

Verbundübergreifender Schlussbericht



ViWA – Virtual Water Values

Vorhabenbezeichnung:

ViWA – Virtual Water Values: Multiskaliges Monitoring globaler Wasserressourcen und Optionen für deren effiziente und nachhaltige Nutzung

Zuwendungsempfänger:

- TP0: LMU München, Koordination und Projektverwaltung FKZ: 02WGR1423A
- TP1: LMU München, FKZ 02WGR1423A
- TP2: IfW Kiel, FKZ 02WGR1423B
- TP3: UFZ Leipzig, FKZ 02WGR1423C
- TP4: LUH Hannover, FKZ 02WGR1423D
- TP5: HZG GERICS, FKZ 02WGR1423E
- TP6: LRZ, Bayerische Akademie der Wissenschaften, FKZ 02WGR1423F

Laufzeit des Vorhabens:

01.05.2017 – 30.10.2021

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WGR1423A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren:

Prof. Dr. Wolfram Mauser & Dr. Christoph Heinzeller
Department für Geographie, Lehrstuhl für
Geographie und geogr. Fernerkundung,
Luisenstraße 37, 80333 München



Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung.....	4
2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
3. Planung des Vorhabens	5
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde.....	6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	6
6. Der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	7
7. Der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	32
8. Des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ereignisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	32
9. Des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	32
10. Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse in ViWA.....	32

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersicht über die Arbeitspakete und Zusammenarbeit innerhalb des ViWA-Projekts.	5
Abb. 2: Geplanter (laut Antrag, links) und tatsächlicher Zeit- und Arbeitsplan des ViWA-Projekts	6
Abb. 3: ViWA-Flußdiagramm der integrierten, gekoppelten Arbeitsabläufe in ViWA	7
Abb. 4: Flussdiagramm der Kopplung der Teilprojekte	9
Abb. 5: Beispiele der aus Satellitendaten abgeleiteten Blattflächenverläufe	10
Abb. 6: Ergebnis des vollständigen workflows	12
Abb. 7: Die Kopplung des biophysikalischen Modells PROMET mit dem ökonomischen CGE Modell DART-Water im ViWA-Flussdiagramm.	13
Abb. 8: Ergebnisse der CGE-Simulation des Szenarios	14
Abb. 9: Hovmöller-Diagramm der zeitlichen Entwicklung der monatlichen SST-Anomalie [°C]	17
Abb. 10: Differenz der saisonalen Niederschlagssummen in der El-Niño Periode	18
Abb. 11: Analyse von Szenarien als Teil des ViWA-Flussdiagramms für das Ziel 5.....	19
Abb. 12: Analyse von Szenarien als Teil des Flussdiagramms für das Ziel 7.....	21
Abb. 13: Der Water-Food-Energy Nexus in der Donau.....	22
Abb. 14: Validierung des simulierten monatlichen Wasserhaushalts im Einzugsgebiet der Donau	23
Abb. 15: Validierung der simulierten täglichen Abflüsse an den Pegeln der Teileinzugsgebiet	23
Abb. 16: Simulation der aktuellen Maiserträge und der entsprechenden Wassernutzungseffizienz	24
Abb. 17: Simulation der Maiserträge und der entsprechenden Wassernutzungseffizienz	25
Abb. 18: Mittlere monatlichen Abflüsse an ausgewählten Pegeln der Donau 2015-2018	26
Abb. 19: Veränderung des Grundwasserspiegels durch die lokale Wasserentnahme zur Bewässerung von Mais aus dem Grundwasser.....	27
Abb. 20: Analyse des Indikators Environmental Flow Requirements (ERF)	28
Abb. 21: Durchschnittliche jährliche Verkaufsverluste (2015-2018) der großen Wasserkraftanlagen im Donau-Einzugsgebiet	29
Abb. 22: Bathymetrie des Feuchtgebiets im Sambesi-Einzugsgebiet in Sambia aus Sentinel-1 Daten....	30
Abb. 23: Gemessener und simulierter Abfluß am Sambesi-Pegel Chavuma für die Jahre 2013-2017.....	31

I) Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Das Projekt ViWA – Virtual Water Values entwickelte und erprobte auf der lokalen bis zur globalen Ebene neue Monitoring- und Bewertungsmethoden für eine nachhaltige und effiziente Nutzung der Wasserressourcen zur Erreichung der wasserbezogenen SDGs.

2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Projektverantwortlicher und Koordinator des Verbundvorhabens war Prof. Dr. Wolfram Mauser (LMU, Department für Geographie), Administrativer Ansprechpartner Herr Dr. Christoph Heinzeller (LMU, Department für Geographie). Die Projekt-Partner innerhalb des Verbundvorhabens waren: TP 1: Prof. Dr. Wolfram Mauser, Dept. für Geographie, Ludwig-Maximilians Universität (LMU) München (Koordinator); TP 2: Prof. Dr. Gernot Klepper, Dr. Ruth Delzeit, Institute für Weltwirtschaft (IfW), Kiel; TP 3: Prof. Dr. Sabine Attinger, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig; TP 4: Prof. Dr. Christina von Haaren, Leibniz Universität Hannover (LUH); TP 5: Prof. Dr. Daniela Jacob, Dr. Andreas Hänsler, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany (HZG-GERICS), Hamburg; TP 6: Prof. Dr. Dieter Kranzlmüller, Dr. Anton Frank, Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften; TP 7: Dr. Heike Bach, VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, München.

Für die Koordination und die Projektverwaltung des Verbundprojekts wurde durch die LMU eine Wissenschaftlerstelle sowie $\frac{1}{4}$ Verwaltungsstelle bereitgestellt. Des Weiteren leitet die LMU im AP 1, gemeinsam mit der flow gGmbH, das Co-Design, die Co-Production und die Co-Dissemination der Ergebnisse. Der 01.05.2017 wurde als Projektstart und der 30.04.2020 als Projektende festgelegt. Eklatanter Mangel an ViWA-qualifiziertem Personal bei den DoktorandInnen und postDocs verursachte Verzögerungen bei der Einstellung weshalb IfW, LUH, UFZ eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 31.12.2020, der LMU bis zum 30.10.2021 genehmigt wurde. Aufgrund der Corona Pandemie fanden im Projektjahr 2020 praktisch keine Dienstreisen mehr statt. Alle internen Projekttreffen der Jahre 2020 und 2021 sowie die GRoW-Abschlusskonferenz, wurden in virtueller Form abgehalten.

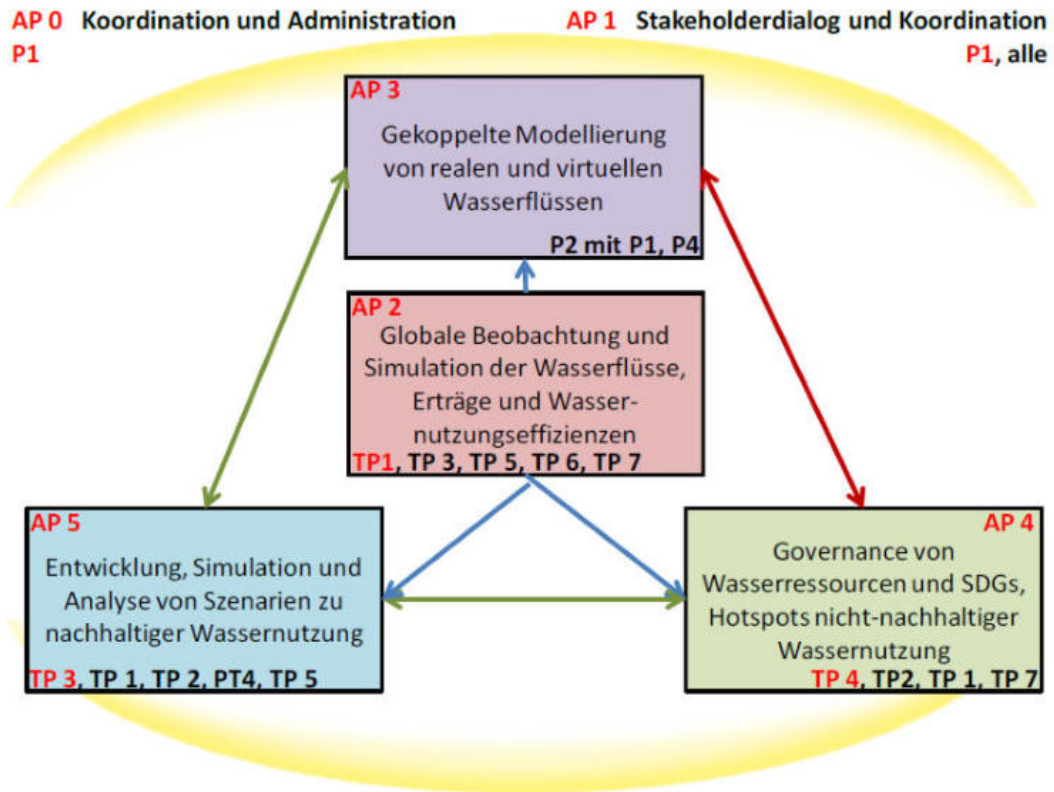


Abb. 1: Übersicht über die Arbeitspakete und Zusammenarbeit innerhalb des ViWA-Projekts.

ViWA gliederte sich in sechs Arbeitspakete, dem Projektmanagement in AP 0, der Stakeholderbeteiligung in AP 1 und den vier inhaltlichen Arbeitspaketen AP 2 bis AP 5 (s. Abb. 1).

3. Planung des Vorhabens

In Abbildung 2 rechts sind die Monate vermerkt, in denen die internen Projekttreffen (PT) sowie die Stakeholderworkshops (SWS) abgehalten wurden. Insgesamt konnte mit der bewilligten kostenneutralen Laufzeitverlängerung bis zum 31.12.2020, die ursprünglich geplanten teilprojektübergreifenden Ziele von ViWA (ausser TP1) erreicht werden. TP1 (LMU) erreichte die Projektziele mit dem 30.10.2021.

Schlussbericht ViWA

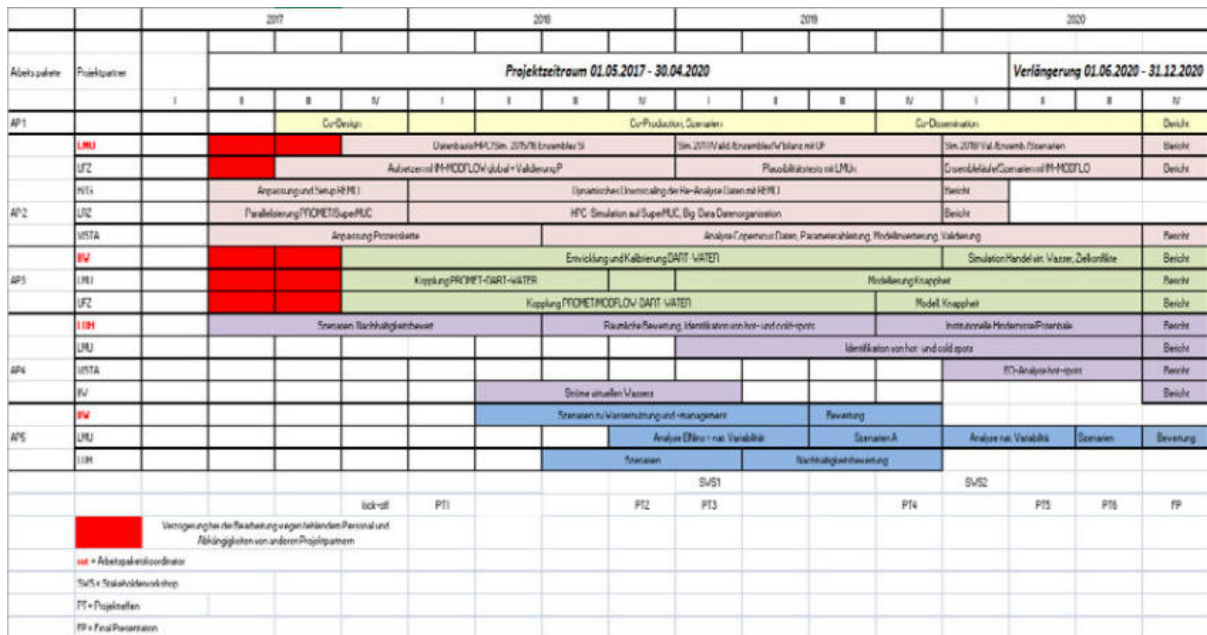


Abb. 2: Geplanter (laut Antrag, links) und tatsächlicher Zeit- und Arbeitsplan des ViWA-Projekts (rechts) ho-he Auflösung siehe Anhang.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Zu Beginn von ViWA gab es in den einzelnen Teilprojekten eine kleine Anzahl von Ansätzen, die das geplante Monitoring und die ökonomische und ökologische Bewertung der wasserbezogenen SDGs in einzelnen Skalen adressierten. Allerdings waren für die genannten Zwecke keine praktisch, interdisziplinär und multiskalig anwendbaren Instrumente verfügbar. Dies betrifft vor allem die Prozessierung der Satellitendaten, die ökonomische Modellierung, bei der Neuland betreten werden sollte, die ökologische Bewertung sowie Aussagen zur Brauchbarkeit neuer meteorologischer Treiber wie ERA-5 und GERICS-Daten für die Projektzwecke.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

ViWA war ein relativ großes Netz an Projektpartnern aus unterschiedlichen Disziplinen, die sich in ihren Arbeiten und Ansätzen gut in der Erreichung des Gesamtzieles des Projekts ergänzt haben. Es wurden deshalb keine externen wissenschaftlichen Partner zur direkten Zusammenarbeit mit ViWA eingeladen. ViWA hat allerdings zum Zweck des Abgleichs der Ergebnisse mit den Bedarfen der zukünftigen Nutzer ein starkes Netz von Stakeholdern gewinnen können. Zu ihnen zählte die Internationale Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR), die Europäische Weltraumorganisation ESA mit ihrer Food Security Thematic Exploitation Platform (FS-TEP), der WWF, der europaweit größte Farm-Supplier BayWa, die HIPP Gruppe, die GIZ, Eschborn und viele andere. Der Dialog im Rahmen regelmäßiger Stakeholdertreffen führte mit den Genannten zu Zusammenarbeiten und Austauschen unterschiedlicher Intensität, von der Erzeugung direkter Ergebnisse auf der Grundlage von spezifizierten Bedarfen (z.B. WWF) bis zur gemeinsamen Organisation von Workshops zur Präsentation von ViWA-Ergebnissen (z.B. ICPDR).

II)Eingehende Darstellung

6. Der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Im Zentrum von ViWA stand die globale bis regionale Analyse des Spannungsfeldes von Wasser- und Landwirtschaft auf der Basis der Erkenntnis, dass die Landwirtschaft mit mehr als 90% beim Verbrauch der globalen Wasserressourcen (grün und blau) durch den Menschen beteiligt ist. Dieser landwirtschaftliche Verbrauch lenkt zur Erzeugung von Nahrungsmitteln Wasser durch Verdunstung in die Atmosphäre um, schließt damit eine Mehrfachnutzung der Ressource vor Ort aus und ist deshalb bzgl. ihrer Nachhaltigkeit besonders kritisch zu analysieren. Nachdem Wasserverbrauch für die Erzeugung von Nahrungsmitteln nicht vermieden werden kann, steht die Steigerung der Nutzungseffizienz und die lokale bis regionale Nachhaltigkeit der Verfügbarkeit der verbrauchten Wasserressource im Vordergrund aller Überlegungen.

Die Ergebnisse von ViWA entstehen aus einem komplexen Ineinandergreifen der Arbeiten der beteiligten Teilprojekte von ViWA. Sie führen von der umfangreichen Aufbereitung von Satellitendaten und der Extraktion nutzbarer Nachhaltigkeitsparameter aus ihnen, über eine gekoppelte ökonomische Analyse des Handels und des Einflusses des (virtuellen) Wassers auf die Preisentwicklung von Nahrungsmitteln auf dem Weltmarkt in Abhängigkeit von Managementmaßnahmen, bis hin zu einer ökologischen Bewertung von komplexen Systemlösungen im Spannungsfeld zwischen Land- und Wasserwirtschaft, z.B. im Zusammenhang mit der großflächigen Einführung von Bewässerungssystemen.

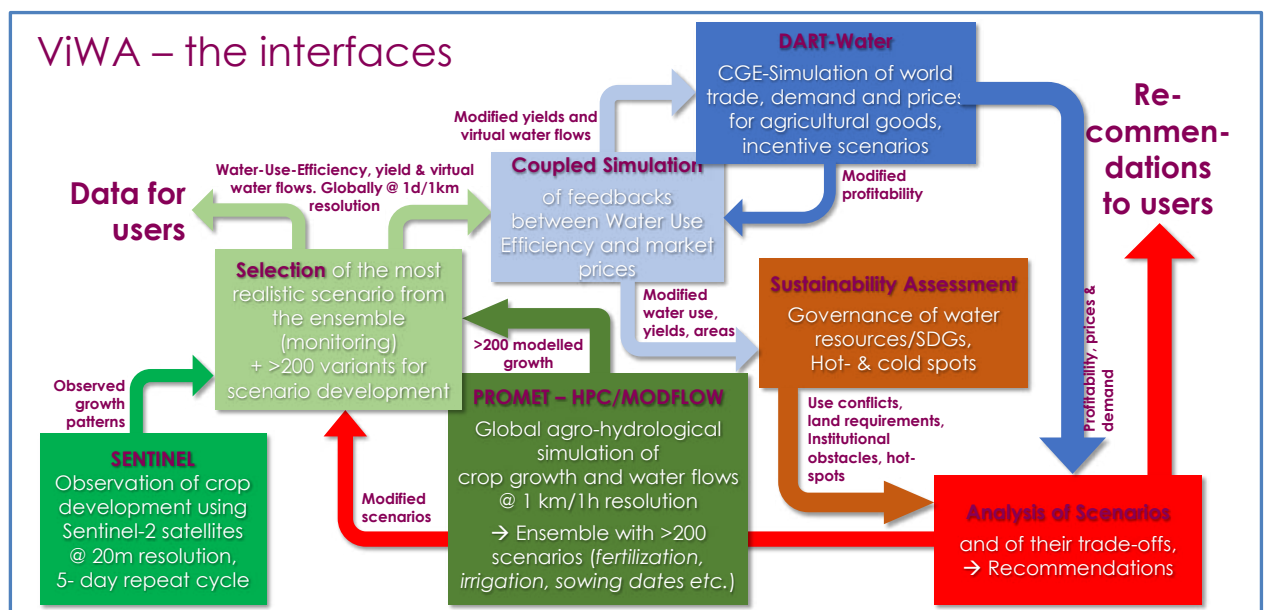


Abb. 3: ViWA-Flußdiagramm der integrierten, gekoppelten Arbeitsabläufe in ViWA (grün = Agricultural Water Use Efficiency Monitoring System, blau = Simulation des Welthandels mit dem general computable equilibrium model DART, braun = sustainability assessment

Abbildung 3 verdeutlicht das Zusammenspiel der Teilprojekte von ViWA auf inhaltlicher Ebene. Das ViWA-Flussdiagramm leitet sich aus den im Antrag formulierten übergeordneten Zielen ab, die die Teilziele der einzelnen Teilprojekte bündeln sollen und zu denen bzgl. der Nutzung der Mittel und der Zielerreichung im Folgenden berichtet werden soll:

Ziel 1: die aktuelle Nutzung der knappen Wasserressourcen, die Effizienz der Wassernutzung und der landwirtschaftlichen Erträge auf einer jährlichen und globalen Ebene und mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung durch einen neuen kombinierten Beobachtungs- und Modellierungsansatz basierend auf Daten der Copernicus Erdbeobachtungssatelliten zu identifizieren und zu quantifizieren,

Ziel 2: die wirtschaftlichen Folgen und mögliche Ineffizienz der aktuellen Wassernutzung und Wasserverteilung für die Landwirtschaft, die Industrie und das Wasserressourcenmanagement auf der Basis der Monitoring-Daten aus Ziel 1 zu bewerten und zu beurteilen, einschließlich des Handels mit virtuellem Wasser,

Ziel 3: die Folgen eines Übergangs zu einer nachhaltigeren und effizienteren Wassernutzung für die regionale Wohlfahrt von wasserreichen sowie wasserarmen Ländern in Bezug auf die lokal nachhaltige Wassernutzung und auf den globalen virtuellen Wasserhandel zu untersuchen,

Ziel 4: die Vulnerabilität der Landwirtschaft und der Ökosysteme durch Klimaschwankungen in Bezug auf die Verfügbarkeit von Wasser zu bewerten,

Ziel 5: regionale Brennpunkte nicht nachhaltiger Wassernutzung zu identifizieren und zu analysieren, welche institutionellen Hindernisse für eine nachhaltige und effiziente Wassernutzung dort bestehen,

Ziel 6: trade-offs zwischen der Wassernutzung und dem Schutz von Ökosystemdienstleistungen zu identifizieren, und

Ziel 7: Lösungsmöglichkeiten für ein nachhaltiges Wassermanagement mit Hilfe von Szenarien und auf der Basis der identifizierten trade-offs systematisch zu untersuchen und für ausgewählte Anwendungsfälle zu entwickeln und zu demonstrieren.

Die LMU (TP1) war, neben der Bearbeitung der wissenschaftlichen Ziele, mit der Koordination und der Projektverwaltung des Verbundprojekts beauftragt. Hierfür wurde eine Wissenschaftlerstelle sowie ¼ einer Verwaltungsstelle bereitgestellt. Die von der Projektkoordination durchgeführten Tätigkeiten umfassten

- die Abstimmung und den Beschluss eines Kooperationsvertrages zwischen den Projektpartnern zu Beginn des Vorhabens,
- die Zusammenführung der Arbeiten der Projektpartner,
- die Erstellung und Abstimmung von Formaten für die Dokumentation der im Projekt entwickelten Werkzeuge,
- die Organisation der Projekt- und Stakeholdertreffen (gemeinsam mit der flow gGmbH)
- sowie die Koordination der Projektberichte.

An der Vorbereitung der Veranstaltungen zur Kommunikation zwischen Stakeholdern und Projektwissenschaftlern waren die Projektpartner der flow gGmbH und die LMU beteiligt. Zur Vorbereitung der

Veranstaltungen wurden von Stakeholdern wie Projektpartnern Informationen abgefragt und gebündelt. An den Veranstaltungen nahmen in der Regel Vertreter aller Projektpartner teil (s. auch Zwischenberichte der einzelnen Jahre, in denen die Stakeholdertreffen dokumentiert sind). Die Erkenntnisse und Empfehlungen der Veranstaltungen wurden entsprechend den Möglichkeiten des Projektes im weiteren Verlauf umgesetzt.

Im Folgenden werden die Teilprojekt-übergreifenden Ergebnisse von ViWA dargestellt. Dabei kann und soll nicht auf einzelne z.T. sehr relevante sektorale Ergebnisse der einzelnen Teilprojekte eingegangen werden. Diese sowie Details der dargestellten Ergebnisse sind den Abschlussberichten der Teilprojekte sowie den Publikationen der Projektpartner zu entnehmen.

Erreichte Ziele

Ziel 1: war es, die wissenschaftlichen Grundlagen für ein globales, hochaufgelöstes Monitoring-System der aktuellen landwirtschaftlichen Wassernutzungseffizienz unter Nutzung der Big-Environmental-Data Ströme der Copernicus-Sentinel-2 Satelliten und der Simulation der zugrundeliegenden Wachstumsprozesse und Wasserverbräuche der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen zu entwickeln und in einer globalen Proof-of-Concept Pilotanwendung die erzielten Ergebnisse zu zeigen. Für dieses Teilziel haben die Teilprojekte TP1, TP7 (Vista) und TP5 (Gerics) und TP6(LRZ) eng zusammengearbeitet.

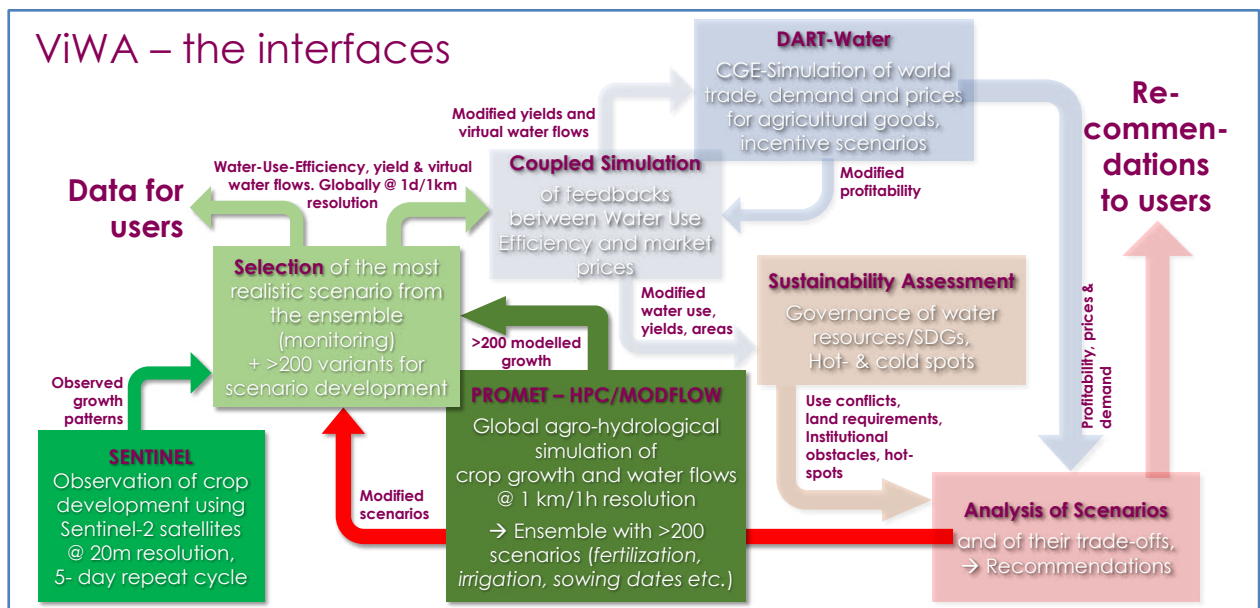


Abb. 4: Flussdiagramm der Kopplung der Teilprojekte TP1, TP7, TP5 und TP6 zur Umsetzung des kombinierten Satelliten- und Modell-gestützten globalen Monitoring-Konzeptes für die aktuelle Wassernutzungseffizienz in der Landwirtschaft.

Abbildung 4 zeigt das Flussdiagramm des Vorgehens: TP7 stellt für ca. 120 Sentinel-2 Kacheln (jede davon 100x100km) für die Jahre 2015 bis 2018 aus Bildserien abgeleitete Verläufe der Pflanzenentwicklung (Blattfläche) zur Verfügung. TP1 simuliert, auf der Grundlage von meteorologischen Inputs aus ERA-5

Reanalysedaten (1h, 25 km) und durch TP5 aufbereiteten hochaufgelösten Simulation des globalen Wettergeschehens (1h, 11-22 km), für eine Vielzahl von landwirtschaftlichen Praktiken und Anbaufrüchten mit dem Modell PROMET, mit 1h und 1km Auflösung, zeitlich Verläufe der Blattflächenentwicklung und die dazugehörigen Wassernutzungseffizienzen. TP6 stellt, nach Anpassung von PROMET an die High Performance Computing Umgebung des SuperMUC und SuperMUC-NG, die massiven Rechen- und Speicherkapazitäten des Leibniz-Rechenzentrums zur Verfügung und betreut die Simulationen. TP1 vergleicht die gemessenen (Satellit) und simulierten (PROMET) Blattflächenverläufe für die unterschiedlichen landwirtschaftlichen Praktiken, identifiziert den besten Match und bestimmt daraus individuell für jedes Pixel die individuelle Wassernutzungseffizienz.

Es ist den beteiligten Teilprojekten in ViWA gemeinsam gelungen zu zeigen, dass

1. eine weltweite Analyse der Sentinel-Datenströme anhand von Zeitserien von 120 Sentinel Kacheln in unterschiedlichen landwirtschaftlichen Regionen mit einem einheitlichen Ansatz und ohne die Nutzung von spezifischer Ground-Truth möglich ist und zu sinnvollen Ergebnissen in Form von identifizierten Nutzpflanzen und ihren individuellen Wachstumsverläufen führt. Die abgeleiteten dynamischen Parameter sind dabei die jährliche Nutzpflanzart sowie die zeitliche Entwicklung der Blattfläche. Dies wurde, unseres Wissens nach, noch nie zuvor gezeigt. Die Genauigkeit der Ableitung der Parameter erreichte dort, wo Validierungsdaten vorliegen, ein hohes bis sehr hohes Niveau.

Es wurde ein Samplingverfahren entwickelt und umgesetzt für die stichprobenartigen Satellitenkacheln zur globalen Abdeckung der landwirtschaftlichen Vielfalt mit 120 Samples. Es wurde eine dedizierte Prozesskette zur Aufbereitung und Verarbeitung der umfangreichen Satellitendaten weiterentwickelt und erfolgreich global angewandt. Zudem konnte anhand von verfügbaren Validierungsdaten die Qualität der erzeugten Blattflächenverläufe demonstriert werden.

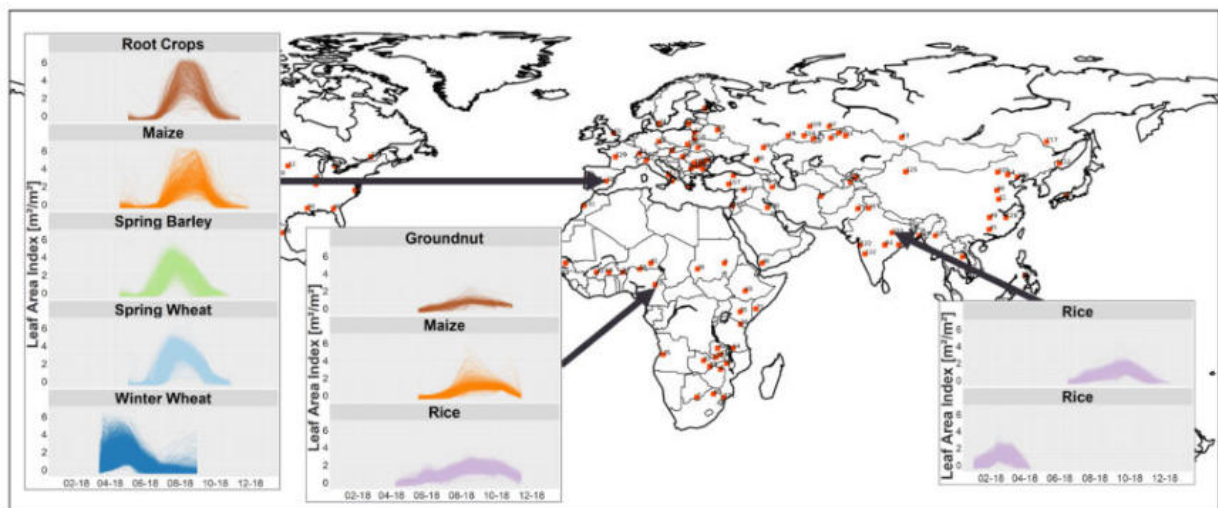


Abb. 5: Beispiele der aus Satellitendaten abgeleiteten Blattflächenverläufe für 3 unterschiedliche Kacheln in Europa, Afrika und Asien und den dortigen Hauptanbaufrüchten. Die Daten wurden mit der Via3-Prozesskette erzeugt (siehe Abschlussbericht TP7).

Es wurden insgesamt weltweit mehr als 10 000 Satellitenbilder der Sentinel-2 Satelliten analysiert. Dazu wurde vorwiegend die ESA- Food-Security Exploitation Platform (FS-TEP) genutzt. Dies hat den Vorteil, dass das umfangreiche Bildmaterial in einer europäischen Cloud ohne Abtretung von property rights (z.B. an Amazon) genutzt werden konnten und nur die Ergebnisse transferiert wurden. Auch dies ist ein erfolgreich gezeigtes Novum.

2. ... es möglich ist eine weltweite Parametrisierung der wesentlichen Wachstumsparameter und ihres Zusammenhangs mit dem Wasserverbrauch und der Stickstoffdüngung für das hydro-agro-ökologische Prozessmodell PROMET zu entwickeln. Diese erlaubt die weltweiten statischen Erkenntnisse zu den Erträgen durch Simulation zu rekonstruieren und den damit verbundenen Wasserverbrauch der Nutzpflanzen sowohl für grünes Niederschlags- und blaues Bewässerungswasser realistisch zu simulieren. Dies ermöglicht die detaillierte Darstellung der globalen WUE.

3. ... an ausgewählten Orten für die Sentinel-2 Kacheln analysiert wurden, die erzeugten räumlich verteilten Zeitserien aus den Satellitenbeobachtungen in PROMET assimiliert werden können und damit die Modellsimulationen an die gemessene Wirklichkeit angepasst werden kann. Der Vergleich der Ergebnisse der Assimilation mit Validierungsdaten zeigt durchweg, dass die Satellitendaten die Ergebnisse der Erträge verbessern, aufzeigen wo aktuell bewässert wird und das Simulationsmodell so beeinflussen, dass es die aktuell verbrauchten Wassermengen der Nutzpflanzen, sowohl aus Niederschlag als auch in Form von (Zusatz)-Bewässerung, z.T. massiv verbessern. Der gewählte Ansatz, Pflanzen-Parameter aus der Fernerkundung direkt in ein global nutzbares hydro-agro-ökologisches Modell zu assimilieren, wurde damit weltweit erstmals erfolgreich bestätigt. Dies ist Voraussetzung für ein aktuelles, auf global verfügbaren Satelliten-Beobachtungen gestütztes Monitoring-System für die landwirtschaftliche WUE.

4. ... mit PROMET global, mit einer zeitlichen Auflösung von 1h und einer räumlichen Auflösung von 1km für eine breite Palette von landwirtschaftlichen Praktiken (Sortenwahl, Aussaat, Düngung) global die Wachstums- und Blattflächenentwicklung der Nutzpflanzen sowie ihren Ertrag und ihre Wassernutzungseffizienz mit und ohne Bewässerung mit den Parametersätzen aus 3) simuliert werden können. Es galt dabei auch zu prüfen, ob die global verfügbaren meteorologischen Antriebe, sowohl von ERA-5 Reanalyse-Daten, als auch von hochaufgelösten GERICS-Simulationen, von ihrer räumlichen und zeitlichen Genauigkeit geeignet sind, ein realistisches Abbild der globalen landwirtschaftlichen Wassernutzung und Ertragsbildung zu simulieren. Bisher wurden global verfügbare meteorologische Datensätze in landwirtschaftlichen Simulationsmodellen global genutzt, indem der jeweilige regionale Ertrag an der FAO-Ertragsstatistik angeeicht wurde. PROMET kommt demgegenüber ohne Eichung aus und ist damit erstmals in der Lage, den Einfluss unterschiedlicher meteorologischer Treiber auf die Ergebnisse zu quantifizieren.

5. ... PROMET sehr effizient in der High Performance Computing Umgebung des Leibniz Rechenzentrums der Bayerischen Akademie der Wissenschaften genutzt werden kann. Hierbei geht es darum, durch

optimale Parallelisierung und load balancing die Rechenressourcen der ca. 270 000 verfügbaren Prozessoren optimal zu nutzen und die Ergebnisdaten handhabbar zu speichern und verfügbar zu machen. Diese Arbeiten wurden von TP6 durchgeführt.

PROMET wurde damit im Rahmen von ViWA erfolgreich für die Nutzung auf dem High Performance Computing (HPC)-System SuperMUC NT der Bayerischen Akademie der Wissenschaften angepasst. Für die globalen, hochauflösten (1km, 1h) Läufe kam SuperMUC NT erfolgreich zum Einsatz und hat Ergebnisse mit einem Primär-Datenvolumen von ca. 120 TByte erzeugt. Zu ihrer Analyse wurden im Rahmen von ViWA Tools entwickelt, die in der Lage sind die wesentlichen Ergebnisse (in Form von Karten, hot-spots, etc.) zu erzeugen. Die Daten werden zum Zeitpunkt der Erstellung des Endberichts von ViWA von TP1 ausgewertet. Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Bestimmung der globalen Verteilung der landwirtschaftlichen Wassernutzungseffizienz (AWUE, kg Trockenmasse pro m³ verdunstetes Wasser) von Mais. Es zeigen sich sehr hohe Effizienzen beim Verbrauch von Wasser zum Maisanbau in den USA, Westeuropa und China, hohe Werte in Südamerika und hot-spots wasser-ineffizientem Maisanbaus in Sub-Sahara Afrika, besonders in Angola, Sambia, Tansania und Äthiopien.

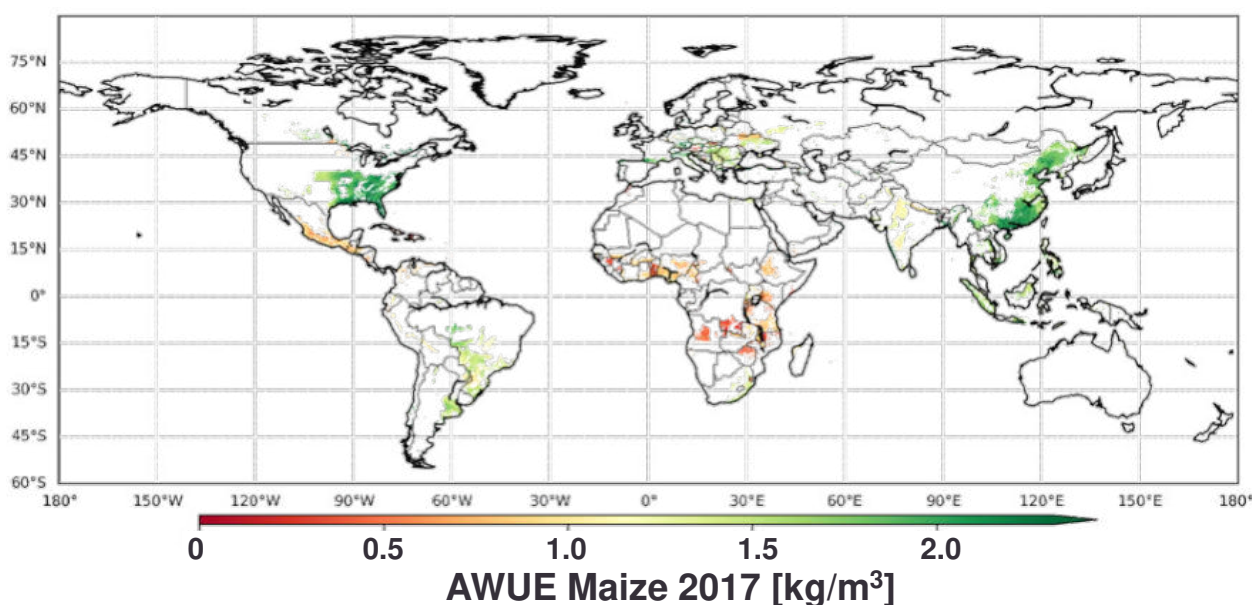


Abb. 6: Ergebnis des vollständigen workflows (siehe Abbildung 3) zur Ermittlung der globalen landwirtschaftlichen Wassernutzungseffizienz am Beispiel von Mais 2017.

Zusammenfassung:

Ziel 1 wurde in der absoluten Mehrzahl der gesteckten Ziele bei der Entwicklung des Monitoringsystems für Ertrag und AWUE vollumfänglich erreicht. Sämtliche Komponenten des Monitoringsystems wurden erfolgreich entwickelt, anhand der verfügbaren Validierungsdaten getestet und erfolgreich integriert. Mit dem Gesamtsystem wurde für ausgewählte Jahre ein globales Monitoring durchgeführt. Letzte Auswertungen der umfangreichen Datensätze werden zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes für einzelne landwirtschaftliche Nutzpflanzen durchgeführt. Die erzeugten Daten werden nach Abschluss von

ViWA auf der Food Security-Thematic Exploitation Platform (FS-TEP) der ESA zur Nutzung durch alle interessierten, und vor allem die Fernerkundungs-affinen landwirtschaftlichen Nutzer, zur Verfügung gestellt. FS-TEP bietet für die Nutzung der Fernerkundung für landwirtschaftliche Fragestellungen freien, kostenlosen Zugang zu Satelliten- und Zusatzdaten sowie zu cloud-computing Kapazitäten und Software an. Dies wird vor allem im Entwicklungszusammenhang mit Afrika schon heute umfangreich genutzt. Das Hosting der genannten Ergebnisse aus Ziel 1 von ViWA durch das FS-TEP stellt eine zielgenaue Verbreitung und umfangreiche Nutzung der umfangreichen Ergebnisse durch interessierte Communities im Wasser- und Landwirtschaftsbereich sicher.

Die erfolgreiche gemeinsame Projektarbeit wurde von TP7 (VISTA GmbH) dazu genutzt, aus den Ergebnissen heraus eine spin-off Anwendung zu entwickeln, die eine wichtige Lücke im europäischen Vorhersagesystem für landwirtschaftliche Erträge schließt. YPSILON, Yield Prediction by Satellite, erlaubt es auf der Grundlage einer Kombination von Satellitendaten und Modellsimulationen die Erträge landwirtschaftlicher Nutzpflanzen in Europa zu einem früheren Zeitpunkt mit höherer Genauigkeit vorherzusagen, als das bisher möglich war. Diese Information wird von landwirtschaftlichen Infrastrukturfirmen (Maschinen- und Speicherverfügbarkeit), Nahrungsmittelproduzenten (z.B. Brauereien), dem Agrarhandel und der Warenterminbörse, etc. benötigt, um ihre Service zu verbessern.

Ziel 2: war es, die wirtschaftlichen Folgen und mögliche Ineffizienz der aktuellen Wassernutzung und Wasserverteilung für die Landwirtschaft, die Industrie und das Wasserressourcenmanagement auf der Basis der Monitoring-Daten aus Ziel 1 zu bewerten und zu beurteilen, einschließlich des Handels mit virtuellem Wasser.

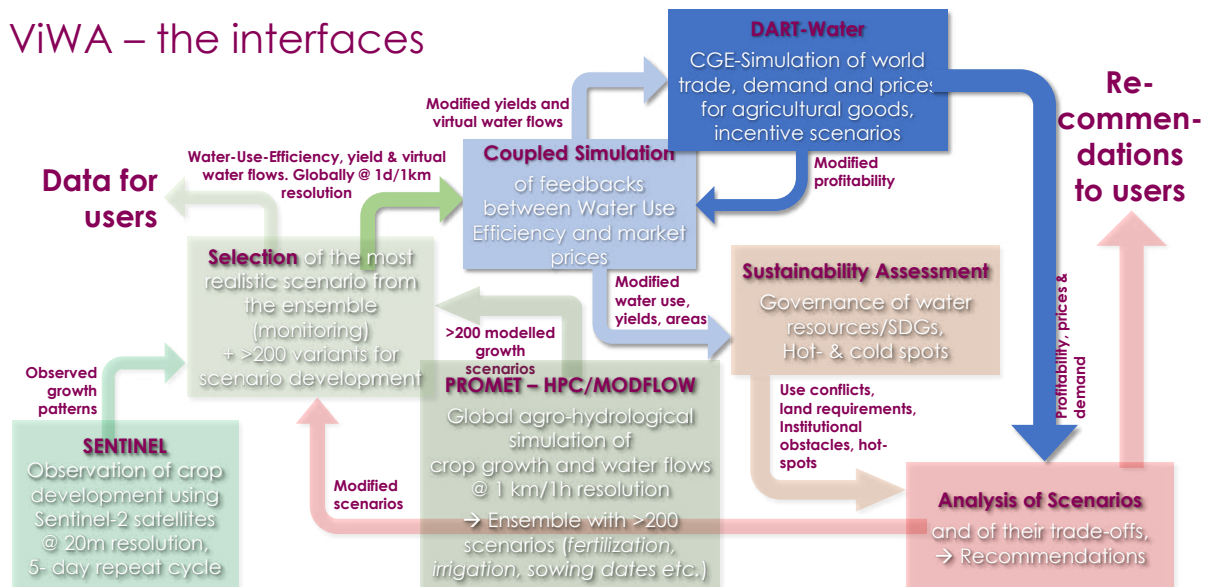


Abb. 7: Die Kopplung des biophysikalischen Modells PROMET mit dem ökonomischen CGE Modell DART-Water im ViWA-Flussdiagramm.

ur Erreichung dieses Ziels arbeiteten TP1 und TP2 eng zusammen. Das ursprünglich geplante Vorgehen, Wasser auf neue Art in das computable general equilibrium Modell DART einzubauen, wurde von zwei Seiten angegangen. Zum einen bestand es aus Literatur- und Datenrecherche zu den Sektoren der ökonomischen Wassernutzung in den verschiedenen Sektoren Landwirtschaft, Industrie und Haushalte. Zum anderen wurden erste gekoppelte Läufe der Modelle PROMET und DART durchgeführt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bepreisungspolitiken speziell für Bewässerungswasser auf die Veränderung der Versorgung und der Handelsbilanzen unterschiedlicher Regionen zu untersuchen. Angenommen wurde ein Szenario, in dem global Bewässerungswasser einem zum GDP proportionalen Preis bekommt. Dies verändert die allgemeine Preisstruktur der landwirtschaftlichen Früchte auf dem Weltmarkt und führt zu veränderten Handelsströmen. Zur gekoppelten Simulation wurden bewässerte und unbewässerte Erträge sowie benötigte Bewässerungswassermengen für Sojabohnen und Mais sowie für 14 weitere Hauptanbauprodukte global mit PROMET simuliert und als Eingaben in das Kieler CGE -Modell DART verwendet. Mit DART wurden neue Gleichgewichtspreise für die Anbauprodukte und resultierende Warenströme simuliert. In Abbildung 8 links ist für die globalen Hauptanbauregionen China, Brasilien, USA und Mittelmeerregion die Veränderung des Angebots an bewässertem und unbewässertem Soja und Mais zu sehen, die durch eine Bepreisung des Bewässerungswassers entsteht. Es ist u.A. klar zu sehen, dass der Export von bewässertem Soja und Mais aus Brasilien durch die Bepreisung von Bewässerungswasser stark zurückgeht, während der Export von unbewässertem Mais aus USA und der aus der Mittelmeerregion stark zunimmt. Abbildung 8 rechts zeigt die Veränderung der Handelsbilanz über alle von PROMET simulierten Anbauprodukte als Resultat der Szenario-Annahme einer Bepreisung des Bewässerungswassers. Dabei werden sowohl die bewässerten Flächen (grün) als auch die unbewässerten Flächen (braun) ohne und mit Bewässerungswasserbepreisung betrachtet. Hierbei zeigt sich ein moderater Anstieg der Handelsbilanz bewässerter landwirtschaftlicher Güter in den USA und ein Rückgang der Handelsbilanz bewässerter landwirtschaftlicher Güter für Brasilien und den Mittelmeerraum. Die Handelsbilanzen der unbewässerten Güter bleiben in den drei betrachteten Regionen annähernd gleich.

CGE-Simulations of Policy Impacts: Pricing of Irrigation Water

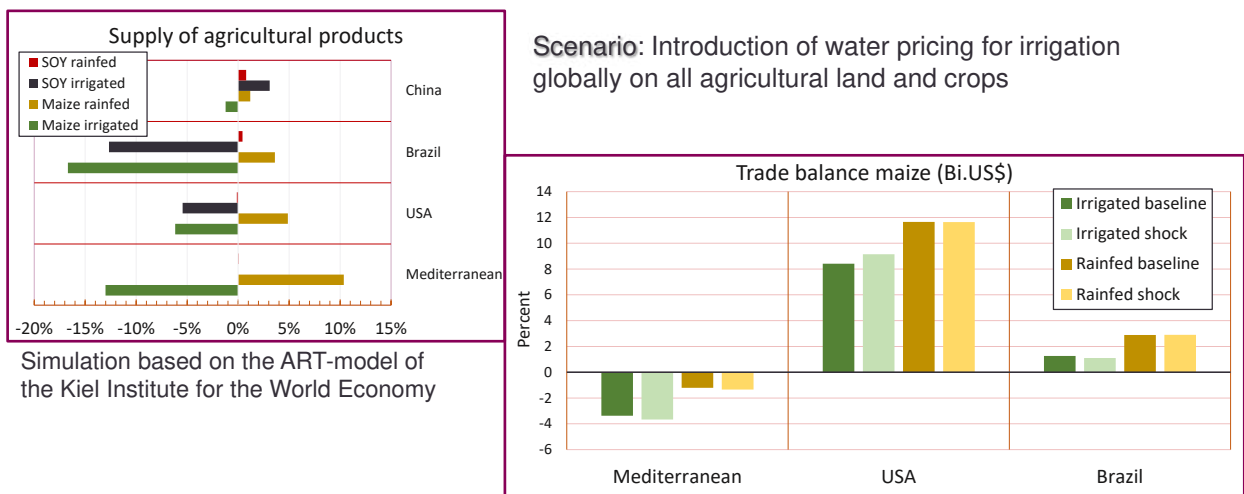


Abb. 8: Ergebnisse der CGE-Simulation des Szenarios: Pricing of Irrigation Water mit globalen PROMET Ertrag- und Wasserbedarf-Simulationen; links: Änderung des Angebots an Soja und Mais in verschiedenen Regionen; rechts: Handelsbilanz für landwirtschaftliche Güter mit und ohne Wasserpreis.

Die Simulationsergebnisse in Abbildung 8 belegen die grundlegende Funktionalität der gekoppelten globalen PROMET-DART Simulationen. Sie zeigen allerdings noch nicht die Auswirkungen der Konkurrenz verschiedener Sektoren um nachhaltig verfügbares Wasser sowie unterschiedlicher Szenarien zu einer Preisgestaltung von Bewässerungswasser und anderer sektoraler Wassernutzung, die Nachhaltigkeitskriterien folgt.

Ziel 3: die Folgen eines Übergangs zu einer nachhaltigeren und effizienteren Wassernutzung für die regionale Wohlfahrt von wasserreichen sowie wasserarmen Ländern in Bezug auf die lokal nachhaltige Wassernutzung und auf den globalen virtuellen Wasserhandel zu untersuchen,

Die Bewertung von Nachhaltigkeit und Effizienz der Wassernutzung auf globaler Ebene erfordert die Kombination von ökonomischen Daten zur sektoralen Wassernutzung in den verschiedenen Volkswirtschaften mit den aus dem Modellverbund erzeugten agrarischen Wassernutzungen. Eine intensive Literaturrecherche zeigte, dass es bisher weder einen konsistenten globalen Datensatz für die Wassernutzung in Landwirtschaft, Haushalten und Industrie gibt, noch dass, nationale Statistiken international vergleichbare Daten zur Verfügung stellen. Darüber hinaus sind selbst nationale Daten unvollständig und teilweise schlecht dokumentiert. Hinzu kommt, dass die Recherche ergab, dass es bisher keinen konsistenten Satz von Definitionen in der Hydrologie gibt, die es erlauben, nationale Statistiken zur Wassernutzung zu vergleichen geschweige denn zu kombinieren. Vor allem die Begriffe Nutzung und Verbrauch werden international intransparent und inkonsistent benutzt. Dies hat zur Folge, dass es nicht möglich ist, die Umlenkung von Wasserströmen (z.B. virtuelles Wasser) von einem Sektor in den anderen bzw. von einem Kompartiment zum anderen adäquat quantitativ in globalen Statistiken abzubilden. Dies allerdings ist bei Fragen der Ein- bzw. Mehrfachnutzung von Wasserressourcen entscheidend. Diese Probleme sind bei der Antragstellung nicht klar gewesen und waren auch in den verfügbaren Publikationen nicht als Defizit angesprochen worden. Dies hat dazu geführt, dass überproportional viele Ressourcen in diese Aktivität investiert werden mussten und auch bis zum Projektende im Zentrum der Analysen stand. Eine Dokumentation dieser Arbeit findet sich in Dantas et al. (accepted).

Die für die Simulation mit DART verfügbare GTAP-Datenbasis enthält 10 Früchte, die teilweise zu Aggregaten zusammengefasst sind. So gibt es nur einen Sektor, der alle Ölsaaten zusammenfasst, außerdem ist Mais, eine wichtige Frucht in einem Getreidesektor, gemeinsam mit anderen Getreidesorten (außer Weizen) ausgewiesen. Schließlich bildet der GTAP-Datensatz Baumwolle nicht explizit ab. Aus Sicht des Wasserverbrauchs ist Baumwolle jedoch wichtig, weil es einen hohen Wasserbedarf besitzt und wirtschaftlich eines der wichtigsten Agrarprodukte ist. Zum Heraustrennen dieser Früchte als eigene Gütergruppen aus der GTAP-Datenbasis wurden die zusätzlich benötigten Dateninformationen, wie z.B. Produktionsmengen, Preise und Handelsmengen, aus Datenbanken der Food and Agricultural Organization (FAO) zusammengetragen. Insbesondere die Produktionsdaten der FAO zu Mais und Soja unterscheiden sich maßgeblich von den Produktionsdaten der GTAP Datenbasis, so dass die Gewichte zur Desaggregation einiger Sektoren in einem zeitintensiven Prozess mehrmals angepasst werden mussten. Die Arbeiten wurden Ende 2018 abgeschlossen. Die neue Datenbasis enthält somit die folgenden Anbaufrüchte (s. Tab. 1).

Tab.1: Korrespondenz zwischen DART und PROMET Anbaufrüchten

Anbaufrüchte in DART		Repräsentation in PROMET
PDR	Paddy rice	Rice,
WHT	Wheat	Summer wheat, winter wheat
MZE	Maize	Maize
GRON	Rest of cereal grains	Sorghum, millet, rye, barley
C_B	Sugarcane, sugar beet	Sugarcane, sugar beet
SOY	Soybean	Soybean
PLM	Oil palm fruit	Oil palm fruit
RSD	Rapeseed	Rapeseed
OSDN	Rest of oil seeds	Groundnut, sunflower
COT	Cotton	Cotton
AGR	Rest of crops	Cassava, potato, maize silage

Die Anbaufrüchte in DART werden durch teilweise mehrere Früchte im PROMET-Modell der LMU abgebildet (siehe Tab1).

Die Informationen über den Verbrauch von grünem Wasser durch die verschiedenen modellierten Pflanzen sollten aus den Modellergebnissen des Forschungsverbunds von LMU, Vista und anderen erzeugt werden. Bei diesem Arbeitsschritt der Verbundpartner traten substantielle Verzögerungen auf, so dass während der Laufzeit des Projekts noch keine endgültigen Modellrechnungen für die verschiedenen Pflanzen und Regionen vorlagen. Nach Projektende sind diese Ergebnisse nun verfügbar und die geplanten Simulationen der wirtschaftlichen Auswirkungen des blauen und grünen Wasserverbrauchs werden in einem nicht mehr von diesem Projekt finanzierten Promotionsvorhaben weiterverfolgt.

Ziel des Projektes war es zudem, die Wassernutzung von verschiedenen Sektoren in das DART-Modell zu integrieren. Dazu wurden basierend auf zunächst fiktiven Daten die 10 Früchte in bewässerte und nicht-bewässerte im Modellcode eingeteilt. Zudem wurde, nachdem die Datensuche erfolglos war, ein alternativer Ansatz verfolgt, um die Wassernutzung in das Modell zu implementieren. Dabei wurde ein in GTAP bestehender Sektor (Wasserservices), der die öffentliche Wasserbereitstellung repräsentiert, genutzt, um aus dem Faktor „Kapital“ den Faktor „blaues Wasser“ heraus zu splitten und somit Wasser als einen Produktionsfaktor im Modell berücksichtigen zu können.

Bezüglich der Integration von Wassernutzung in der Landwirtschaft und der Kopplung der naturwissenschaftlichen Pflanzenwachstumsmodelle wurden für das Donaueinzugsgebiet erste Modellrechnungen vorgenommen. Dabei wurde ein Konzept entwickelt, das es möglich macht, die Verfügbarkeit von grünem (Niederschlag) und blauem Wasser (Bewässerung) und die daraus ableitbaren mit PROMET berechneten Erträge in einem ökonomischen Modell abzubilden und dadurch sowohl optimale Anbaustrategien zu entwickeln als auch die Schattenpreise von in der Regel kostenlos verfügbaren Wasserressourcen zu berechnen.

Die im Antrag beschriebenen Projektziele konnten wegen der angegebenen Gründe nicht vollständig erreicht werden.

Ziel 4: war es, die Vulnerabilität der Landwirtschaft und der Ökosysteme durch Klimaschwankungen in Bezug auf die Verfügbarkeit von Wasser zu bewerten. Dieses Ziel wurde gemeinsam von TP5 und TP1 bearbeitet. Hierzu wurden von TP 5 mit dem regionalen Klimamodell REMO hochaufgelöste Simulationsergebnisse der meteorologischen Antriebe mit einer räumlichen Auflösung von ~12 km (am Äquator) und einer zeitlichen Auflösung von 1 h für die Jahre 2015 – 2018 erzeugt. Schwerpunkt lag dabei auf der Untersuchung des starken el Nino Phänomens im Jahr 2015/16. Ausgangspunkt ist dabei die Vermutung, dass el Nino mit seinen regional veränderten Temperatur- und vor allem Niederschlagsverteilungen auch zu regionalen Ertragseinbußen und damit Ernteverlusten führen kann. Da zu Projektbeginn nur globale ERA-Interim Daten zum meteorologischen Antrieb des im Projekt verwendeten agro-hydrologischen Modells PROMET verfügbar waren, sollte der von TP 5 zur Verfügung gestellte, zeitlich auf die Jahre 2015-2018 begrenzte hochaufgelöste Datensatz systematische Untersuchungen zur Rolle der Auflösung in der Bestimmung regional begrenzter Ertragseinbußen während extremer Ereignisse wie z.B. el Nino ermöglichen.

Durch TP5 (HZG/GERICS) wurden eingehende Untersuchungen zum el Nino 2015/16 anhand von ERA-Interim und REMO-Daten durchgeführt. ERA-Interim erlaubte die Einordnung des 2015er el Nino.

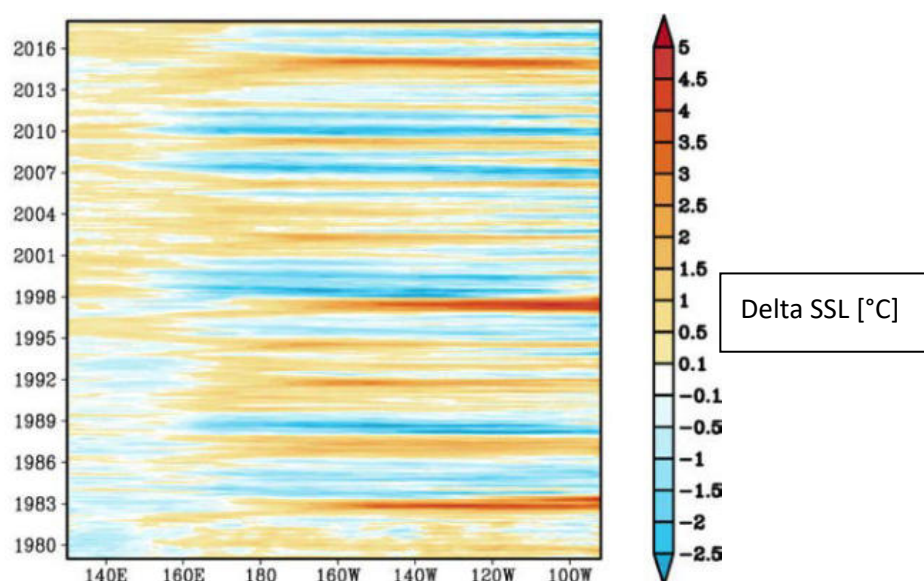


Abb. 9: Hovmöller-Diagramm der zeitlichen Entwicklung der monatlichen SST-Anomalie [°C] aus ERA-INTERIM Reanalyse Daten für den Zeitraum von 1979 bis 2018 für den pazifischen Äquator von 130° Ost bis 90° West.

Das im Rahmen von ViWA erstellte Hovmöller-Diagramm der längenkreisabhängigen Meeresoberflächentemperaturanomalie zeigt deutlich die herausragende Stärke des 2015er el Nino. Darüber hinaus erlaubten es die hochaufgelösten REMO Simulationen u. A. den Niederschlag im Zeitraum 2015/2016 im Vergleich zu den nicht durch El-Niño dominierten Perioden im gewählten 3-Jahres Zeitraum zu analysieren, um den natürlichen Beitrag der Unterschiede in der Wasserverfügbarkeit im gewählten Zeitraum durch das El-Niño Phänomen darzustellen.

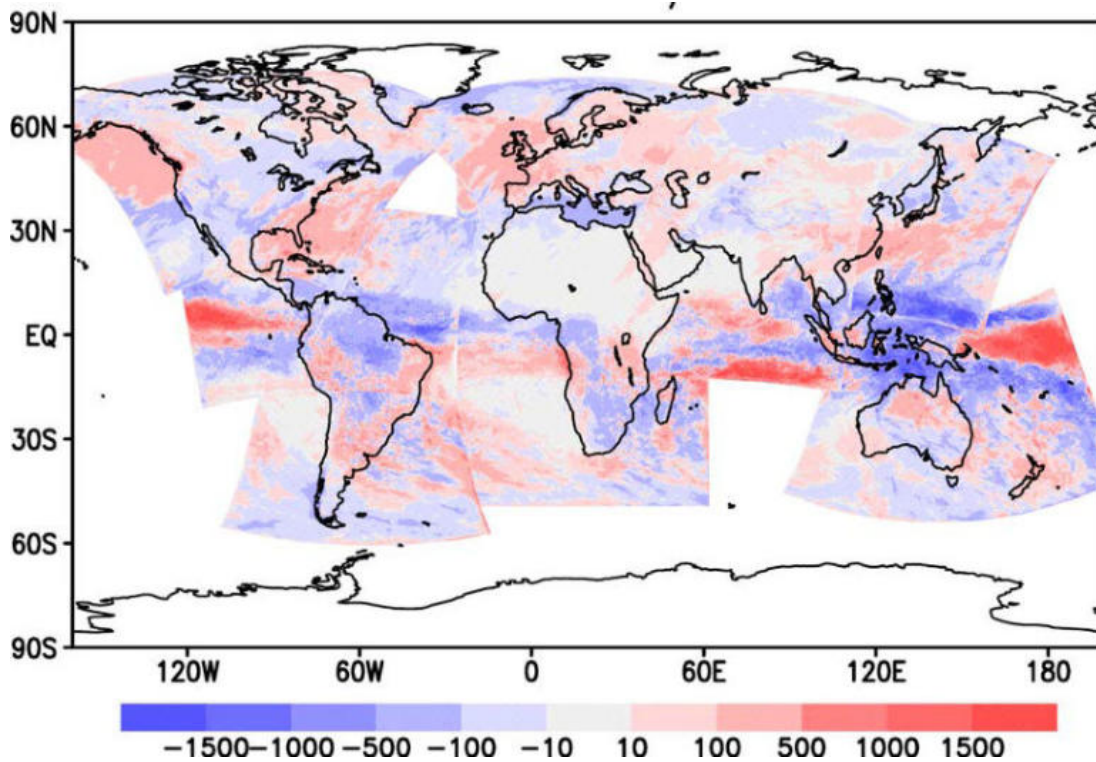


Abb. 10: Differenz der saisonalen Niederschlagssummen in der El-Niño Periode DJF 2015/2016 und der entsprechenden La-Niña Periode DJF 2016/2017 [mm]. Rote Farben bedeuten eine positive, und blaue Farben, eine negative Niederschlagsanomalie.

Abbildung 10 zeigt die Differenz des simulierten Niederschlags in den globalen REMO-Domänen zwischen 2014/15 und 2015/16. Für die projektrelevanten Landoberflächen zeigen sich starke Unterschiede in Ostafrika, Südamerika und Australien.

Die von TP5 zur Verfügung gestellten hochaufgelösten meteorologischen Treiber wurden für die Jahre 2015-2018 als Eingaben in PROMET benutzt. Hierfür mussten downscaling-Routinen in PROMET an die hohe räumliche Auflösung angepasst werden. Als Problem stellte sich heraus, dass aufgrund der kurzen zeitlichen Abdeckung von nur drei Jahren die übliche Bias-Korrektur der Temperaturen und Niederschläge im Fall der REMO-Daten nicht wie üblich auf statistischem Weg durchgeführt werden konnten. Dies führte in den betrachteten Jahren zu teilweise erheblichen, in der regionalen Klimamodellierung allerdings durchaus normalen, Abweichungen vor allem der Niederschläge zwischen den PROMET-Standard Treibern (bias-korrigierte, down-gescalete ERA-5 Daten) und den nicht korrigierten REMO-Daten. Systematische Simulationen der landwirtschaftlichen Erträge und Wassernutzungseffizienzen an stichprobenartigen Einzelpunkten in den vorwiegend betroffenen Regionen Ostafrika, Südamerika und Australien ergaben zum Teil erhebliche Differenzen in den Erträgen zwischen den ERA5 und den REMO-Daten. Um die REMO-Daten nutzen zu können, wurde für das Jahr 2015/16 eine bias-Korrektur auf die ERA-5 Daten durchgeführt, um die Auswirkung der unterschiedlichen räumlichen Muster der Niederschläge in REMO und ERA-5 während des el Nino untersuchen zu können. Die Auswertung der Simulationsergebnisse war zum Zeitpunkt der Erstellung des Abschlussberichtes noch nicht abgeschlossen.

ViWA – the interfaces

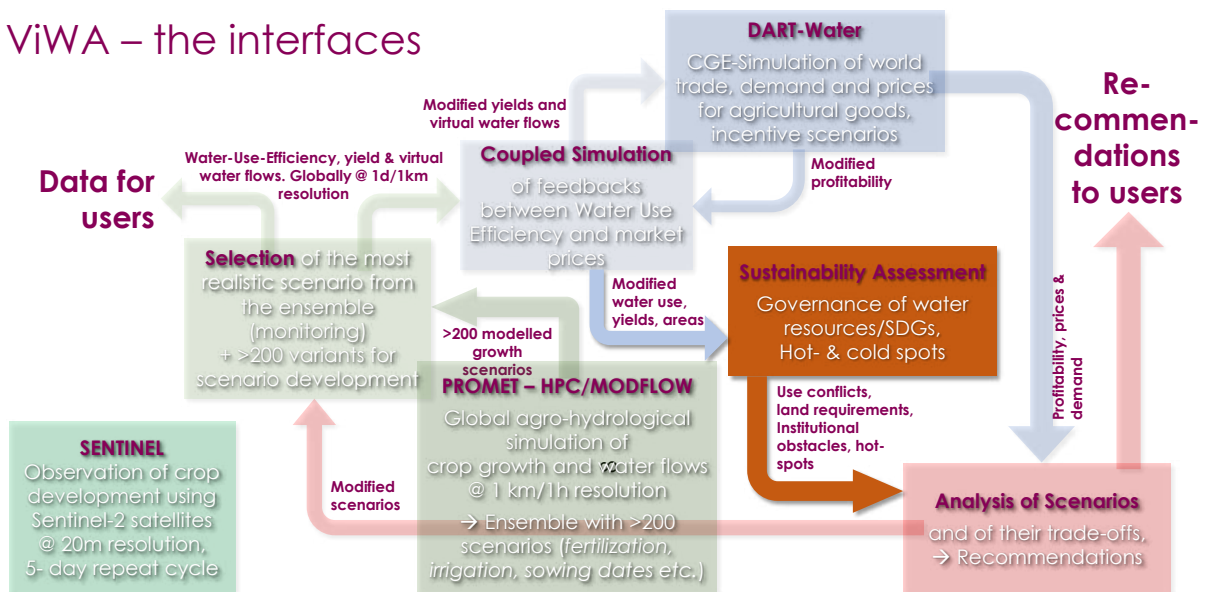


Abb. 11: Analyse von Szenarien als Teil des ViWA-Flussdiagramms in Abb.3 als Grundlage für die Ziele 5 und 6.

Die Einbettung dieses Ziels wie auch von Ziel 5 und Ziel 6 können aus Abbildung 11 entnommen werden.

Ziel 5: war es, regionale Brennpunkte nicht nachhaltiger Wassernutzung zu identifizieren und zu analysieren, welche institutionellen Hindernisse für eine nachhaltige und effiziente Wassernutzung dort bestehen. Dieses Ziel wurde schwerpunktmäßig von TP4 bearbeitet.

Zur Erreichung des Ziels wurde zunächst ein umfassender Review internationaler Normen der nachhaltigen Wassernutzung durchgeführt. 32 Normen wurden eingehender analysiert. Der Review umfasste internationale Konventionen mit rechtlich bindender Wirkung bis hin zu politischen Normen und Strategien im Menschenrechts-, Wasser, und Umweltbereich. Die Analyse zeigt, dass die wasser- und umweltbezogenen SDGs weitestgehend bestehendes internationales Recht widerspiegeln und inhaltlich keine wesentlich Neuen Ziele verkörpern. Diese Tatsache verleiht den SDGs grundsätzlich eine hohe Legitimierung. Aus der Analyse wurden 11 Standards mit vier Teilzielen für eine nachhaltige Wassernutzung ermittelt.

Generell wurde herausgearbeitet, dass viele der internationalen Standards soweit konkretisiert sind, dass sich auf deren Grundlage bestimmte Wasserzuteilungen und -Bedarfe (z.T. unter zu Hilfenahme von wissenschaftlichen Methoden) auf Einzugsgebietsebene quantifizieren lassen und die Standards somit auch in raumkonkrete Bewertungstools einfließen können und damit regionalisierbar sind. Als Maßstab für eine nachhaltige Wassernutzung wird bei der Bewertung damit die Einhaltung der internationalen Standards (z.B. Mindestwasserbedarf der Bevölkerung auf Basis von WHO Empfehlungen oder der Wasserbedarf zur Sicherung der Funktionsfähigkeit der Ökosysteme) angesehen und keine rein physische Wasserknappheit.

Zur Umsetzung der Ergebnisse des Reviews in eine Bewertung der nachhaltigen Wassernutzung wurde das Tool „Ecological Sustainability Assessment for Water Use“ (ESAW) entwickelt und im Einzugsgebiet der

Donau exemplarisch gemeinsam mit TP1 und TP3 angewandt (siehe Ziel 7). Die Anwendung des Bewertungstools resultiert in Hot Spots und Cold Spots nachhaltiger Wassernutzung in monatlichen Zeitschritten auf Ebene der Teileinzugsgebiete sowie auf lokaler Ebene mit 1*1 km räumlicher Auflösung. Hot Spots identifizieren Räume und Perioden bei denen die aktuelle Wassernutzung im Konflikt zu den internationalen Nachhaltigkeitszielen beziehungsweise den gesetzlichen Vorgaben steht. Weiterführende Analysen auf Basis der Bewertungsergebnisse fokussieren den räumlichen Zusammenhang zwischen landwirtschaftlicher Wassernutzung mit der Beeinträchtigung von sensiblen Feuchtgebieten mit hohem Wert für die Biodiversität. Erste Einblicke in ein mit der LMU zusammen entwickeltes Bewässerungsszenario wurden auf der GRoW Abschlusskonferenz präsentiert. Die wissenschaftlichen Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes werden in einer Fachpublikation in Zusammenarbeit mit der LMU und dem UfZ veröffentlicht (Schlattmann et al., in prep.).

Ziel 6: war es, trade-offs zwischen der Wassernutzung und dem Schutz von Ökosystemdienstleistungen zu identifizieren. Ziel 6 wurde gemeinsam durch TP1, TP2, TP3, TP4, TP5 und TP7 exemplarisch am Einzugsgebiet der Donau umgesetzt. Hierbei kam das Tool ESAW zum Einsatz. Zur Definition des Vorgehens fand im Rahmen der regelmäßig stattfindenden Stakeholderworkshops ein intensiver, mehrstufiger Prozess der Identifikation geeigneter, anwendungsrelevanter Szenarien diskutiert. Diese Diskussion wurde von der Firma Flow gGmbH erfolgreich moderiert. Ziel des Diskussionsprozesses war es, eine Abfolge von Szenarien einer veränderter regionalen Wassernutzung zu definieren, die auf ihren Einfluss auf die Ökosystemdienstleistungen hin analysieren lies. Resultat des Stakeholderprozesses war es, den Wasserhaushalt und die Abflüsse in der Donau zunächst unter zwei Szenarien zu untersuchen: 1) status quo, Landnutzung, landwirtschaftliche Praktiken und meteorologische Antriebe entsprechen den Jahren 2015-2018. Der Zeitraum wurde gewählt, um die neueste Generation Sentinel-2 Daten, die seit 2015 zur Verfügung stehen, nutzen zu können. 2) eine flächendeckende Realisierung des Bewässerungspotentials bei der Ertragsbildung von Mais. Dies bedeutet, dass die zusätzlichen Erträge in Abhängigkeit von einer Zusatzbewässerung sowie ihre Wassernutzungseffizienz simuliert wurden. Mais wurde als Pflanze gewählt, da die Steigerung der Erträge durch Bewässerung aufgrund der hohen Sortenvariabilität von Mais in Teilen des Einzugsgebiets der Donau schon heute und auch ohne Berücksichtigung des Klimawandels hoch ist. Unterszenarien beinhalteten die Bereitstellung des benötigten Bewässerungswassers aus den Vorflutern bzw. aus dem Grundwasser. Im Rahmen der Ressourcen des Projektes wurde beschlossen, zunächst exemplarisch die genannten Szenarien auf ihren Einfluss auf die Ökosystemleistungen hin zu untersuchen. Weitere Szenarien, die den Klimawandel, Bau und Betrieb von saisonalen Wasserspeichern, Landnutzungsveränderungen, Veränderungen der Rahmenbedingungen (z.B. EU-Subventionen, z.B. 2. Säule) adressieren, wurden im Rahmen des Stakeholderprozesses formuliert, konnten aber im laufenden Projekt nicht mehr untersucht werden.

Die Ergebnisse der Anwendung des Tools ESAW sind in der Darstellung der Erreichung von Ziel 7 enthalten.

ViWA – the interfaces

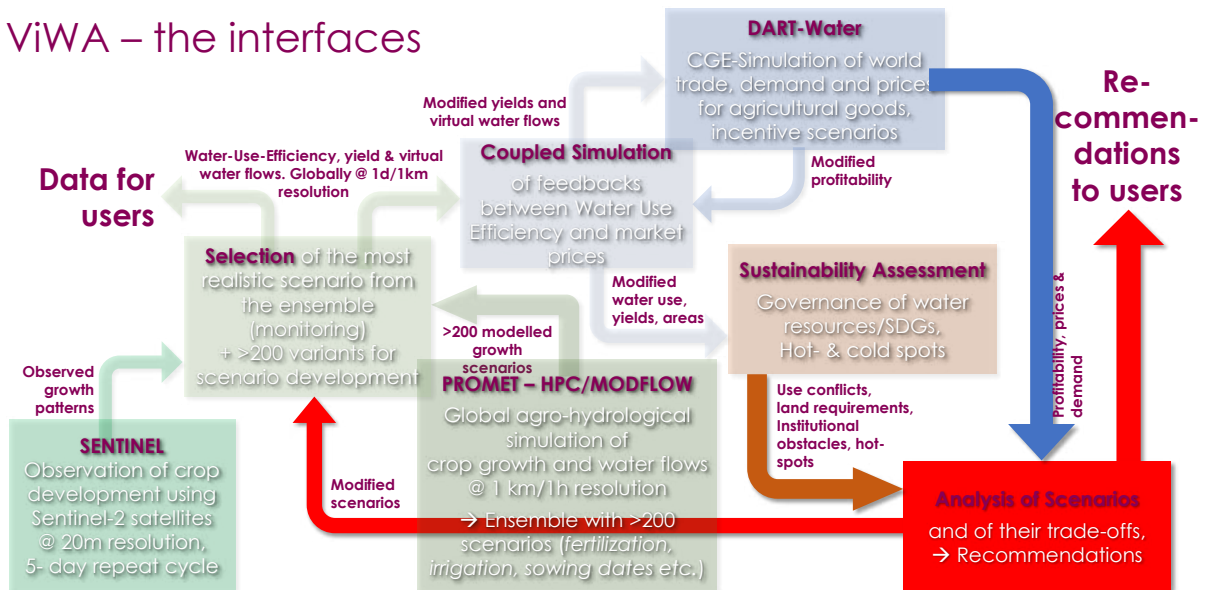


Abb. 12: Analyse von Szenarien als Teil des Flussdiagramms in Abb.3 als Grundlage für das Ziel 7.

Ziel 7: war es, anhand regionaler Einzugsgebiete integrierte Szenarien zu Konfliktbereichen im Water-Food-Energy Kontext zu simulieren. Im Antrag wurden bereits die beiden regionalen Einzugsgebiete Donau (A = ca. 800 000 km²) und Sambesi (A = ca. 1.3 Mio. km²) als Kandidaten für die Untersuchungen identifiziert. Diese Wahl wurde im Folgenden durch die Diskussionen mit den Stakeholdern im ersten Stakeholderworkshop bestätigt. Mit der gewählten Skala (~ 1 Mio km²), komplexen Water-Food-Energy Fragestellung sowie dem integrierten Ansatz unter Berücksichtigung der wesentlichen Wechselwirkungen zwischen Land- und Wasserwirtschaft betrat ViWA dabei zu Projektbeginn weitgehend Neuland. Abbildung 12 verdeutlicht den Teil des ViWA-Flussdiagramms, der sich mit der Wechselwirkung mit den Nutzern beschäftigt. Hier gehen Ergebnisse aus den vorherigen Analysen ein, es werden gemeinsam mit den Stakeholdern Szenarien entwickelt, die Inhalte simuliert und die Ergebnisse in Form von Empfehlungen an die Stakeholder zurückgespielt. Im ersten Stakeholderworkshop wurde für die Donau der Komplex Bewässerung als Prototyp eines Anwendungsszenarios der entwickelten ViWA Werkzeuge ausgewählt. Dieser Komplex ist geeignet, den Konflikt, den ein durch zusätzliche Bewässerung erzeugter Wasserverbrauch in einem großen, grenzüberschreitenden, komplexen Einzugsgebiet hervorruft, zu bearbeiten und trade-offs aufzuzeigen zwischen gesteigerter landwirtschaftlicher Produktion und den Auswirkungen der Bewässerungswasserverluste auf die Bereiche Energie und Ökologie. Das Spannungsfeld lässt sich in Abbildung 13 schematisieren.

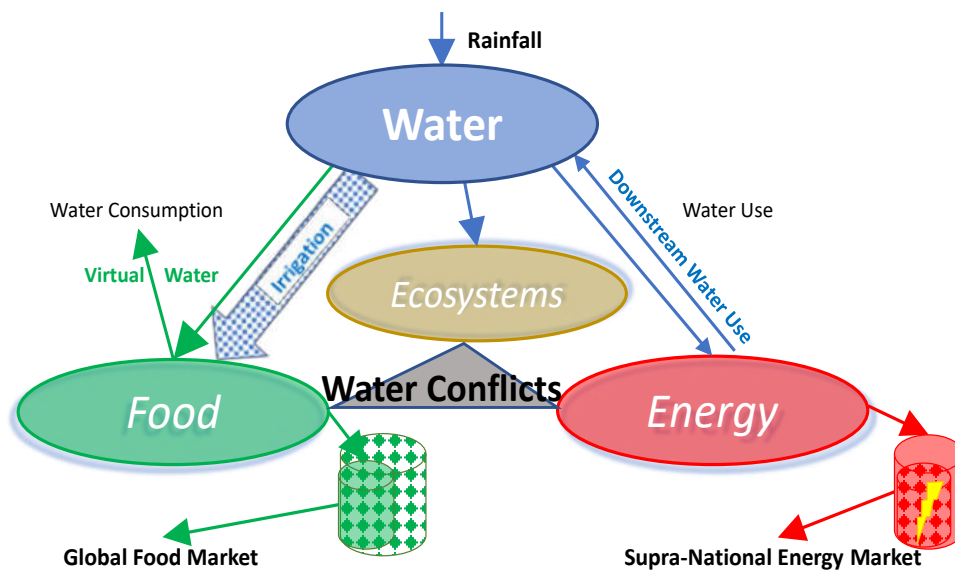


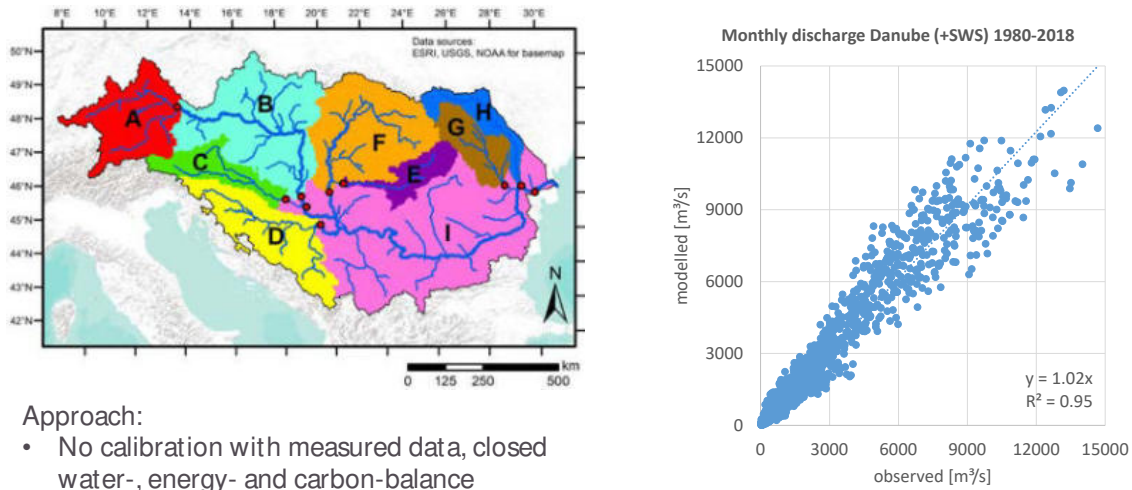
Abb. 13: Der Water-Food-Energy Nexus in der Donau als Use Case für die komplexe Analyse von Szenarien zur nachhaltigen Wassernutzung in ViWA.

In Abbildung 13 wird das Thema Bewässerung schematisch als Pilotanwendung für eine komplexe Szenario-Analyse mit den entwickelten ViWA Tools gezeigt. Nahrungsmittelproduktion, Wasserkraftproduktion, Transport und Ökologie sind in einem elastischen Netz miteinander verknüpft, bei dem eine Veränderung in einem Bereich zwangsläufig zu Veränderungen im jeweils anderen Bereich führt. Dies beeinflusst somit bei der gewählten Größe des Gebiets den globalen Markt für Nahrungsmittel und den supra-nationalen (EU) Energiemarkt. Es gilt also, in einem gekoppelten System, das sowohl die beteiligten Prozesse wie auch ihre Wechselwirkung korrekt abbildet, die Veränderungen in diesem gekoppelten Netz, die durch eine Störung hervorgerufen werden, korrekt wiederzugeben. Die gewählte Störung im System ist das flächendeckende Hochfahren der Bewässerung in der Landwirtschaft. Dieses Szenario ist von unbestreitbarem Realismus, wie die Beispiele des Gelben Flusses in China und des Colorado in den USA zeigen. Bewässerung verbraucht dort einen dominanten Anteil des Abflusses so dass nur mehr verschwindende Mengen an Wasser an der Mündung ankommen. An der Donau und noch mehr am Sambesi sind die Bewässerungspotentiale bisher weitgehend unerforscht und ungenutzt.

Das in ViWA benutzte Modell PROMET erlaubt die direkte Kopplung und landwirtschaftlichen (dynamisches Pflanzenwachstum, Wassernutzungseffizienz, Ertrag) und der hydrologischen (Abfluss, Stromerzeugung aus Wasserkraft) Prozesse und schafft damit die Möglichkeit die gewünschten Szenarien abzubilden. Die Szenariountersuchungen sowie die Bewertung der Ergebnisse wurden in enger Kooperation durch die Teilprojekte TP1 (Simulation von Erträgen, Wasserflüssen und Stromproduktion), TP2 (Entwicklung der Preise von Mais auf dem globalen Agrarmarkt), TP3 (Grundwassersimulation mit und ohne Entnahme von Bewässerungswasser), TP4 (ökologische Bewertung der Veränderung der Abflüsse) und TP7 (Validierung der Wachstumsdynamik von Mais mit Fernerkundung) umgesetzt.

Die Umsetzung des beschriebenen Szenarios sowie der weiteren durchgeführten Szenariorechnungen geschah in mehreren Schritten, die im Folgenden exemplarisch am Beispiel der Bewässerung von Mais in der Donau und seinem Einfluss auf die Stromproduktion dargestellt sind.

Schritt 0: Aufbau und Validierung des gekoppelten Water-Food-Energy Modells PROMET für das Einzugsgebiet der Donau (A = 812 000 km²).



Approach:

- No calibration with measured data, closed water-, energy- and carbon-balance

Abb. 14: Validierung des simulierten monatlichen Wasserhaushalts im Einzugsgebiet der Donau 1980-2018, links Lage der gewählten Pegel, rechts monatliche Abflüsse alle Pegel und Korrelation.

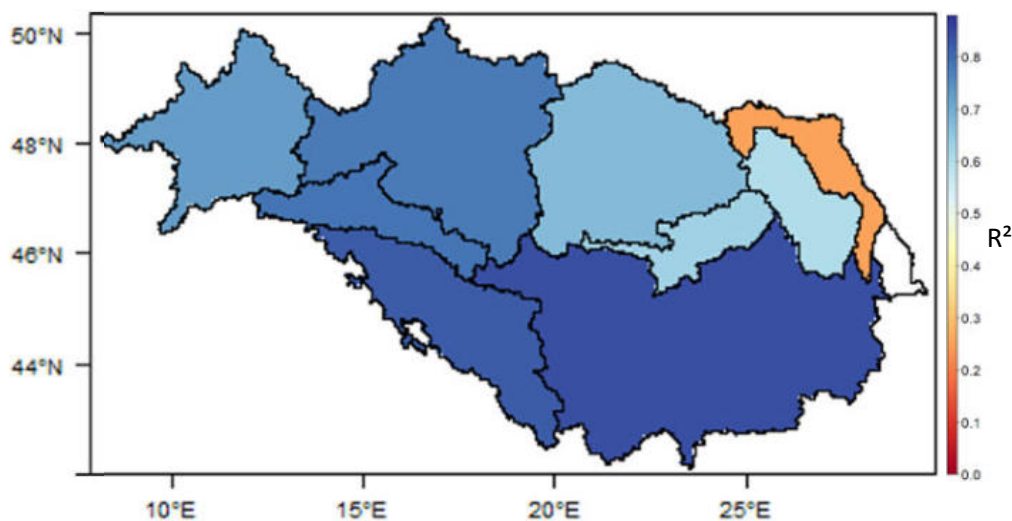


Abb. 15: Validierung der simulierten täglichen Abflüsse an den Pegeln der Teileinzugsgebiet aus Abb.14a 1980-2018, gezeigt ist das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression $y = a \cdot x$, $n = 13878$.

Für die Realisierung der Modellsimulationen wurde eine Auflösung von zeitlich 1h und räumlich 1 km gewählt. Dies gewährleistet, dass bei der Simulation der Wachstumsprozesse der Vegetation Stressreaktionen auf Temperatur und Wassermangel mechanistisch und mit hoher Genauigkeit abgebildet werden und dass die Standortbedingungen (Höhe, Exposition, etc.) für die Pflanzen durch die hohe räumliche Auflösung richtig parametrisiert werden. Als meteorologischer Antrieb für die Simulationen wurde der Reanalyse Datensatz ERA5 nach umfangreicher bias-Korrektur und downscaling benutzt.

Die Validierung des Wasserhaushaltes fand unter Nutzung der verfügbaren Pegel­daten der WRDC in Koblenz statt. PROMET wurde für die Validierungs­untersuchungen nicht kalibriert. Die Validierung fand im Zeitraum von 1980-2018 auf Basis der aggregierten simulierten stündlichen Abflüsse an den verfügbaren täglichen und monatlichen gemessenen Abflüssen statt. Die monatlichen simulierten Abflüsse für die in Abbildung 14 dargestellten Pegel zeigen sehr hohe Korrelationen mit den Messungen (siehe Abb.15). Die stündlichen Abflüsse an den ausgesuchten Pegeln zeigen ebenfalls ein hohes bis (an einzelnen Pegeln) sehr hohes Bestimmtheitsmaß. Einzig an den Pegeln der Siret und der Reni im NE des Einzugsgebiets sind die Bestimmtheitsmaße niedriger. Dies könnte an der schlechteren Datenbasis über die Landnutzung, an ungenaueren Messungen oder an einer inadäquaten Bias-Korrektur der meteorologischen Inputs im Osten des Donau-Einzugsgebiets liegen. Endgültig zu klären ist das nicht, zumal PROMET auch dort, wie im Rest des Einzugsgebiets nicht kalibriert wurde. Die beschriebene hydrologische Validierung von PROMET erlaubt es, das aufgesetzte Modell für die weiteren Simulationsstudien zu verwenden.

Schritt 1: Simulation und Validierung der aktuellen Erträge von Mais in der Donau (Abb.16) mit PROMET aus Schritt 0. Hier wurden die weitgehend auf Niederschlägen basierende Ertragsbildung der aktuell verwendeten Maissorten für die aktuellen Maisanbauggebiete in der Donau sowie die Wassernutzungseffizienz des Anbaus simuliert. Die Ergebnisse sind flächenexplizit in Abb. 16 dargestellt.

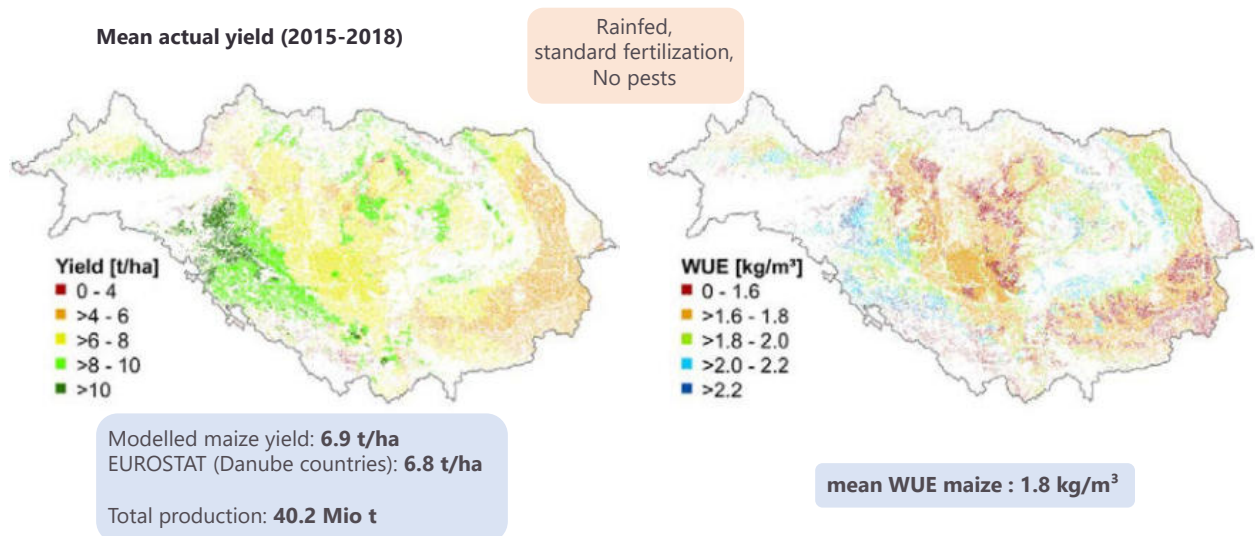


Abb. 16: Simulation der aktuellen Maiserträge und der entsprechenden Wassernutzungseffizienz (WUE) auf den aktuellen Mais-Anbauflächen im Einzugsgebiet der Donau.

Der Simulationszeitraum von 2015-2018 erlaubte es, die Simulationen anhand von Satelliten-Messungen zu validieren und auf diese Weise die optimale Parameterwahl für die Simulationsläufe zu identifizieren. Der simulierte durchschnittliche Ertrag für Mais stimmt gut mit den EU-Statistiken überein und ist moderat. Die Wassernutzungseffizienz variiert beträchtlich mit Vorzugsgebieten für Maisanbau in Kroatien und im Oberlauf. Vor allem im Panonischen Becken (Ungarn) und in der Rumänischen Ebene sind Erträge und Wassernutzungseffizienz wegen des nicht-kompensierten Wasserstress im Sommer aktuell generell niedrig.

Schritt 2: Simulation des Szenarios, dass Mais in den heutigen Anbauregionen bis zu seinem Potential bewässert wird. Dabei wird ab einem Niederschlagsdefizit von 60mm pro Wachstumsperiode davon ausgegangen, dass eine Bewässerung sich ökonomisch nicht rechnet. Darüber wird Mais mit Bewässerungswasser praxisnah versorgt (Technologie: Sprinklerbewässerung), was heißt, dass die Saugspannung der Böden durch Bewässerung so eingestellt wird, dass geringer Wasserstress bei der Bewässerung in Kauf genommen wird. Dies gewährleistet das optimale Verhältnis von Wasserverbrauch und Ertragssteigerung. Für die Simulationen wurden angepasste Maissorten definiert, die aufgrund ihrer phänologischen Entwicklung in der Lage sind die durch die Bewässerung verlängerte Wachstumsperiode auch in Ertrag umzusetzen. Abbildung 17 zeigt der Ergebnis der Szenariosimulation als Mittelwert der Jahre 2015-2018.

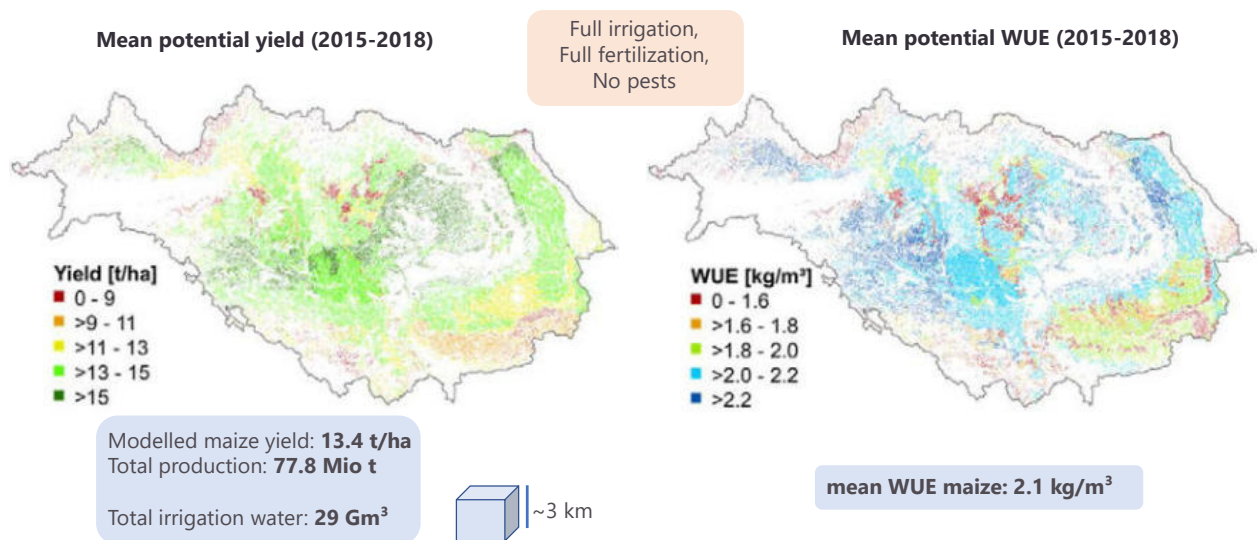


Abb. 17: Simulation der Maiserträge und der entsprechenden Wassernutzungseffizienz (WUE) auf den aktuellen Mais-Anbauflächen im Einzugsgebiet der Donau unter Annahme von Sprinklerbewässerung.

Abbildung 17 zeigt, dass sich in der Donau die Maiserträge bei heutigem Klima beinahe verdoppeln ließen. Dies ist als Obergrenze anzusehen, die in der Praxis wohl nur teilweise erreicht werden würde. Die Bewässerung verbraucht (wandelt in Verdunstung um) dabei im Schnitt über die betrachteten Jahre ca. 3 km³ Wasser pro Jahr. Die Wassernutzungseffizienz würde sich durch die Einführung der Bewässerung drastisch verbessern. Die höhere Werte der WUE durch die Bewässerung hätte zur Folge, dass im Szenario bei der Erzeugung des bewässerten Maises ca. 6 Mrd. m³ Wasser pro Jahr gegenüber der gleichen Menge an erzeugtem Mais ohne Bewässerung eingespart würde.

Die Bewässerung geschieht mit Wasser, das aus dem Einzugsgebiet der Donau entnommen wird. Die kostengünstigste Methode ist zunächst, das Bewässerungswasser direkt aus den Vorflutern zu entnehmen. Diese Option wurde nach Absprache mit den Stakeholdern als erste Option realisiert. Die Entnahme geschieht wie der Wasserstress sehr saisonal und ist für ausgewählte simulierte Donaupegel in Abb. 18 dargestellt. Es ist klar zu erkennen, dass im Oberlauf der Donau der Bewässerungsbedarf gering ist und dementsprechend die Entnahmen für Bewässerung den monatlichen Abfluss nur unwesentlich

beeinflussen. Flussabwärts verstärken sich vor allem in den linken Zuflüssen zur Donau die Veränderungen des Abflusses in den Sommermonaten. Während die Donau bis Bezdan, die Drava und die Sava kaum sommerliche Abflussveränderungen durch Bewässerung zeigen, sind die Einflüsse auf den sommerlichen Abfluss der Tisza und Mures mehr als deutlich und führen zu negativen sommerlichen Abflüssen, was heißt, dass der Bewässerungsbedarf in diesen Einzugsgebieten aus dem Abfluss nicht befriedigt werden kann. Negative Abflüsse sind natürlich physikalisch unmöglich, sie deuten aber auf mögliche ernste Eingriffe in die aquatischen Ökosysteme hin. Insgesamt bedeutet die Simulation des gewählten Szenarios eine Reduzierung des sommerlichen Abflusses der Donau ins Schwarze Meer im Juli und August von bis zu 60% (s. Abbildung 18).

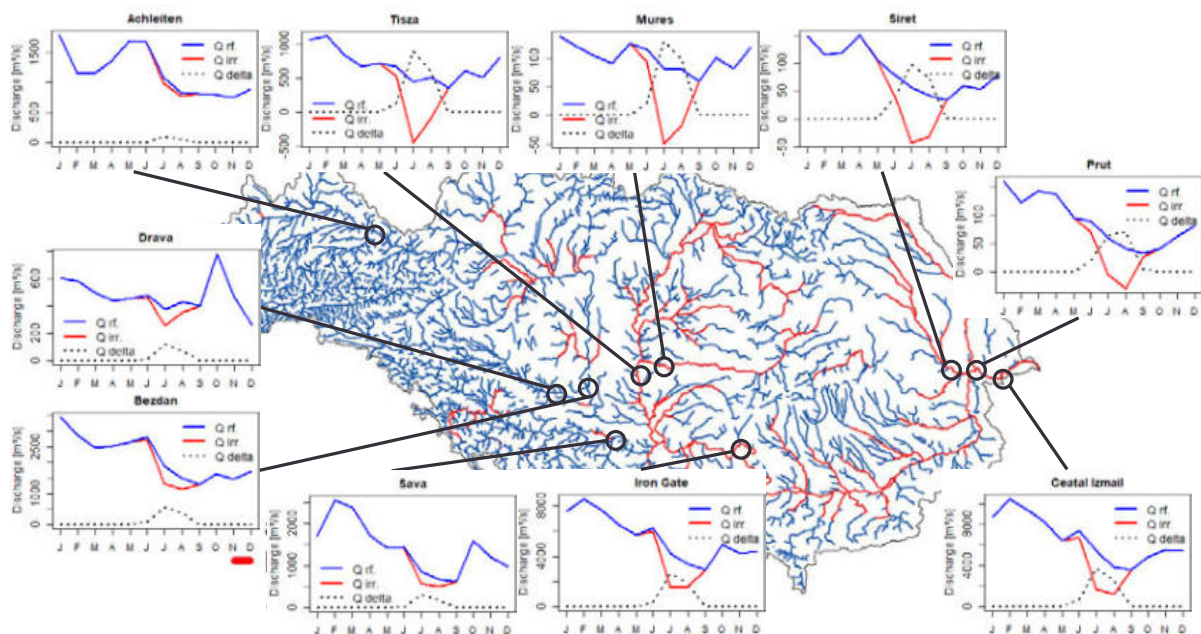


Abb. 18: Mittlere monatliche Abflüsse an ausgewählten Pegeln der Donau 2015-2018, blau = aktuelle Situation, rot = vollständige Bewässerung von Mais, schwarz gestrichelt = Differenz blau - rot.

Schritt 3: Simulation der Grundwasserströme und Flurabstände im Einzugsgebiet der Donau. Das Aufsetzen eines Grundwassermodells auf der Basis von MODFLOW für die Donau sowie seine Anwendung zur Simulationen der Grundwasserströme und Flurabstände wurde von TP3 durchgeführt. Ziel war es, bei der gemeinsamen Simulation der Veränderung der Hydrologie im Einzugsgebiet der Donau aufgrund des gewählten Bewässerungsszenarios für Mais die Annahme, dass das benötigten Bewässerungswasser aus den Vorflutern entnommen wird, durch eine mögliche Entnahme aus dem Grundwasser zu ergänzen und die Auswirkungen auf die Grundwasserstände zu untersuchen.

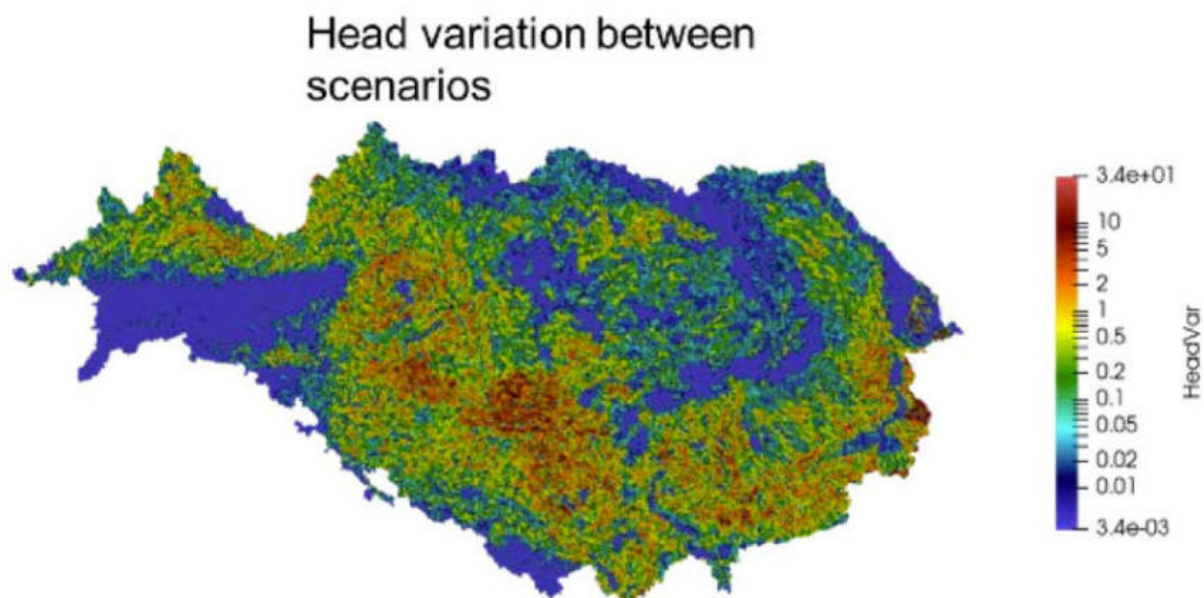


Abb. 19: Veränderung des Grundwasserspiegels durch die lokale Wasserentnahme zur Bewässerung von Mais aus dem Grundwasser (m).

Für die Grundwasserneubildung als obere Randbedingung für MODFLOW wurde dabei die räumliche Perkolations verwendet, wie sie sich in den PROMET-Simulationsläufen aus Schritt 1 ergeben haben. In einer weiteren Berechnung wurden angenommen, dass der Bewässerungswasserbedarf vor Ort auf dem zu bewässernden Feld aus dem Grundwasser entnommen wird. Diese punktuellen Entnahmen führen in Abhängigkeit von der jeweiligen Leitfähigkeit zu einer Veränderung des Grundwasserspiegels, der als Ergebnis der Untersuchungen von TP3 in Abbildung 19 gezeigt ist. Während in den gebirgigen Regionen des Einzugsgebiets ohne Landwirtschaft sich die Grundwasserstände nicht ändern, sind die erzielten Grundwasserabsenkungen im südlichen Panonischen Becken sowie in der Rumänischen Ebene mit bis zu 4 m als sehr relevant zu bezeichnen.

Schritt 4: Ökologische Bewertung der durch Bewässerung simulierten Abflußveränderungen sowie Identifizierung von hot-spots. Hierzu wurde von TP4 das Tool „Ecological Sustainability Assessment of Water use“ (ESAW) entwickelt und auf die aktuellen und die durch die Bewässerung veränderten Abflüsse angewandt. Hot Spots identifizieren Räume und Perioden bei denen die aktuelle Wassernutzung im Konflikt zu den internationalen Nachhaltigkeitszielen beziehungsweise den gesetzlichen Vorgaben steht. Ziel der methodischen Entwicklung war es durch eine in mehrere Einzelkomponenten aufgebaute Gesamtmethodik wichtige Zusammenhänge zwischen einzelnen Indikatoren in einer Gesamtbewertung zusammen zu bringen und dahingehende Limitierungen bestehender Ansätze zu überwinden. Eine weitere Besonderheit des Tools ist die transparente Darstellung der Legitimierung der verwendeten Indikatoren und damit die Kommunikation der (Rechts-) Verbindlichkeit der durch die Bewertungskriterien gestellten Anforderungen.

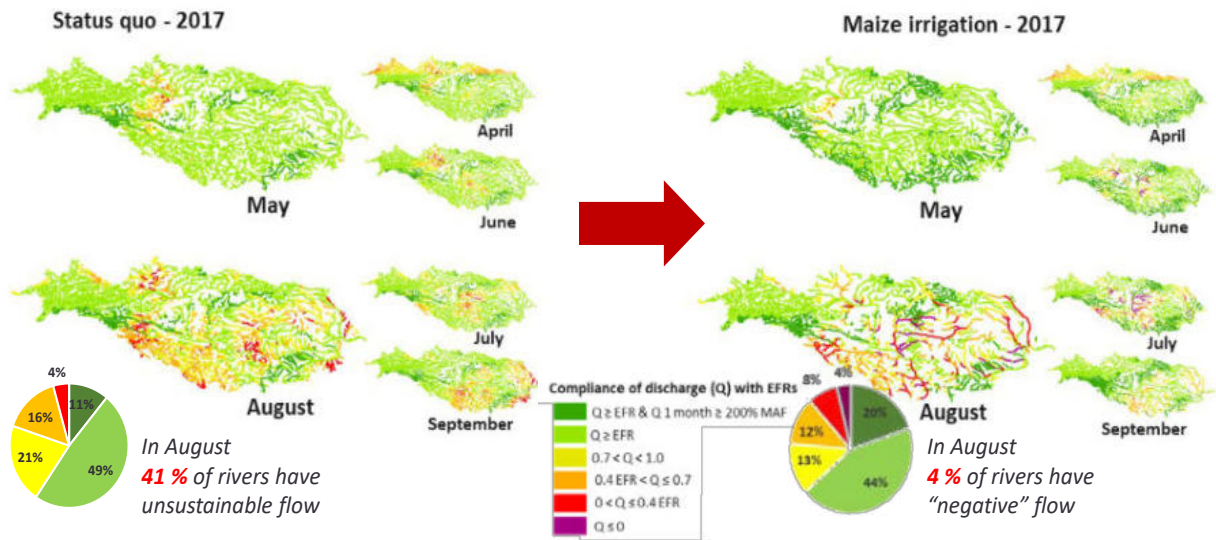


Abb. 20: Analyse des Indikators Environmental Flow Requirements (EFR) mit dem „Ecological Sustainability Assessment of Water use“ (ESAW) Tool für den Status Quo (links) und die Wasserentnahme für die Mais-Bewässerung aus dem Vorfluter. Grün = EFR erfüllt, Gelb-Violett = EFR ansteigend verletzt.

Am Beispiel des Indikators Environmental Flow Requirements (EFR) des Abflusses zeigt eine Analyse der Ergebnisse der Simulation des Szenarios aus Schritt 2 mit dem Tool ESAW in Abbildung 20 links die z.T. schon heute gravierenden Verletzungen der EFR in verschiedenen Regionen des Einzugsgebiets der Donau. Hier können Teile Sloweniens und Kroatiens, das südliche Panonische Becken und Teile des südlichen Ufers der Donau in Ostbulgarien schon heute als hot-spots nicht-nachhaltiger Wasserführung bezeichnet werden. Die Situation verschärft sich drastisch wenn die Bewässerungswasserentnahme wirksam wird. Dann wird in fast alle Flüsse des südlichen und östlichen Donaueinzugsgebiets zumindest in den Ebenen die Wasserführung bezogen auf die EFR nicht nachhaltig. Die räumlich hochaufgelöste Simulation der Wasserflüsse in Schritt 0 erlaubt einen bisher nicht erreichten Detailgrad in der Bestimmung des Indikators EFR für die Nachhaltigkeitsbewertung und die Bestimmung von hot spots.

Schritt 5: Ökonomische Bewertung der Water-Food-Energy Szenario-Simulationen. Neben den Wasserflüssen werden durch das gewählte Szenario der Ausweitung der Bewässerung von Mais im Einzugsgebiet der Donau auch Geldströme umgelenkt. Die Wasserflüsse erzeugen entweder durch Verdunstung (einmalig) Nahrungsmittel oder durch Abfluss (mehrfach genutzt) Energie in Form von Strom. In beiden Fällen handelt es sich um eine Ökosystem-Leistung, die aber ökonomisch unterschiedlich zu bewerten ist. Um die aus der Bewässerung resultierende Umlenkung der Wasserflüsse in die Atmosphäre nicht nur ökologisch zu bewerten (siehe Schritt 4), sondern auch einer ersten ökonomischen Bewertung zu unterziehen, wurden gemeinsam von TP1 und TP2 eine ökonomische Gegenüberstellung der Ökosystemleistungen der Nahrungsmittel und Stromproduktion durchgeführt. Dafür wurden die wichtigsten, von der Bewässerung beeinflussten Wasserkraftanlagen im Einzugsgebiet der Donau simuliert. Vernachlässigt wurden die Anlagen in den Kopfeinzugsgebieten der Gebirge und in den Hochlagen des Einzugsgebietes, da dort keine Beeinflussung der Energieproduktion durch die Bewässerung stattfindet. Es wurden die Energieproduktion von insgesamt 31 Anlagen im Einzugsgebiet der Donau unter Benutzung des in Schritt 0 und Schritt 2 simulierten täglichen Abflüsse, für den Status Quo sowie für die Wasserentnahme aus den Vorflutern simuliert.

Annual Loss of Volume of Sales at selected Danube Basin Hydropower Plants (1MWh = 40 €) through large-scale irrigation; Total: 31.2 Mio €

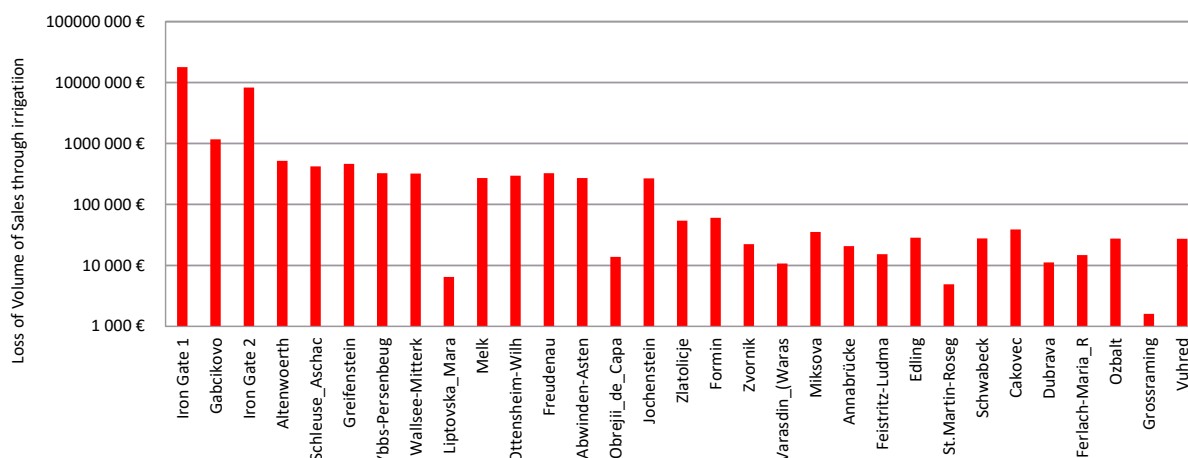


Abb. 21: Durchschnittliche jährliche Verkaufsverluste (2015-2018) der großen Wasserkraftanlagen im Donau-Einzugsgebiet durch Wasserentnahmen zur Bewässerung von Mais im gewählten Szenario. Angenommener Strompreis; 40€/MW.

Die Analyse der Auswirkungen des gewählten Bewässerungsszenarios auf die Energieproduktion im Donau-Einzugsgebiet zeigt einen durchschnittlichen jährlichen Verlust von über 30 Mio. € durch die Reduzierung des Abflusses in den Sommermonaten.

Integrierte Bewertung: Die umfangreichen gekoppelten Szenario-Untersuchungen erlauben in einer Pilotanwendung die Erstellung eines möglichen Water-Food-Energy Gesamtbildes der Auswirkungen der Ausweitung der Bewässerung im Einzugsgebiet der Donau. Es kann im Folgenden exemplarisch die aufgelisteten integrierten Bewertungen des gewählten Szenarios gemacht werden:

Wasser:

- Bewässerungswasserentnahme: ~29 Milliarden m³/a, zumeist in Ungarn, Serbien und Rumänien
- Einschneidende ökologische Folgen: die Mehrzahl der Flüsse in den Ebenen Ungarns, Serbiens und Rumäniens verletzen durch die Entnahme des Bewässerungswassers den Indikator ecological flow requirements (EFR) mittel bis sehr schwer.

Nahrungsmittel:

- Durch die Bewässerung lässt sich die gesamte Maisproduktion im Einzugsgebiet der Donau auf den heutigen Flächen fast verdoppeln von 40 Mio. auf ~78 Mio. t/a.

Der Mais-Umsatz nimmt bei einem Weltmarkt-Maispreis von 160 €/t um 6 Milliarden € zu.

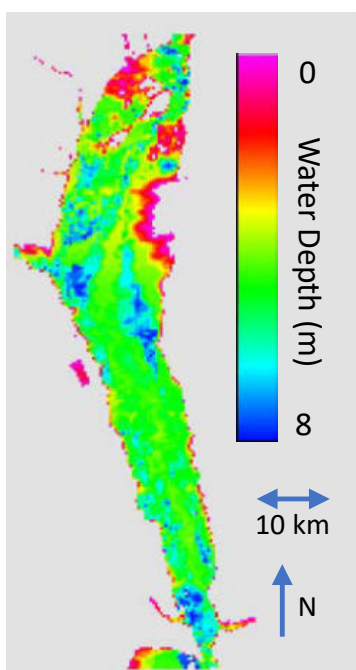
Energie:

- Wasserkraftproduktion der großen, von der Bewässerung beeinflussten Laufkraftwerke nimmt von 37.5 auf 36.7 PWh/a ab

Damit reduziert sich der Wasserkraft-Umsatz um ca. 30 Mio. €/a

Ein solches stringentes gekoppeltes Vorgehen, wurde für ein Einzugsgebiet der Größe der Donau unseres Wissens nach noch nicht mit der expliziten Berücksichtigung der gegenseitigen, oft konflikträchtigen Abhängigkeiten von Land- und Wasserwirtschaft untersucht. Das Ziel lag auf der Entwicklung der abgestimmten Tools und der Verfahren zu ihrer integrierten Anwendung an einem von Stakeholdern definiertem Beispiel-Szenario. Das Beispiel legt damit sein Hauptaugenmerk nicht auf die Erstellung einer definierten Ingenieurleistung, sondern um die Demonstration der Machbarkeit.

Mit den vorgestellten, ineinandergreifenden Verfahren, die im Rahmen von ViWA entwickelt und eingesetzt wurden und die räumlich übertragbar sind, stehen damit wirksame Werkzeuge zur Untersuchung ähnlicher Fragestellungen und Szenarien in anderen großen, komplexen Einzugsgebieten zur Verfügung.



Zum Zeitpunkt der Erstellung des Abschlussberichts laufende Arbeiten im TP1 zu einer Übertragung der Vorgehensweise auf den Sambesi gestalten sich erfolgreich. Es wurde ein neues Verfahren zur Bestimmung der Bathymetrie der für die Ökologie so wichtigen perennierenden Überschwemmungsgebiete im Oberlauf des Sambesi auf der Grundlage von Auswertungen einer Zeitserie von Sentinel-1 Radardaten entwickelt. Es erlaubt, die Überschwemmungsdynamik der sehr großen Sümpfe während der Regenzeit in höher zeitlicher Dynamik mit PROMET zu rekonstruieren und den gespeicherten Wasserinhalt genauer abzuschätzen. Hierzu wurde PROMET um das Modul „Feuchtgebiete“ erweitert. Abbildung 22 zeigt die Bathymetrie des Feuchtgebietes im Nordwesten des Sambesi-Einzugsgebiets abgeleitet aus Sentinel-1 Mikrowellenzeitserien.

Abb. 22: Bathymetrie des Feuchtgebietes im Sambesi-Einzugsgebiet in Sambia aus Sentinel-1 Daten.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des ViWA-Abschlussberichts wurden die ersten großflächigen Simulationen der Vegetations- und Wasserdynamik im Sambesi auf Grundlager der bias-korrigierten und down-gescaleten ERA-5 Reanalysedaten durchgeführt. Hier sind z.T. völlig andere Voraussetzungen (Klima, Nutzung, Infrastruktur) und andere ökologisch wertvolle Einheiten wie ausgedehnte perennierende Feuchtgebiete zu berücksichtigen bei der Untersuchung ökologisch vertretbarer Bewässerungsoptionen.

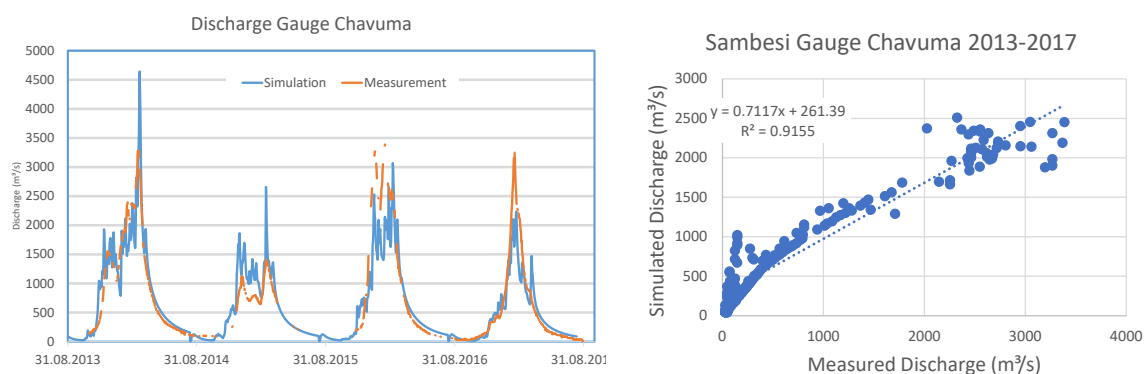


Abb. 23: Gemessener und simulierter Abfluß am Sambesi-Pegel Chavuma für die Jahre 2013-2017.

In Abbildung 23 ist der Abfluss des ca. 90 000 km² großen Einzugsgebiet des Pegels in Chavuma für die Jahre 2014-2017 dargestellt. Klar ist die Regen- und Trockenzeit geprägte jahreszeitliche Dynamik der Abflüsse zu sehen. Abbildung 23 bestätigt die grundsätzliche Brauchbarkeit der ERA-5 Daten für die zeitlich und räumlich hochaufgelöste großflächige Simulation der Wasserflüsse auch für die durch konvektive Ereignisse geprägte wechselfeuchte Tropen.

Das Ziel 7 aus dem Antrag wurden und werden damit mit Vorlage des Abschlussberichts von TP1 vollumfänglich erreicht.

7. Der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit war notwendig und angemessen, da ein Projekt der Komplexität von ViWA mit seiner interdisziplinären Beteiligung und transdisziplinären Verknüpfung einen hohen Koordinationsaufwand bedeutet, damit es erfolgreich ist.

8. Des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ereignisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der Nutzen von ViWA und die Verwertbarkeit seiner Ergebnisse werden in zwei Bereichen gesehen:

i) Der Schaffung von Orientierungswissen zur Ausgestaltung einer nachhaltigen Wassernutzung im Rahmen der weltweiten Produktion von Nahrungsmitteln durch die Landwirtschaft sowie des globalen Handels mit Nahrungsmitteln. Hier ist die Priorität auf nachhaltige Intensivierung und einem besseren Verständnis von nachhaltigen regional angepassten Lösungswegen im Rahmen von water-food-energy Konflikten zu sehen. Die Ergebnisse von ViWA stehen einer breiten wissenschaftlichen und nicht wissenschaftlichen Öffentlichkeit zur Nutzung im Rahmen der gesellschaftlichen Diskurse zur Verfügung.

ii) Die Erzeugung von Handlungswissen zur direkten regionalen Intervention zugunsten nachhaltigerer Nutzung von Wasserressourcen in der Landwirtschaft. Hierzu stehen die wissenschaftlichen Grundlagen und eine Pilotanwendung eines innovativen, Satelliten- und Modellgestützten globalen, hochaufgelösten Monitoringsystems für den im Rahmen der SDGs wichtigen Parameter „landwirtschaftliche Wassernutzungseffizienz (AWUE)“ zur Verfügung. Das Monitoringsystem erzeugt aktuelle, realitätsnahe Daten über die AWUE und den Ertrag und kann somit dazu genutzt werden, um zwecks direkter Intervention aktuelle hot-spots zu identifizieren bzw. um mithilfe von Szenarien die AWUE und die Erträge auf nachhaltige Art zu verbessern.

iii)

9. Des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

k.A.

10. Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse in ViWA

Konferenzbeiträge:

Berger, M., Campos J., Carolli M.; Dantas I., Forin S., Kosatica E., Kramer A., Mikosh N., Nouri H., Schlattmann A., Schmidt F., Schomberg A., Semmling E. (2021): Advancing the Water Footprint into an Instrument to Support Achieving the SDGs – Recommendations from the “Water as a Global Resources” Research Initiative (GRoW). *Water Resour Manage.* <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02784-9>.

Burkhard K., Schlattmann A., Neuendorf F., von Haaren C., Mauser W. (2018): Application of remote sensing and big data for global water use, sustainability assessment and monitoring. 7th International Conference on Cartography and GIS, *Proceedings1*, 2: 765-773.

Dantas I., Delzeit R., Klepper G. (2021): Economic research on the global allocation of scarce water resources needs better data. In: Water Economics and Policy.

Hachinger S, Götz A, Weber T, Munke J, Hayek M, Nguyen M, Kurtz W, García-Hernández R, Batsaikhan A, Frank A, Sharikadze M, Weismüller J, Kranzlmüller D, RDM: A New Focus at the Leibniz Supercomputing Centre (LRZ). Poster bei der RDA-Deutschland-Tagung, 25.-27. Februar 2020, Potsdam.

Hachinger S, et al. RDM for HPC and Simulation data at LRZ. Poster bei der RDA-Deutschland-Tagung 2022, geplant.

W. Kurtz, S. Hachinger, A. Frank, W. Mauser, J. Weismüller, C. Werner. Management and dissemination of global high-resolution agro-hydrological model simulation data from the VirtualWater Values project. PICO-Präsentation bei der EGU General Assembly 2020, 4.-8. Mai 2020, Wien, Österreich.

Mauser W. (2021): Keynote Präsentation ViWA bei der 12th Joint Statement Meeting Inland Navigation and Environment of ICPDR, Danube Commission and ISRBC, Sept, 15-16, 2021, online .

Mauser W. (2021): Keynote Präsentation und Round Table bei: „Our Opinion – Our Danube - Public Consultation on the Danube River Basin Management & Danube Flood Risk Management Plan“, ICPDR Stakeholder Workshop 2021, 29.-30. Juni 2021, online.

Mauser W. (2021): Keynote “GRoW – Call for Action” in Water Dialogues for Results – Towards Bonn 2021 des Science and Research Froums des BMU, BMBF und der UNESCO, 18.5.2021, online

Mauser W. (2020): Vorstellung ViWA in der GIZ Sektorrunde Climate Change, Rural Development, Infrastructure, 1.4.2020, online.

Mauser W. (2020): Vorstellung ViWA Konzept und Ergebnisse beim Stakehodler ICPDR, 8.3.2019, ICPDR, Wien, Österreich.

Mauser W. (2019): Vorstellung ViWA Bewässerungsszenarien bei der Landwirtschaftskammer Niederösterreich als Stakeholder zur Planung der Modernisierung von Bewässerungstechnologien, 24.6.2019, St. Pölten, Österreich.

Mauser W. (2019): Vortrag bei 1st “International Workshop on Water and Agriculture in the Danube River Basin“, Hungarian Ministry of Agricultrre – ICPDR, 6.-7.11.2019, Budapest.

Probst E., Klug P., Brüggemann L., Bach H., Mauser W.(2020): Approaching a High Resolution Global Monitoring System for Agricultural Management within the Virtual Water Values project ViWA, ESA EOforAgri workshop, 5.-9.10.2020, online <http://eo4agri.esa.int/programme> .

Pujades E., Kumar R., Jing M., Rakovec O., Houbon T., Kalbacher T., Attinger S. (2018): Numerical model of the Upper Danube Basin. On the path for building a realistic global coupled surface-subsurface numeric model. Session T2.4 Innovations in flow and transport modelling, IAH 2018, Danjuan, Korea.

Pujades E., Rakovec O., Kumar R., Samaniego L., Attinger S. (2019): Large scale groundwater model of the Danube Basin, an demonstrator model for the construction of global groundwater models. Geographical Research Abstract Vol. 21 EGU2019-18397, 2019.

Pujades E., Houbon T., di Dato M., Kumar R., Attinger, S. (2020): A European groundwater model with variable aquifer thickness derived from spectral analyses baseflow. EGU2020-11140. EGU General Assembly.

von Ramm A., Kurtz W, Weismüller J (2019): Analysis of domain decomposition methods for distributed land surface models on HPC-Systems. Mündliche Präsentation bei der EGU General Assembly 2019, 7.-12. April 2019, Wien, Österreich.

Schlattmann A; Teschner N., von Haaren C. (submitted in Water Policy, 2020): Who may use scarce water? An expedition into the normative basis of sustainable decision-making.

Schlattmann A., Neuendorf F., Burkhard K., Probst E., Pujades E., von Haaren C., Mauser W.; (submitted in Environmental Management, 2020): Ecological sustainability assessment of water distribution for the maintenance of ecosystems, their services and biodiversity.

Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften:

Graf L., Kausch I., Bach H. & Hank T. (2019): Using harmonic analysis of green LAI time series obtained from Sentinel-2 imagery for daily representation of crop growth in a hydro-agroecological model , Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, Band 28, pp. 214-225., Vienna (Austria) , Proceeding, published.

Probst E., Mauser W. (2021): Evaluation of Global Reanalyses and the Impact of Bias Correction with Regional Climatologies: a Hydrological Modelling Study in the Danube River Basin. Journal of Hydrology: Regional Studies [submitted].

Probst E., Mauser W. (2022): Climate Change Scenarios in the Danube River Basin and its Impacts on Water Flows and Water Resources [in prep.].

Probst E., Klug P., Bach H., Mauser W. (2022): Coupling Agro-Ecological Modelling and Sentinel-2 LAI: the Case of Winter Wheat in the Romanian Plain [in prep.].

Schlattmann A., Teschner N., Burkhard K., von Haare C. (in preparation): From legislation to implementation: A comparative study of potentials and hindrances for sustainable water governance [in prep.].

Schlattmann A., Neuendorf F., Burkhard K., Probst, Pujades E., von Haaren C., Mauser W.: Ecological sustainability of water distribution in the Danube basin – impacts of agricultural water use on biodiversity [in prep.].

Werner C., Probst E., Hank T., Mauser W. (2022): Estimating global agricultural irrigation water consumption by applying demand-driven irrigation in agricultural modeling. [in prep.].

Werner C. Rittmüller E., Klug, Probst E., Hank T, Bac H, Mauser W. (2022): Towards a high resolution global monitoring system of agricultural water use efficiency based on remote sensing and agricultural modeling. [in prep.]

Werner C., Probst E., Hank T., Mauser W. (2022): On the relation between a country's Gross Domestic Product and its crop yields and agricultural fertilizer and water consumption. [in prep].

Werner C., Rittmüller E., Klug P., Probst E., Hank T., Bach H., Mauser W. (2022): Deriving actual and optimal global crop planting dates with remote sensing and agricultural modeling. [in prep].

Abschlussarbeiten:

Hager H. (2017): Evaluierung eines Tree-Partitioning-Algorithmus für das statische Load-Balancing in der Hydrologie. Bachelorarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften München.

von Ramm A. (2018): Load-Balancing-Concepts for Hydrological Models. Masterarbeit, Technische Universität München.

Weitere Plattformen:

13.9.2020: Die Ergebnisse des ViWA-Projekts wurden auf der GRoW Abschlusskonferenz im Herbst 2020 präsentiert, welche aufgrund der Corona-Pandemie als virtuelle Konferenz stattfand. Um die Ergebnisse des ViWA-Projekts einem breiten Publikum zu präsentieren und diese auch über das Ende des Projekts und der GRoW Fördermaßnahme hinaus sichtbar zu machen, wurde ein ViWA-Marktplatz erstellt, der über folgende Internetseite aufgerufen werden kann: <https://viwa.geographie-muenchen.de/viwa-marketplace/> Die Internetseite beinhaltet Präsentation der wesentlichen Ergebnisse der Teilprojekte und Gesamtvorhabens.

28.10.2020: ViWA ist auf der Space4Water Portal des UN Office of Outer Space Affairs sichtbar.

Die vom Teilprojekträger GERICS (TP5) erstellten REMO Simulationen sind über die ESGF Datenbank publiziert und verfügbar. Die hochaufgelösten REMO 0.11° Simulationen sind archiviert und für weitere Analysen ebenfalls verfügbar.