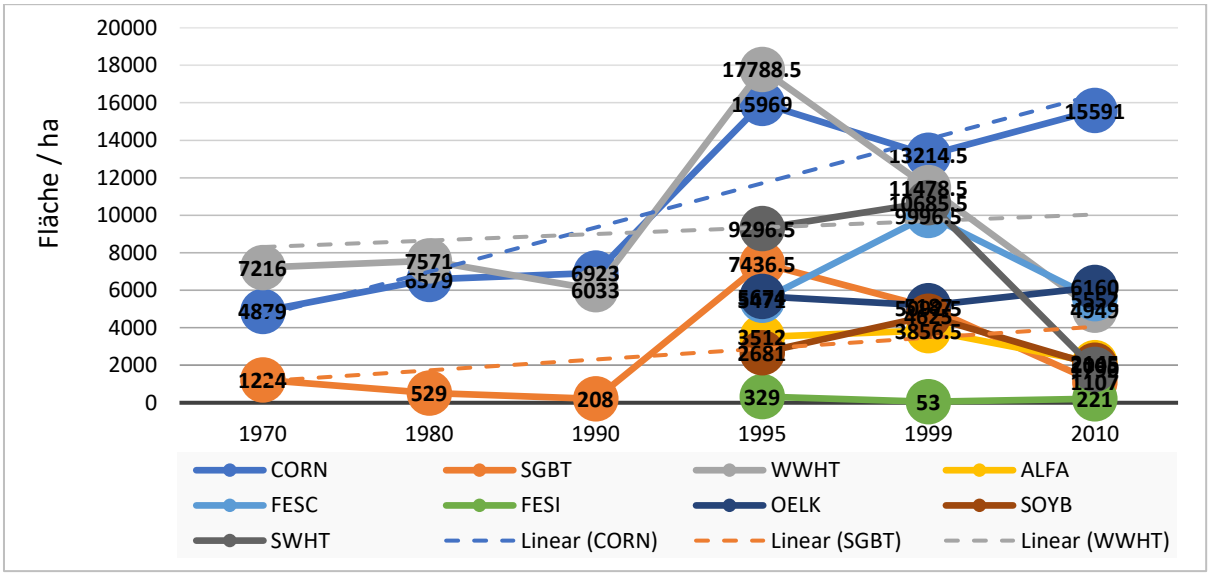

Abbildung 6.4: Historische Entwicklung der Anbauflächen häufiger Feldfrüchte (ha) für den Zeitraum 1970 - 2010 im Raab Einzugsgebiet.

Zur Entwicklung des "Business-as-usual" Szenarios wurden die dargestellten Trends für die Zukunft weiter extrapoliert. Für die Betrachtungen eines extensiven Szenarios wurde jedoch eine Forcierung extensiver Grünlandwirtschaft auf Kosten der dominanten und düngerintensiven Feldfrüchte angenommen.

6.4 Datenakquise und Szenarien-Entwicklung für Punkteinleiter

6.4.1 Datenverfügbarkeit

Die N- und P-Emissionsdaten sind in verschiedenen (täglichen, wöchentlichen oder monatlichen) Zeitskalen verfügbar. Anlagen >5.000 EW haben eine bessere Übersicht über ihren Zustand, weil sie Nges sowohl im Zulauf als auch im Ablauf und zusätzlich Pges im Ablauf messen müssen (BGBl Nr. 210/1996). Es ist daher offensichtlich, dass die Datenlage umso besser ist, je größer die kommunale Kläranlage ist. Dies Datenreihen hängen aber nicht immer nur von der Ausbaugröße der Kläranlage ab. Die Erfassung von Daten aus industriellen und

kommunalen Behandlungsanlagen unterliegen eine Vielzahl von Schwierigkeiten wie (i) begrenzte Ressourcen der Anlagenbetreiber zur Datenerfassung insbesondere für Behandlungsanlagen <5.000 EW, (ii) keine entsprechende digitale Dokumentation für Behandlungsanlagen <500 EW, (iii) veraltete Anlagensteuerung und damit auch veraltetes Datenerfassungssystem oder (iv) Nichtbereitstellen von Überwachungsdaten seitens der Anlagenbetreiber.

Aufgrund der gelisteten Hindernisse mussten für Anlagen ohne verfügbare Daten Annahmen getroffen um einerseits aus einer Bilanzierung relevante Einleiter identifizieren zu können (siehe Tabelle 4.3) und andererseits Frachten für relevante Einleiter abschätzen zu können. Nach Lindtner und Zessner (2003) können für die Ermittlung der mittleren Belastung und der mittleren Emissionen dieser Anlage gewisse Kenndaten der jeweiligen Kläranlage verwendet werden.

Industrielle Kläranlagen können nicht über derartige Ansätze abgeschätzt werden. Sie repräsentieren im Gegensatz zu einer kommunalen Kläranlage, mit ihrer mehr oder weniger stabilen Zulaufbelastung, ein völlig anderes Verhalten beim Zulauf und damit beim Ablauf. Insbesondere sind die Emissionen von periodischen Produktionskampagnen (wöchentlich, saisonal) stark geprägt. Zeitlich hochaufgelöste Emissionsdaten waren nur von Seiten der Agrana Fruit Austria GmbH verfügbar. Als Referenz für die weiteren industriellen Einleiter musste auf Eigen- und Fremdüberwachungsdaten der Bezirkswasserrechtsbehörde zurückgegriffen werden.

6.4.2 Ableitung kontinuierlicher Zeitreihen von NO3-N Tagesfrachten

Im Rahmen der Gewässergütemodellierung wurden die Punkteinleiterdaten auf Tagesbasis benötigt. Je nach zeitlicher Auflösung und Kontinuität der verfügbaren Zeitreihen war eine zeitliche Disaggregierung und gegebenenfalls eine Abschätzung für fehlende Zeiträume notwendig. Waren Daten in hoher zeitlicher Auflösung verfügbar wurden diese auf ihre statistischen Eigenschaften wie etwa der Verteilung der täglichen NO3-N Frachten, Korrelationen mit anderen zeitlichen Variablen wie Niederschlag oder Lufttemperatur analysiert und für fehlende Zeiträume NO3-N Frachten abgeschätzt. Für Anlagen mit sehr geringer Datenlage wurde basierend auf den Messwerten mittlere Tagesfrachten ermittelt und diese für jeden Tag angenommen.

6.4.3 Szenarienentwicklung für kommunale Punkteinleiter

Für die Entwicklung der Emissionen durch kommunale Kläranlagen wurde ein direkter Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsentwicklung und den entsprechenden Einwohnerwerten der jeweiligen Kläranlagen getroffen. Technologisch betrachtet sind die Stickstoff-Eliminationsraten der in den Einzugsgebieten bestehenden Anlagen sehr hoch und lassen hier kaum Spielraum für Veränderungen. Daher ist die simple Annahme einer Anpassung der Anlagen an die Bevölkerungsentwicklung eine nachvollziehbare Annahme.

Als Datengrundlage wurden unterschiedliche Bevölkerungsprognosen in unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung auf Landesebene (bis 2100,

Statistik Austria, 2016), Bezirksebene (bis 2075, Statistik Austria, 2015a) sowie auf Gemeindeebene (bis 2030, Amt d. Stmk Lreg, 2017, Amt d. Stmk Lreg, 2016, Amt d. Stmk Lreg, 2010) herangezogen. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Erscheinungsjahre, bzw. prognostizierten Zeithorizonte unterscheiden sich die Studien in den prognostizierten Bevölkerungstrends. Für die Szenarien-Entwicklung wurde die größtmögliche Bandbreite herangezogen, synthetische Zeitreihen basierend auf den Beobachtungsdaten generiert und diese um die Änderungen in der Bevölkerungsentwicklung korrigiert.

Für die Entwicklung der industriellen Einleiter war nur die vorhandene Lederindustrie ein relevanter Faktor. Für deren Entwicklung wurden simple ökonomische Überlegungen angestellt und diese auf ihren ökologischen Einfluss hin überprüft.

6.4.3.1 Überprüfung der Ausweitung der Produktion in der Lederindustrie

Es wurde bei der 30%igen Erhöhung der Abwasserfracht davon ausgegangen, dass die zugehörigen Kläranlagen ebenfalls angepasst werden und die aktuelle Reinigungsleistung beibehalten wird. Aufgrund fehlender Parameter zur umfassenden Beurteilung der Immissionssituation für diese Studie, wurde eine vereinfachte Bewertung aufgrund einer Verdünnungsrechnung durchgeführt (ÖWAV, 2010). Tabelle 6.3 zeigt die Zielwerte für PO4-P und NO3-N aufgrund der trophischen Klassen und des saprobiellen Zustands (BGBl. II Nr. 99/2010). Die Umweltqualitätsnorm für NH4-N beträgt in allen betrachteten Gebieten 0,4 mg/L (BGBl. II Nr. 96/2006).

Tabelle 6.3: Aktuelle Immissionsbewertung nach BGBl. II Nr. 99/2010 in der Raab. Aufgrund der Einteilung in die entsprechende Trophie und Saprobie-Zustände können Zielwerte für PO4-P und NO3-N (90% Perzentil) angegeben werden (SZ … sehr guter Zustand, GZ … guter Zustand).

Kategorie der Sub-Einzugsgebiete	**PO4-P (90% Perzentil) [mg/L]**		**NO3-N (90% Perzentil) [mg/L]**	
	SZ	GZ	SZ	GZ
Östliche Flach- und Hügelländer	0,07	0,2	3,0 4,0 (*Sommer*)	5,5 7,0 (*Sommer*)
Grazer Feld und Grabenland	0,05	0,09	2,5	5,5

Als Referenzpunkt der Bewertung wurde Neumarkt am Ende des Einzugsgebietes gewählt. Dieser hat einen mittleren Abfluss von 6,9 m³/s (Hydrographischer Dienst) und monatliche Immissionswerte der Messstation FW10000087 gemäß Tabelle 6.4.

Tabelle 6.4: Statistisch ausgewertete Konzentrationen ausgewählter Immissionsparameter (90% Perzentil) in der Raab beim Pegel Neumarkt (FW10000087, Zeitraum von 1992-2014, H2O Fachdatenbank, 2015).

Parameter	NO3-N	NH4-N	PO4-P	Pges (nicht filtriert)
90% Perzentil [mg/L]	3,7	0,23	0,08	0,15

7 Arbeits- und Zeitplan

Tabelle 7.1: Übersicht der Tätigkeiten aufgeteilt in die jeweiligen Wokrpackages.

Monat	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	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jahr	2014						2015												2016												2017									
Workpackages und Ergebnisse / Projektlaufzeit	1												2												3												Verlängerung			
WP1: Water quality modelling																																								
Recherche zu verfügbaren Modellen u. Inputs																																								
Aufsetzen, Testen des SWAT Modells																																								
Abschätzung Rechenkapazität, Tests am VSC																																								
WP2: Site selection and data																																								
Definition der Modelleinzugsgebiete																																								
Akquise Einzugsgebietscharakteristika, GIS Daten																																								
Aufbereitung Modelleingangsdaten																																								
Akquise Daten zu Punkteinleitern																																								
Akquise der Kalibrierdaten: Hydrologie																																								
Akquise der Kalibrierdaten: Gewässergüte																																								
WP3: Regional climate change scenarios																																								
Bereitstellung regionaler Klimaprojektionen																																								
Aufbauen des empirischen Downscalings																																								
Anwendung von Bias-Korrekture																																								
Bereitstellung hochaufgelöster Klimaszenarien																																								
WP4: Assigning further uncertainties																																								
Erstellung der Landnutzungsszenarien																																								
Entwicklung Szenarien Siedlungswasserwirtchaft																																								
Aufberereitung Zeitreihen Punkteinleiter																																								
WP5: Uncertainty framework & assessment																																								
Entwicklung des Unsichreheitsframeworks																																								
Anwendung in Fallstudien																																								
Analyse, Diskussion der Ergebnisse																																								
WP6: Report and publication																																								
Konferenzen:																																								
österreichischer Klimatag																																								
EGU General Assembly																																								
weitere																																								
Zwischenbericht																																								
Endbericht																																								
AB: Advisory Board																																								
Zusammensetzung des Advisory Boards																																								
Advisory Board Meeting																																								

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

8.1 Beiträge zu wissenschaftlichen Tagungen

Matulla, C., Hollosi, B., Schulz, K., Schürz, C., Mehdi, B., 2015. Downscaling als Entscheidungshilfe - Hydrologische Adaptionsmaßnahmen., 16. Österreichischer Klimatag, 28-30 April, Wien, In: Climate Change Centre Austria CCCA (Hrsg.), Tagungsband 16. Klimatag - Aktuelle Klimaforschung in Österreich

Matulla, C., Hollosi, B., Schulz, K., Schürz, C., Mehdi, B., Ertl, T., Pressl, A., 2017. Potential climate change driven impacts on two river catchment areas in Austria (UnLoadC3) - contributions to interdisciplinary, trans-scientific projections of future water and substance flows., 18. Österreichischer Klimatag, Wien, 22–24 Mai 2017, In: Climate Change Centre Austria (Hrsg.), Tagungsbund 18. Klimatag - Aktuelle Klimaforschung in Österreich

Matulla, C., Hollosi, B., Schulz, K., Schürz, C., Mehdi, B., Ertl, T., Pressl, A., 2017. UnLoadC3: Ensembles of climate change projections for two river catchment areas in Austria – Contributions to an overall uncertainty assessment framework for the modelling of water quantity and nutrient transport, EGU General Assembly, Vienna, 23–28 April 2017, In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU 2017-13640

Matulla, C., Hollosi, B., Schulz, K., Schürz, C., Pressl, A., Ertl, T., Mehdi, B., 2015. Unsicherheitsanalyse - Hydrologische Adaptationsmaßnahmen. In: 6. Österreichischer MeteorologInnentag, Wien, 5-6 November 2015.

Matulla, C., Hollosi, B., Schulz, K., Schürz, C., Pressl, A., Ertl, T., Mehdi, B., 2016. UnLoadC3: Climate change modelling as part of an uncertainty assessment coping with modeling the future of hydrological regimes and chemical pollution loads within two prealpine river catchments, Conference abstract. ICRC-CORDEX 2016, Stockholm, 17.-20. May 2016.

Mehdi, B., Schürz, C., Barrios, W., Schulz, K., 2017. Improved understanding of the impacts of hydroclimate, land use and agricultural management practices on nitrate concentration dynamics using SWAT. 2017 International SWAT Conference, June 28-30, 2017, Warsaw, In: Book of Abstracts for the 2017 SWAT Conference

Mehdi, B., Schürz, C., Matulla, C., Hollosi, B., Ertl, T., Pressl, A., Schulz, K., 2017. Assessing uncertainties in hydrological modelling of discharge and nitrate nitrogen under future climate change conditions for Austrian catchments. In: River Basins 2017: Transboundary Management of Pollutants. Zoboli, O., Zessner, M., Fuchs,S.(Eds.), 55pp. International Conference, TU Wien, 19-20 June.

Mehdi, B. and Schürz, C. 2016. Do crops matter when simulating water quality? 2016. In: MACSUR and AgMIP, Crop Modelling for Agriculture and Food Security under Global Change, Ewert, F., Boote K., Rötter, R., Thorburn, P., Nendel, C. (Eds.), 437 pp. International Crop Modelling Symposium iCROPM2016, Berlin, MAR 15-17.

Schulz, K., Schürz, C., Mehdi, B., Pressl, A., Ertl, T., Hollosi, B., Matulla, C., 2016. Unsicherheiten bei der Analyse von Wasser- und Stickstofftransport unter Einfluss von Klimawandel., 17. Österreichischer Klimatag 2016, 6-8 April, 2016, Graz, In: Climate Change Centre Austria, Tagungsband 17. Klimatag - Aktuelle Klimaforschung in Österreich

Schürz, C., Klotz, D., Herrnegger, M., Schulz, K., 2015. Towards high-resolution soil property maps for Austria. EGU General Assembly, 12-17 April, In: European Geoscience Union (EGU), Geophysical Abstracts, Vol. 17, EGU2015-12291, 2015

Schürz, C., Mehdi, B., Hollosi, B., Matulla, C., Pressl, A., Ertl, T., Schulz, K., 2016. Entwicklung eines flexiblen Sensitivitätsanalyse-Frameworks zur Analyse von Unsicherheiten bei der Modellierung von Wasser- und Stickstofftransportprozessen unter Einfluss von Landnutzungs- und Klimawandel., 18. Österreichischer Klimatag, 22–24 Mai, 2017, Wien, In: Climate Change Centre Austria (Hrsg.), Tagungsbund 18. Klimatag - Aktuelle Klimaforschung in Österreich

Schürz, C., Mehdi, B., Hollosi, B., Matulla, C., Pressl, A., Ertl, T., Schulz, K., 2017. A comprehensive sensitivity analysis for discharge and nitrogen loads involving multiple model input factors., 2017 International SWAT Conference, June 28-30, 2017, Warsaw, In: Book of Abstracts for the 2017 SWAT Conference

Schürz, C., Mehdi, B., Pressl, A., Ertl, T., Hollosi, B., Matulla, C., Schulz, K., 2015. Unsicherheitsanalyse für Wasser- und Stofftransportprozesse unter Klimawandelbedingungen – aktueller Stand und Ausblick., 16. Österreichischer Klimatag, 28-30 April, Wien, In: Climate Change Centre Austria CCCA (Hrsg.), Tagungsband 16. Klimatag - Aktuelle Klimaforschung in Österreich

Schürz, C., Mehdi, B., Pressl, A., Ertl, T., Hollosi, B., Matulla, C., Schulz, K., 2016. Unsicherheitsanalyse für Wasser- und Stofftransportprozesse unter Klimawandelbedingungen - Quantifizierung und Analyse von Unsicherheiten aus Eingangsdaten., 17. Österreichischer Klimatag, Graz, 6-8 April, 2016, In: Climate Change Centre Austria, Tagungsbund 17. Klimatag - Aktuelle Klimaforschung in Österreich

Schürz, C., Mehdi, B., Schulz, K., 2016. A simple rule based model for scheduling farm managment operations in SWAT., EGU General Assembly, Vienna, 18-22 April, In: European Geosciences Union (EGU), Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-12269, 2016

Schürz, C., Strauch, M., Mehdi, B., Schulz, K., 2017. Bringing two open source worlds closer together – execution and processing of SWAT projects in R, 2017 International SWAT Conference, June 28-30, 2017, Warsaw, In: Book of Abstracts for the 2017 SWAT Conference

Schürz, C., Strauch, M., Mehdi, B., Schulz, K., 2017. SWATfarmR: A simple rule-based scheduling of management operations for SWAT., 2017 International SWAT Conference, June 28-30, 2017, Warsaw, In: Book of Abstracts for the 2017 SWAT Conference

Schürz, C., Strauch, M., Mehdi, B., Schulz, K., 2017. SWATpasteR: Parallel SWAT execution and sensitivity testing in R, 2017 International SWAT Conference, June 28-30, 2017, Warsaw, In: Book of Abstracts for the 2017 SWAT Conference

8.2 Master Arbeiten

Grath, B., 2016. Simulation of discharge and NO3-N loads in the Raab catchment with the hydrological model SWAT. Master Arbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich

Barrios, W. S., (in Bearbeitung). The effect of grouping SoilGrids data using unsupervised learning methods on the calibration and performance of the hydrological model SWAT. Master Arbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich

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

Die Fördernehmerin / der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechtinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin / der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.

D) Anhang

9 Referenzen

Amt d. Stmk Lreg, 2010. Regionale Bevölkerungsprognose Steiermark 2009/2010 - Bundesland, Bezirke und Gemeinden Steirische Statistiken, 54. Jahrgang, Heft 13/2010, Herausgeber: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 1C – Landesstatistik, AU ISSN 0039-1093.

Amt d. Stmk Lreg, 2016. Regionale Bevölkerungsprognose Steiermark 2015/16 - Bundesland, Bezirke und Gemeinden, Steirische Statistiken, 60. Jahrgang, Heft 5/2016, Herausgeber: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation, AU ISSN 0039-1093.

Amt d. Stmk Lreg, 2017. http://www.gemeindestrukturreform.steiermark.at/ [08.01.2017].

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34(1), 73-89.

Baroni, G., Tarantola, S., 2014. A General Probabilistic Framework for uncertainty and global sensitivity analysis of deterministic models: A hydrological case study. *Environmental Modelling & Software*, *51*, 26-34.

Beven, K., 2011. I believe in climate change but how precautionary do we need to be in planning for the future? Hydrol. Process., 25(9), 1517-1520.

BGBl. II Nr. 10/1999, 1999. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Gerbereien, Lederfabriken und Pelzzurichtereien (AEV Gerberei).

BGBl. II Nr. 12/1999 , 1999. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Schlachtung und Fleischverarbeitung (AEV Fleischwirtschaft).

BGBl. II Nr. 479/2006 , 2006. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern – Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV).

BGBl. II Nr. 96/2006, 2006. Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG).

BGBl. II Nr. 99/2010, 2010. Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG).

BGBl. Nr. 1078/1994, 1994. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Obst- und Gemüseveredelung sowie aus der Tiefkühlkost- und Speiseeiserzeugung.

BGBl. Nr. 210/1996, 1996. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser).

BMFLUW, 2015b. Onlinemonitoring an der Raab in Neumarkt an der Raab [8. Juli 2015]. Durchgeführt von Technische Universität Wien, Institut für Gewässergüte, Ressourcen-management und Abfallwirtschaft.

BMLFUW, 2011. Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2011. Bundesministerium für Land- und Fortwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Umweltbundesamt.

BMLFUW, 2013. Integrierte Betrachtung eines Gewässerabschnitts auf Basis kontinuierlicher und validierter Langzeitmessreihen. Forschungsgemeinschaft IMW – Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft. Endbericht.

BMLFUW, 2015a. Onlinemonitoring an der Raab in St. Margarethen/Takern [2. November 2015]. Durchgeführt von TBS Water Consult Mag. Dr. Stefan Schuster.

EEA, 2015. CORINE Land Cover 2006 raster data. Version 17 (12/2013) [WWW Document]. URL http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-3 (letzter Zugriff am 02.06.2015).

Fedra, K., Van Straten, G., & Beck, M. B., 1981. Uncertainty and arbitrariness in ecosystems modelling: a lake modelling example. *Ecological Modelling*, *13*(1-2), 87-110.

Fuchs, R., Herold, M., Verburg, P.H., Clevers, J.G.P.W., 2013. A high-resolution and harmonized model approach for reconstructing and analysing historic land changes in Europe. Biogeosciences 10, 1543–1559.

Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., and Arnold, J. G., 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. Transactions of the ASABE, 50(4), 1211-1250.

Geoland.at (2015): Digitales Geländemodell (DGM) Österreich - data.gv.at. OGD Austria Metadata 2.1. Land Kärnten; http://www.geoland.at, (letzter Zugriff am 19.4.2016).

Grotch, S. L., and MacCracken, M. C., 1991. The use of general circulation models to predict regional climatic change, Journal of Climate, 4:286-303.

H2O Fachdatenbank, 2015. URL: https://wasser.umweltbundesamt.at/ [01.04.2015].

Haiden, T., A. Kann, G. Pistotnik, K. Stadlbacher, and C. Wittmann, 2009: Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA)—System description. ZAMG Rep., Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Vienna, Austria, 60pp.

Haslinger, K., I. Anders, M. Hofstätter, 2013. Regional climate modelling over complex terrain: an evaluati on study of COSMO-CLM hindcast model runs for the Greater Alpine Region. Clim Dyn, 40, 511-529.

Hengl, T., de Jesus, J. M., Heuvelink, G. B., Gonzalez, M. R., Kilibarda, M., Blagotić, A., ... Guevara, M. A., 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PloS one*, *12*(2), e0169748.

Hiebl J. and Frei C., 2016. Daily temperature grids for Austria since 1961– concept, creation and applicability. Theoretical and Applied Climatology 124, 161–178, doi:10.1007/s00704-015-1411-4.

Hofstätter M., Ganekind M. and Hiebl J., 2013. GPARD-6: A new 60-year gridded precipitation dataset for Austria based on daily rain gauge measurements. In: DACH 2013 - Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Meteorologen-Tagung. Innsbruck, Österreich. 02.09-06.09.2013. (PDF-Datei; 2MB).

HSGSim, 2008. Integrierte Modellierung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer, HSG-Leitfaden der Arbeitsgruppe Integrierte Modellierung. 1.Auflage 2008. Hrsg.: Hochschulgruppe „Erfahrungsaustausch Dynamische Simulation in der Siedlungswasserwirtschaft" (HSGSim). Arbeitsgruppe Integrierte Modellierung. URL: http://www.hsgsim.org/ [01.02.2017].

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

Jacob, D.; Petersen, J.; Eggert, B.; Alias, A.; Christensen, O. B.; Bouwer, L.; Braun, A.; Colette, A.; Déqué, M.; Georgievski, G.; Georgopoulou, E.; Gobiet, A.; Menut, L.; Nikulin, G.; Haensler, A.; Hempelmann, N.; Jones, C.; Keuler, K.; Kovats, S.; Kröner, N.; Kotlarski, S.; Kriegsmann, A.; Martin, E.; Meijgaard, E.; Moseley, C.; Pfeifer, S.; Preuschmann, S.; Radermacher, C.; Radtke, K.; Rechid, D.; Rounsevell, M.; Samuelsson, P.; Somot, S.; Soussana, J.-F.; Teichmann, C.; Valentini, R.; Vautard, R.; Weber, B. & Yiou, P., 2013. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research Regional Environmental Change, Springer Berlin Heidelberg, 2013, 1-16.

Kroes, J.G., van Dam, J.C., 2003. Reference Manual SWAP Version 3.0.3. Alterra- rapport 773, ISSN 1566e7197.

Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Döll, P., Kabat, B., Jiménez, B., Miller, K.A., Oki, T., Sen Z., Shiklomanov, I.A., 2007. Freshwater resources and their management. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 173-210 pp.

LAKO, 2015. Landwirtschaftliche Bildung in NÖ - Versuche. Versuchsberichte. Amt der NÖ Landesregierung Abteilung Landwirtschaftliche Bildung (LF2) - Landwirtschaftliche Koordinationsstelle für Bildung und Forschung.

Lindtner, S., Zessner M., 2003. Abschätzung von Schmutzfrachten in der Abwasserentsorgung bei unvollständiger Datenlage, Wiener Mitteilungen, Band 183, 195-227.

Mannschatz, T., Wolf, T., & Hülsmann, S., 2016. Nexus Tools Platform: web-based comparison of modelling tools for analysis of water-soil-waste nexus. Environmental Modelling & Software, 76, 137-153.

Matulla, C, Hofstätter, M, Auer, I, Boehm, R, Maugeri, M, von Storch, H & Krueger, O, 2012. 'Storminess in northern Italy and the Adriatic Sea reaching back to 1760' Physics and Chemistry of the Earth, vol 40-41, pp. 80-85., 10.1016/j.pce.2011.04.010.

Mehdi, B.B., 2014. Scenarios and Implications of Land Use and Climate Change on Water Quality in Mesoscale Agricultural Watersheds. Ph.D. thesis, McGill University, Montreal, 247 pp.

Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvag, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F., 2011. Impacts and adaptation to European crop production systems to climate change. Eur. J. Agron. 34, 96–112.

ÖNORM EN ISO 10304-1, 2012. Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie - Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat.

ÖNORM EN ISO 6878, 2004. Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor - Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat (ISO 6878:2004).

ÖWAV, 2010. ÖWAV-Regelblatt 25: Abwasserentsorgung in dünn besiedelten Gebieten, 2. vollständig überarbeitete Auflage, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Perfler, R., M. Unterwainig, E. Mayr, R. Neunteufel, 2007. The security and quality of drinking water supply in Austria –factors, present requirements and initiatives. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 9-10, 125-130.

R Core Team, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Razavi, S., Gupta, H. V., 2016a. A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: 1. Theory. *Water Resources Research*, *52*(1), 423-439.

Razavi, S., Gupta, H. V., 2016b. A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: 2. Application. *Water Resources Research*, *52*(1), 440-455.

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O., Leemans, R., 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. Eur. J. Agron. 32, 91–102.

Riahi, K. Gruebler, A. and Nakicenovic N., 2007. Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. Technological Forecasting and Social Change 74, 7, 887-935.

Rounsevell, M.D.A., Metzger, M.J., 2010. Developing qualitative scenario storylines for environmental change assessment. Wiley Interdiscip. Rev.: Clim. Change 1 (4), 606–619.

Ruzicka, K., Gabriel, O., Bletterie, U., Winkler, S., & Zessner, M., 2009. Cause and effect relationship between foam formation and treated wastewater effluents in a transboundary river. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 34(8), 565-573.

Saltelli, A., Annoni, P., 2010. How to avoid a perfunctory sensitivity analysis. *Environmental Modelling & Software*, *25*(12), 1508-1517.

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., Tarantola, S., 2008. *Global sensitivity analysis: the primer*. John Wiley & Sons.

Schürz, C., Strauch, M., Mehdi, B., Schulz, K., 2017a. SWATfarmR: A simple rule-based scheduling of management operations for SWAT., 2017 International SWAT Conference, June 28-30, 2017, Warsaw, In: Book of Abstracts for the 2017 SWAT Confernence.

Schürz, C., Strauch, M., Mehdi, B., Schulz, K., 2017b. SWATpasteR: Parallel SWAT execution and sensitivity testing in R, 2017 International SWAT Conference, June 28-30, 2017, Warsaw, In: Book of Abstracts for the 2017 SWAT Confernence.

Smith, S.J. and T.M.L. Wigley, 2006. Multi-Gas Forcing Stabilization with the MiniCAM. Energy Journal (Special Issue #3) pp 373-391.

Sobol, I. M., 1993. Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models. Mathematical Modelling and Computational Experiments, 1(4), 407-414.

Statistik Austria, 2015a. ÖROK-Regionalprognosen 2014 – Bevölkerung, Ausführliche Tabellen zur kleinräumigen ÖROK-Prognose 2014, URL: http://www.oerok.gv.at/ [15.11.2016].

Statistik Austria, 2015b. STATCube - Statistische Datenbank der STATISTIK AUSTRIA: Agrarstrukturerhebung 2010 - Bodennutzung - data.statistik.gv.at, (letzter Zugriff am 06.06.2015).

Statistik Austria, 2016. Datenbank zur Bevölkerungsprognose 2016 - Hauptszenario. URL: https://www.statistik.at/ [14.10.2016].

Statistik Austria, 2017. STATCube - Statistische Datenbank der STATISTIK AUSTRIA: Land- und forstwirtschaftliche Betriebe mit Ackerland und deren Anbauflächen - data.statistik.gv.at, (letzter Zugriff am 22.05.2017).

Teutschbein C. and Seibert J., 2013. Is bias correction of regional climate model (RCM) simulations possible for non-stationary conditions? Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 5061-5077. Doi:10.5194/hess-17-5061-2013.

Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G., & Tóth, G., 2015. New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *European journal of soil science*, *66*(1), 226-238.

Wilby, R.L., Wood, P.J., 2012. Introduction to adapting water management to climate change: Putting our science into practice. Area, 44(4), 394-399.

Wise, MA, KV Calvin, AM Thomson, LE Clarke, B Bond-Lamberty, RD Sands, SJ Smith, AC Janetos, JA Edmonds, 2009. Implications of Limiting CO2 Concentrations for Land Use and Energy. Science. 324:1183-1186. May 29, 2009.

Zorita E, von Storch H., 1997. A survey of statistical downscaling results. Technical report 97/E/20. GKSS.

Zweimüller, I., M. Zessner, T. Hein, 2008. Effects of climate change on nitrate loads in a large river: the Austrian Danube as example. Hydrol. Process., 22, 1022–1036.

Tabelle A1: Die mit OBS bezeichneten ersten Spalten der Tabelle geben, die aus den Beobachtungs-Datensätzen ermittelten Mittelwerte und Standardabweichungen für die Periode 1971-2000 wieder. Darauf folgen die mit 1971-2000 überschriebenen Spalten, welche die vermittels DD plus Bias-Korrektur für die betreffenden Parameter (tas: Mittlere Temperatur, tasmin: Temperatur-Minimum, tasmax: Temperatur-Maximum, pr: Niederschlagssumme) in den betrachteten Einzugsgebieten simulierten Werten wiedergeben. Die Unterschiede zu den beobachteten Werten (in den rechten Spalten) sind ein Maß für das Vertrauen, welches den für die Zukunft modellierten Werten beizumessen sein sollte. Die als ‚25', ‚50', ‚75' überschriebenen Spalten bezeichnen die numerischen Werte der entsprechenden Perzentile der Verteilung.

			OBS		MOD																										
										RCP45										RCP85											
			1971-2000		1971-2000					2021-2050					2071-2100					2021-2050					2071-2100						
			mean	std	mean	std	25	50	75	mean	std	25	50	75	mean	std	25	50	75	mean	std	25	50	75	mean	std	25	50	75		
tas [°C]	EZG-Schwechat	DJF	-0,19	4,57	-0,01	4,56	-3,07	0,25	3,26	1,49	4,34	-1,43	1,79	4,57	2,61	4,30	-0,24	2,80	5,64	1,59	4,29	-1,30	1,81	4,58	4,47	4,03	1,76	4,53	7,27		
		MAM	8,83	3,79	8,26	3,87	5,67	8,31	10,87	9,16	3,62	6,68	9,12	11,72	10,06	3,63	7,51	9,98	12,56	9,35	3,68	6,80	9,37	11,88	11,32	3,62	8,72	11,17	13,83		
		JJA	17,83	3,04	17,93	2,81	15,90	17,90	19,93	18,80	2,94	16,70	18,73	20,90	19,53	2,97	17,37	19,37	21,60	18,93	2,95	16,73	18,83	21,07	21,20	3,20	18,83	20,97	23,43		
		SON	8,99	3,63	9,28	3,85	6,70	9,32	11,86	10,38	3,68	7,89	10,35	12,89	11,32	3,67	8,83	11,31	13,85	10,69	3,68	8,18	10,68	13,23	12,92	3,60	10,44	12,91	15,47		
	EZG-Raab	DJF	-0,32	4,13	-0,25	4,17	-3,07	-0,09	2,71	1,20	4,12	-1,55	1,51	4,11	2,35	4,04	-0,34	2,52	5,22	1,34	4,02	-1,37	1,54	4,15	4,28	3,79	1,73	4,31	6,92		
		MAM	9,13	3,63	8,60	3,55	6,24	8,66	10,97	9,32	3,35	7,07	9,31	11,60	10,20	3,33	7,94	10,14	12,46	9,50	3,41	7,20	9,52	11,76	11,51	3,36	9,15	11,42	13,80		
		JJA	18,07	2,86	18,23	2,56	16,40	18,20	20,07	19,07	2,81	17,03	19,03	21,07	19,77	2,84	17,70	19,67	21,80	19,17	2,82	17,10	19,13	21,20	21,60	3,08	19,30	21,40	23,77		
		SON	9,26	3,68	9,51	3,67	7,09	9,56	12,01	10,45	3,50	8,12	10,46	12,81	11,37	3,51	8,96	11,36	13,76	10,74	3,53	8,33	10,76	13,19	13,05	3,49	10,67	13,04	15,50		
tasmin [°C]	EZG-Schwechat	DJF	-3,37	4,77	-3,23	4,72	-6,25	-2,73	0,06	-1,84	4,51	-4,71	-1,37	1,26	-0,71	4,31	-3,34	-0,39	2,24	-1,69	4,41	-4,50	-1,30	1,33	1,15	3,83	-1,34	1,21	3,75		
		MAM	3,80	3,49	3,34	3,61	0,96	3,42	5,75	4,33	3,34	2,09	4,38	6,68	5,26	3,29	3,01	5,23	7,50	4,56	3,35	2,26	4,59	6,83	6,54	3,27	4,22	6,45	8,81		
		JJA	12,33	2,71	12,47	2,47	10,70	12,43	14,17	13,47	2,64	11,56	13,37	15,27	14,27	2,69	12,30	14,10	16,13	13,60	2,67	11,69	13,50	15,47	16,07	2,93	13,90	15,80	18,13		
		SON	4,82	3,63	4,99	3,59	2,59	5,01	7,43	6,12	3,45	3,78	6,08	8,46	7,07	3,45	4,70	7,04	9,47	6,42	3,46	4,06	6,41	8,77	8,69	3,41	6,32	8,64	11,06		
	EZG-Raab	DJF	-3,99	4,24	-3,86	4,39	-6,70	-3,49	-0,84	-2,49	4,33	-5,21	-2,01	0,49	-1,29	4,09	-3,79	-1,00	1,48	-2,30	4,18	-4,95	-1,94	0,55	0,60	3,63	-1,72	0,61	3,04		
		MAM	3,75	3,38	3,30	3,47	0,98	3,36	5,66	4,05	3,22	1,90	4,08	6,27	4,93	3,14	2,78	4,91	7,07	4,23	3,24	2,03	4,28	6,43	6,26	3,21	4,02	6,21	8,49		
		JJA	12,47	2,65	12,60	2,43	10,91	12,70	14,37	13,33	2,70	11,33	13,30	15,23	14,13	2,76	12,13	14,07	16,10	13,43	2,74	11,46	13,43	15,40	16,10	3,00	13,83	15,93	18,30		
		SON	4,74	3,80	4,92	3,62	2,48	4,94	7,44	5,74	3,36	3,45	5,73	8,07	6,71	3,42	4,37	6,72	9,12	6,09	3,42	3,73	6,09	8,47	8,43	3,45	6,00	8,40	10,86		
tasmax [°C]	EZG-Schwechat	DJF	2,99	4,92	3,02	4,80	-0,34	2,91	6,48	4,62	4,61	1,34	4,60	7,91	5,77	4,70	2,43	5,69	9,12	4,65	4,56	1,42	4,57	7,86	7,72	4,62	4,43	7,65	11,00		
		MAM	13,88	4,97	13,12	4,75	9,76	13,03	16,37	13,94	4,57	10,66	13,82	17,20	14,87	4,63	11,49	14,70	18,13	14,12	4,66	10,76	14,01	17,43	16,13	4,62	12,75	15,87	19,37		
		JJA	23,33	4,24	23,57	3,87	20,77	23,57	26,37	24,57	4,00	21,63	24,53	27,50	25,27	4,00	22,30	25,17	28,17	24,67	3,98	21,70	24,63	27,67	27,03	4,18	23,90	26,90	30,13		
		SON	13,13	4,43	13,68	4,71	10,39	13,69	17,00	14,86	4,57	11,66	14,78	18,03	15,82	4,57	12,64	15,79	19,03	15,17	4,55	11,98	15,12	18,40	17,50	4,48	14,33	17,47	20,70		
	EZG-Raab	DJF	3,34	4,79	3,19	4,55	-0,05	3,06	6,49	4,98	4,37	1,88	5,00	8,10	6,16	4,41	3,02	6,11	9,37	5,09	4,31	2,03	5,06	8,14	8,17	4,32	5,08	8,11	11,27		
		MAM	14,50	4,76	13,79	4,40	10,77	13,76	16,83	14,56	4,22	11,61	14,45	17,47	15,50	4,23	12,47	15,30	18,37	14,73	4,27	11,69	14,66	17,67	16,73	4,25	13,71	16,53	19,67		
		JJA	23,67	3,77	23,93	3,35	21,60	23,97	26,30	25,13	3,71	22,43	25,13	27,83	25,83	3,72	23,07	25,77	28,57	25,20	3,70	22,50	25,17	27,93	27,73	3,89	24,80	27,67	30,60		
		SON	13,75	4,45	14,30	4,41	11,35	14,37	17,37	15,51	4,28	12,58	15,43	18,47	16,38	4,27	13,41	16,34	19,40	15,73	4,28	12,73	15,72	18,80	18,10	4,21	15,13	18,10	21,13		
pr [mm]	EZG-Schwechat	DJF	53,02	124,75	46,93	106,90	0,36	8,20	65,54	50,35	111,81	0,42	9,10	71,45	51,18	117,58	0,49	9,33	70,90	51,24	113,85	0,47	9,47	73,70	56,89	132,49	0,47	9,81	77,39		
		MAM	69,64	172,16	75,43	171,26	0,68	14,86	103,44	80,08	178,49	0,78	15,79	110,65	82,60	184,69	0,68	16,20	113,93	80,47	180,12	0,64	16,30	111,78	83,84	194,15	0,71	14,56	112,75		
		JJA	87,16	207,33	84,58	204,61	0,36	12,67	112,47	81,99	196,80	0,33	11,95	107,87	84,81	204,63	0,40	11,61	109,31	82,60	197,63	0,35	11,50	107,25	83,14	204,72	0,27	10,02	102,15		
		SON	61,14	151,41	64,44	164,61	0,09	7,10	80,71	61,89	160,61	0,15	6,19	75,92	65,83	169,73	0,19	7,06	79,50	64,80	168,38	0,20	6,68	79,21	66,57	176,73	0,19	6,06	78,55		
	EZG-Raab	DJF	32,29	95,95	41,73	116,02	0,05	3,06	48,61	45,29	117,07	0,07	4,22	56,81	46,67	122,96	0,07	4,04	57,96	45,42	119,52	0,06	3,94	56,59	52,61	140,68	0,09	4,34	63,40		
		MAM	60,09	140,74	73,89	170,72	0,44	10,99	98,66	74,85	168,95	0,49	12,09	102,88	77,19	174,52	0,42	11,84	105,83	75,46	170,49	0,36	11,93	106,25	81,09	184,16	0,38	11,57	111,17		
		JJA	113,27	232,95	85,81	196,71	0,33	12,15	115,76	81,81	185,83	0,41	12,29	111,04	86,07	195,25	0,33	11,66	115,50	83,32	190,69	0,32	11,72	112,25	82,14	198,68	0,23	8,82	102,31		
		SON	66,49	178,97	70,82	185,49	0,07	5,08	83,17	64,75	174,64	0,04	4,07	74,83	71,01	187,66	0,08	5,70	83,78	69,08	182,02	0,11	5,15	83,32	72,14	197,46	0,02	3,91	80,45		