

## Muster Abschlussbericht

Prof. Dr. Michael Rode

Department Aquatische Ökosystemanalyse und Management

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ

Brückstr. 3a, 39114 Magdeburg

Vorhabenbezeichnung: **WaterFARMING - Verbesserung der Wasser- und Nährstoffretention und effizienten Nutzung in Ackerbausystemen in Europa und Nordafrika**

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017 - 31.08.2020

Berichtszeitraum: 01.04.2017 - 31.08.2020

### Bericht

#### 1. Zusammenfassung

WaterFARMING zielte darauf ab, die Wasser- und Nährstoffrückhaltekapazität zu verbessern und die Nutzungseffizienz in einer Reihe von landwirtschaftlichen Produktionssystemen in Europa und Nordafrika zu steigern. Ziel war es, die Boden- und Wasserverschmutzung zu reduzieren, um eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen zu gewährleisten. Die spezifischen Ziele lauteten wie folgt:

- a) Quantifizierung des Potenzials zur Verbesserung der Retentions- und Nutzungseffizienz von Wasser und Nährstoffen auf dem Feld, im Betrieb und im Einzugsgebiet durch wasser- und bodenschonende Praktiken in einem ausgewählten Netzwerk von Produktionssystemen.
- b) Identifizierung und Verwendung von ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Indikatoren zur Bewertung der Produktionssysteme.
- c) Entwicklung innovativer Praktiken und nachhaltiger Produktionssysteme für den Wasser- und Nährstoffverbrauch.
- d) Entwicklung eines webbasierten Entscheidungsunterstützungsinstrumentes für eine informierte Entscheidungsfindung von Landwirten, Beratungsdiensten und politischen Entscheidungsträgern.

Das Netzwerk umfasste kontinuierliche Ackerbausysteme, gemischte Fruchtfolgen von Getreide mit Gras und Agroforstsysteme mit einjährigen Kulturen oder Gräsern. Die Ziele des Projekts wurden gemäß dem Gantt-Diagramm, das im Projektdokument enthalten ist, erfolgreich erreicht. Es wurde ein Netzwerk von Produktionssystemen identifiziert und detaillierte Beschreibungen der Systeme mit der Identifizierung und Bildung von Stakeholder-Plattformen durchgeführt, die die verschiedenen Akteure innerhalb der Wertschöpfungskette der Produktionssysteme umfassen. Zwei Nutzpflanzensimulationsmodelle, DAISY und WOFOST, wurden unter verschiedenen Produktionssystemen kalibriert und validiert, und die benötigten Daten wurden aus jeder entsprechenden Fallstudie gesammelt und verwendet (WOFOST wurde unter Verwendung des Modells von Bad Lauchstädt (1978 - 2016) in Deutschland angewandt, während das DAISY-Modell zur Vorhersage eines ägyptischen Produktionssystems verwendet wurde). Die Ergebnisse dieser Modelle wurden zur Bewertung der Wassernutzungseffizienz (WUE) und der Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) im Netzwerk der Produktionssysteme verwendet. Zur Bewertung des Netzwerks von Produktionssystemen wurden auf der Grundlage einer umfangreichen Literaturrecherche insgesamt 262 Indikatoren für ökologische, wirtschaftliche und soziale Leistungen ermittelt. Darauf aufbauend haben die Projektpartner durch einen partizipativen Ansatz mit den wichtigsten Interessengruppen in jedem Produktionssystem eine Liste von SMART-Indikatoren ausgewählt. Diese Liste wurde als Kernindikatoren verwendet, darunter 4 wirtschaftliche, 7 ökologische und 4 soziale Indikatoren, die im Entscheidungsunterstützungsinstrument zur Bewertung der Effizienz des Produktionssystems vorrangig berücksichtigt werden. Darüber hinaus wurden verschiedene Managementmaßnahmen identifiziert und mit den Stakeholder-Plattformen für Boden-, Wasser- und Nährstoffrückhaltung sowie

zur Verbesserung der Nutzungseffizienz trianguliert. Für jedes Partnerland wurden Pläne für Wissensaustausch, Kommunikation und Wirkungsmaximierung (Knowledge Sharing, Communication and Impact Maximization, KCIM) ausgearbeitet, um das Bewusstsein für das methodische Vorgehen zu schaffen. Es fanden vier Projektsitzungen in Italien, Ägypten, Tunesien und Portugal statt, und an einer gemeinsamen Auftaktsitzung nahmen die Projektkoordinatoren in Stockholm teil (siehe Tabelle 1). Die Abschlussitzung des Projekts wurde aufgrund der Covid19 -Umstände zu einer virtuellen statt einer physischen Sitzung verlagert.

Das Projekt führt zu einer Verbesserung der wasser-, nährstoff- und bodenschonenden Praktiken, um die schädlichen Umweltauswirkungen der Landwirtschaft, wie z.B. Wasserverschmutzung, zu verringern und den Verlust von Boden und Nährstoffen in die Wasserressourcen zu reduzieren, der flussabwärts bei verschiedenen Produktionssystemen unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen schädliche Auswirkungen (z.B. Algenblüte und Eutrophierung) verursacht. Darüber hinaus hat das Konsortium die Verbreitung von Forschungsmethoden, -instrumenten und -ansätzen unter den Konsortiumspartnern erleichtert, um das Wissen und die Verbreitung von Best Practices zur Nahrungsmittelproduktion in Europa und Nordafrika zu erhöhen. Die erwarteten Ergebnisse des Projekts wurden in zufriedenstellender Weise erreicht, indem es durch die Verbesserung der Wasser- und Nährstoffproduktivität, der Biodiversität, der Kohlenstoffbindung und der Reduzierung der Treibhausgasemissionen zur Minderung der Auswirkungen des Klimawandels beitrug.

**Tabelle 1.** Liste der Konsortialtreffen.

N°	Date	Location	Attending partners	Purpose
1	Start: 27/03/2017 End: 28/03/2017	Orvieto, Italien	CNR, WUR, CERTE, UFZ, NARSS, UCPH	Auftaktsitzung
2	Start: 19/09/2017 End: 22/09/2017	Cairo, Ägypten	WUR, CERTE, NARSS, UCPH	Daten- und Projekttreffen (1. halbjährliches Projekttreffen)
3	Start: 23/04/2018 End: 28/04/2018	Tunis, Tunesien	WUR, CERTE, UFZ, NARSS, UCPH	Projekt-Koordinationsitzung
4	Start 12/03/2019-End: 15/03/2019	Lisbon, Portugal	WUR, CERTE, UFZ, NARSS, UCPH, FFCUL	2. jährliches WasserFARMING-Projekttreffen

## 2. Bilaterale Zusammenarbeit (AP4)

Während des ersten und zweiten Jahres der Projektlaufzeit wurden mehrere bilaterale Kooperationen zwischen den Partnern aufgebaut, wie in Tabelle 2 aufgeführt. So wurde beispielsweise eine klare Zusammenarbeit zwischen den Partnern initiiert, die an der Hochskalierung des WaterFARMING-Konzepts vom Acker- zum Einzugsgebietsmaßstab arbeiten. Zu diesem Zweck haben Partner 2 (UFZ) und Partner 5 (WU) mehrere bilaterale Interaktionen (per Videokonferenz) und Feldbesuche organisiert, um die detaillierte Methodik zur Herstellung der Brücke zwischen dem Kulturpflanzenmodell (WOFOST) und dem Einzugsgebietswasserqualitätsmodell (HYPER) an der Fallstudie Selke zu diskutieren. Außerdem wurde in der letzten Novemberwoche (26.-30. November) 2018 im UFZ, Deutschland, ein Workshop organisiert, bei dem die Partner 2 (UFZ), 5 (WU) und 7 (CERTE) die Durchführbarkeit der Hochskalierung in einem Einzugsgebiet mit trockenen Klimabedingungen und begrenzter Datenverfügbarkeit (Grombalia-Aquifer, Tunesien) diskutierten. Andere Kooperationen zwischen den Partnern wurden für spezifische Aufgaben im Projekt diskutiert, wie z.B. Task 3.2: Die Identifizierung von SMART-Indikatoren (wobei eine Zusammenarbeit zwischen CERTE, UFZ und WU etabliert wurde). In WP4 war Dr. Seifeddine Jomaa zusammen mit Prof. Michael Rode für die Koordinierungsaktivitäten und die Erfüllung der Aufgaben des WP4 verantwortlich. Alle Partner des Projektkonsortiums und insbesondere die Kollegen von der WU

(Niederlande) und dem UFZ (Deutschland) sind an der Durchführung der Aufgaben des WP4 beteiligt.

Dr. Seifeddine Jomaa nahm an der Auftaktsitzung in Orvieto (Italien) sowie an der ersten und zweiten Jahrestagung in Tunis (Tunesien) und Lissabon (Portugal) teil. Im Rahmen von WP2 war Dr. Seifeddine Jomaa außerdem viermal Gastgeber für Dr. Silva im UFZ, Deutschland, um die Projektaufgaben und die Methodik zu besprechen sowie das Selke-Einzugsgebiet und die Station des Versuchsbetriebs Bad Lauchstädt zu besuchen. Während dieser Besuche wurden vielversprechende Ideen und vorläufige Datenanalysen zur Nutzung des Langzeitdatensatzes von Bad Lauchstädt (1902 - 2016) untersucht. Auch Prof. Makram Anane und sein Doktorand Rim Mehdaoui (CERTÉ, Tunesien) besuchten das UFZ-Team in der letzten Novemberwoche 2018. Ziel des Treffens war es, das Selke-Einzugsgebiet und die Versuchsstation Bad Lauchstädt zu besichtigen und die Upscaling-Möglichkeiten am tunesischen Standort zu diskutieren. Dr. Silva (WU) schloss sich diesem Besuch zu Gesprächen an.

**Tabelle 2.** Zusammenfassung der verschiedenen Besuche des WaterFARMING-Projekts im UFZ, Deutschland während der ersten Hälfte der Projektlaufzeit.

Datum des Besuchs	Menschen	Ziel
17-18 Oct 2017	Dr. João Vasco Silva (WU, The Netherlands)	- Diskussion der Projektaufgaben und Gedankenaustausch
12-15 Feb 2018	Dr. João Vasco Silva (WU, The Netherlands) Dr. Abebe Chukalla (WU, The Netherlands)	- Besuch im Selke-Einzugsgebiet, - Besuch des Statischen Düngungsversuchs von Bad Lauchstädt, - Diskussion über die Durchführbarkeit der Hochskalierung und die Kopplung zwischen der Kulturpflanze (WOFOST) und dem Einzugsgebietsmodell für Wasserqualität (HYPE-Modell)
1-2 Oct 2018	Dr. João Vasco Silva (WU, The Netherlands)	- Diskussion über die vorläufige Datenanalyse des Bad Lauchstädter Modells und Upscaling zwischen WOFOST und HYPE
26-30 Nov 2018	Prof. Makram Anane (CERTÉ, Tunisia) MSc Rim Mehdaoui (CERTÉ, Tunisia)	- Besuch im Selke-Einzugsgebiet, - Diskussion über die vorläufigen Ergebnisse des in Tunesien angewandten Fernerkundungsansatzes und wie die Hochskalierung der Kulturpflanzenanalyse vom Feld- zum Einzugsgebietsmaßstab durchgeführt werden soll
3-4 Jun 2019	Dr. João Vasco Silva (WU, The Netherlands)	- Besuch des Statischen Düngungsversuchs von Bad Lauchstädt, - Erörterung des Fortschritts der Kopplungsübung zwischen den Modellen HYPE und WOFOST, - Diskussion der nächsten Projektergebnisse Deliverables D2.3 und D4.3.

### 3. Einbeziehung von Interessenvertretern

In WP4 zielte das WaterFARMING-Projekt darauf ab, die Bottom-Up-Entscheidungsfindung bei der Wasser- und Nährstoffrückhaltung und -nutzungseffizienz durch einen partizipatorischen Ansatz und unter Berücksichtigung des sektorübergreifenden Teams von Interessenvertretern zu stärken. Das Engagement der Interessenvertreter in der Selke-Fallstudie bei der Entscheidungsfindung im Allgemeinen

und bei der Anregung von Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung auf der Ebene des Einzugsgebiets ist eine "Erfolgsgeschichte" und kann auf die anderen Produktionssysteme der WaterFARMING-Fallstudien übertragen werden. Das Stakeholder-Team setzt sich zusammen aus Bauernverband, Landschaftsbehörde, Wasserwirtschaftsbehörde und Umweltschutzbehörde. Der ökologische Zustand der Gewässer in der Selke-Fallstudie wird hauptsächlich durch diffuse Verschmutzung aus der Landwirtschaft und punktuelle Verschmutzungsquellen aus den Abwässern städtischer Gebiete und alter Bergbaustandorte beeinflusst. Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen sind die Haupteutrophierungsquellen des Fließgewässers. Die Nährstoffanreicherung führt zu Konflikten zwischen den wirtschaftlichen Interessen von Interessengruppen aus dem landwirtschaftlichen Sektor und den ökologischen Interessen von Interessengruppen, die den "Umweltsektor" vertreten. Weitere Konflikte entstehen zwischen unterschiedlichen rechtlichen Anforderungen und politische Maßnahmen innerhalb und zwischen verschiedenen Sektoren sind im politischen Mehrebenen-Umfeld der Europäischen Union (EU) erforderlich.

Die Interessenvertreter in der Selke-Fallstudie haben ihre Erfahrungen und guten Praktiken auf der Einzugsgebietsebene im Hinblick auf ein integriertes Wassermanagement zur Nährstoff- und Wassernutzungseffizienz in der Landwirtschaft ausgetauscht. Das Wissen der Experten über die Interessenvertreter mit uns zu teilen, war ein wertvolles Datenmaterial für das WaterFARMING-Projekt, insbesondere für die Aufgabe der Hochskalierung vom landwirtschaftlichen Betrieb auf die Einzugsgebietsebene. Darüber hinaus war der Langzeitdatensatz des Erweiterten Statischen Düngungsversuchs von Bad Lauchstädt (1902 - 2016) sehr hilfreich für die WOFOST-Modellkalibrierung und -validierung für die verschiedenen gängigen Produktionssysteme in Mitteldeutschland. Die WaterFARMING-Projektpartner fanden das Engagement der Interessenvertreter in der Selke-Fallstudie sehr interessant und möchten die Ergebnisse der Datenanalyse des Statischen Düngungsversuchs nutzen, um 1) die Beziehungen zwischen den Ernteerträgen und der Düngerausbringung über die Zeit und für jede Anbaukultur zu verstehen und 2) die Effizienz der Nährstoffausbringung unter verschiedenen Nährstoffbehandlungen zu untersuchen. Darüber hinaus sind die Interessenvertreter sehr daran interessiert, ein solides Entscheidungsinstrument zu verwenden, um bessere Szenarien für die Wasser- und Nährstoffnutzungseffizienz zu erstellen.

#### **4. Zusammenfassung der WP4-Aktivitäten während der Projektlaufzeit**

Die in WP4 (bei dem das UFZ die Leitung übernimmt) angewandte Methodik war die gleiche wie im WaterFARMING-Vorschlag beschrieben. Im Laufe des ersten und zweiten Jahres der Projektlaufzeit kam es zu keiner Abweichung. Das Hauptziel von WP4 ist die Erprobung einer Vielzahl von Maßnahmen und Verbesserungen zur Steigerung der Effizienz der Wasser- und Nährstoffnutzung, wie z.B. die Einführung von Mehrkultursystemen, Pufferstreifen, verbesserte Fruchtfolgen und reduzierte Bodenbearbeitung. Das WP4 zielt darauf ab, eine Reihe von Optionen und Maßnahmen zu identifizieren, die von den Interessengruppen vorgeschlagen und durch Versuche auf landwirtschaftlichen Betrieben unter Berücksichtigung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen umgesetzt werden sollen. Die vier Ergebnisse von WP4 wurden entsprechend dem Zeitplan des Projektvorschlags fristgerecht fertiggestellt und eingereicht. Das Arbeitsergebnis 4.1 (D4.1) fasst die Managementmaßnahmen zusammen, die im Netzwerk der Produktionssysteme eingesetzt werden können. An der Fallstudie Selke (Deutschland) wurde das Umsetzungsverfahren einer großen Bandbreite von Ökosystemdienstleistungsmaßnahmen, die von Interessenvertretern vom Feld bis zur Einzugsgebietsskala vorgeschlagen wurden, durchgeführt. Die Selke-Fallstudie gilt als ein typisches Beispiel für die "Einzugsgebietsskala", um einen Bottom-up-Dialog mit Interessengruppen zu initiieren, die einen partizipativen Ansatz verfolgen. Während Deliverable 4.2 (D4.2) eine Analyse und Vorauswahl verschiedener Maßnahmen in Absprache mit den Stakeholder-Plattformen zur Verbesserung des Netzwerks von Produktionssystemen zwischen den

Projektpartnern vorsieht.

Wie bereits erwähnt, haben WP2 und WP4 eine multidisziplinäre Interaktion innerhalb des WaterFARMING-Projekts eingerichtet, um mit Hilfe des Erweiterten Statischen Düngungsversuchs von Bad Lauchstädt (1902 - 2016), Deutschland, langfristige Daten zur Pflanzenphänologie, zum Pflanzenertrag und zur Stickstoff(N)-Aufnahme zu erarbeiten. Dieser Datensatz, der hinsichtlich seines Versuchsdesigns mit Langzeitversuchen, verschiedenen Kulturen und landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsverfahren einzigartig ist, wird für die Hauptkulturen in der Region analysiert: Speisekartoffel, Zuckerrüben, Winterweizen, Sommergerste und Silomais. Diese Daten wurden zur Beurteilung der empirischen Beziehungen zwischen N-Anwendung und N-Aufnahme sowie zwischen N-Aufnahme und Ernteertrag verwendet. Auch das Kulturpflanzenmodell WOFOST wurde anhand dieser Felddaten evaluiert und angewandt, um die zeitliche Dynamik der N-Aufnahme durch die verschiedenen Kulturen zu beschreiben und potenzielle, wasser- und stickstoffbegrenzte Erträge im gesamten Selke-Einzugsgebiet zu simulieren.

Die nachhaltige Intensivierung ist ein Konzept, das darauf abzielt, die Ressourcennutzung und -bewirtschaftung durch Verringerung der Ertragslücken bei hoher Ressourcennutzungseffizienz zu optimieren. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz der Wasser- und Nährstoffnutzung in landwirtschaftlichen Systemen zu verstehen. Langzeitexperimente zur Überwachung der Leistung von Nutzpflanzen und Bodeneigenschaften sind sehr vorteilhaft, um den relativen Beitrag von Klima- und Managementfaktoren, die die Effizienz der Wasser- und Nährstoffnutzung beeinflussen, zu quantifizieren. In dieser Studie wurden Langzeitdaten zu Ernteerträgen und N-Aufnahme aus dem Erweiterten Statischen Düngerversuch von Bad Lauchstädt (1902 - 2016) für die wichtigsten Ackerkulturen in Mitteldeutschland, nämlich Speisekartoffel, Zuckerrübe, Winterweizen, Sommergerste und Silomais, analysiert. Die Ertragsreaktionen auf Nährstoffe über verschiedene Düngungsstrategien (mineralisch und organisch) wurden in Abhängigkeit von den Niederschlägen der Vegetationsperiode analysiert. Zeitliche Trends bei den Ernteerträgen, der N-Aufnahme und den Bodeneigenschaften wurden ebenfalls untersucht, um den langfristigen Effekt alternativer Düngermanagementstrategien auf die Leistung der Pflanzen zu bewerten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anwendung von mineralischen und organischen Düngemitteln zu einer effizienteren Nutzung des Niederschlages der Vegetationsperiode bei allen analysierten Kulturen beiträgt. Dies lässt sich durch den Anstieg der Ernteerträge erklären, der durch die Beseitigung der Nährstoffeinschränkungen und den Aufbau der Bodenfruchtbarkeit im Laufe der Zeit beobachtet wurde. Es gab deutliche Unterschiede bei den Ernteerträgen und der N-Aufnahme zwischen Behandlungen mit und ohne Mineraldünger, aber diese wurden mit zunehmender ausgebrachter Düngemenge geringer. Zeitliche Trends zeigen, dass z.B. i) die Düngausbringung nur dann die Ernteerträge erhöht, wenn keine Mineraldünger ausgebracht werden, ii) die Ernteerträge sinken, wenn keine mineralischen und organischen Dünger aufgrund des langfristigen Nährstoffabbaus im Boden ausgebracht werden, und iii) die N-Aufnahme unabhängig von der Düngbehandlung abnimmt, wenn kein Mineraldünger ausgebracht wird.

Angemessene Instrumente zur Bewertung einer nachhaltigen Intensivierung der Pflanzenproduktion im Kontext des gesamten agro-hydrologischen Systems sind derzeit nicht ohne weiteres verfügbar. Aufbauend auf bestehenden Konzepten schlagen wir einen Rahmen vor, der die Bewertung einer nachhaltigen Intensivierung auf Feld- und Flussbeckenebene ermöglicht. Der Rahmen ermöglicht die Visualisierung nachhaltiger Intensivierungs-Indikatorwerte wie Ertrag, Wassernutzungseffizienz (WUE) und Stickstoffverbrauchseffizienz (NUE) sowie Überschüsse in der Pflanzenproduktion und deren Auswirkungen auf Wasserquantität und -qualität. Das Rahmenwerk zur Bewertung der nachhaltigen Intensivierung kann verwendet werden: 1) den Vergleich der Auswirkungen alternativer

landwirtschaftlicher Praktiken und Produktionssysteme und 2) die Untersuchung der mehrjährigen Auswirkungen agronomischer Praktiken. Wir demonstrieren unser Rahmenwerk für die zweite Anwendung anhand empirischer Daten für das Selke-Einzugsgebiet, Deutschland. Die Ergebnisse zeigten, dass die Ertrags- und Ressourcennutzungseffizienz im Laufe der Zeit stark schwankt. Außerdem liegt der NUE häufig außerhalb eines wünschenswerten Bereichs und führt der Umwelt große Mengen an Stickstoffüberschüssen zu. Die Nitratbelastung in der Selke steht in direkter Beziehung zum Abfluss und transportiert Stickstoff in den Vorfluter. Wir kommen zu dem Schluss, dass der Bewertungsrahmen für eine nachhaltige Intensivierung nützlich ist, um die Nachhaltigkeit der gegenwärtigen Pflanzenproduktionssysteme sowohl auf Feld- als auch auf Flussgebietsebene zu bewerten. Die Methodik trägt dazu bei, die Auswirkungen landwirtschaftlicher Land- und Wassermanagementpraktiken auf die Indikatoren für die Pflanzenproduktion, die Effizienz der Ressourcennutzung und die Umweltqualität sichtbar zu machen. Die gemeinsamen Anstrengungen der Teams von WU und UFZ führten zu einer wissenschaftlichen Publikation (Chukalla et al. 2020).

Anschließend wurde die Effizienz der von den Interessengruppen vorgeschlagenen Minderungsoptionen durch einen partizipativen Ansatz zur Minderung der Nährstoffauswaschung im Selke-Einzugsgebiet mit Hilfe eines hydrologischen Nährstoffmodells getestet (Deliverable D4.3). Die prozessbasierte hydrologische Modellierung der Wasserqualität hat sich als geeignetes wissenschaftliches Entscheidungsunterstützungsinstrument erwiesen, um ein physikalisches Verständnis der Prozesse zu erhalten, aber auch, um die Effizienz von Minderungsoptionen auf der Ebene des Einzugsgebiets zu testen. Der Aufbau eines hydrologischen Wasserqualitätsmodells erfordert ein Minimum an Eingabedaten, die das Klima, die Hydrologie, die Biogeochemie und die landwirtschaftliche Praxis des untersuchten Einzugsgebiets abdecken. Auch das Vorhandensein von Überwachungsdaten an verschiedenen Messstandorten ist entscheidend, um die Modellparameter räumlich und zeitlich zu kalibrieren und zu bewerten. Die Durchführung von On-Farm-Versuchen zur Verbesserung der wasser-, nährstoff- und bodenschonenden Praktiken wurde an der deutschen Fallstudie Selke und unter Verwendung von Modellsimulationen durchgeführt. Dabei wurde das semi-distributive hydrologische HYPE-Modell verwendet. Zunächst wurde die Baseline-Simulation der Wassermenge und -qualität des Einzugsgebiets an den drei Hotspot-Messstellen (Silberhütte, Meisdorf und Hausneindorf) bewertet, wo seit dem Jahr 1993 der kontinuierliche Abfluss sowie der Gesamtstickstoff (TN) und der Gesamtphosphor (TP) gemessen wurden. Zweitens wurde die Wirkung der von den Interessengruppen vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verbesserung der Wasser- und Nährstoffverbrauchseffizienz getestet. Die Ergebnisse zeigten, dass das Modell die gemessenen Abfluss- und Nährstoffkonzentrationen während der Ausgangssimulationen sehr gut reproduzieren konnte. Dann wurde das Modell getestet, um die Effizienz der Minderungsmaßnahmen darzustellen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Reduzierung der TP-Frachten für die Liste der in Betracht gezogenen Minderungsmaßnahmen in einer Spanne von 4,88-26,39% liegt. Die geringste Reduzierung der TP-Belastungen wurde erreicht, wenn das Konturpflügen durchgeführt wird. Im Gegensatz dazu wurde die höchste Reduktion gefunden, wenn die reduzierte Bodenbearbeitungs-Minderungsoption zwischen den Anbausaisons in Betracht gezogen wurde.

Die maximale Reduktion der TP-Frachten (von etwa 36,79%) wurde erreicht, wenn alle Phosphor-Zielminderungsoptionen (Pufferstreifen, reduzierte Bodenbearbeitung, Konturpflügen und Anschluss der restlichen 10% der Haushalte an das Abwassersystem) gleichzeitig umgesetzt wurden. Bei den TN-Belastungen führte die Minderungsoption, die Düngemittelausbringung auf dem Ackerland um 20% zu reduzieren, zu einer Verringerung der TN-Belastung am Selke-Einzugsgebiet (Hausneindorf) um 6,33%. Bei der gleichzeitigen Berücksichtigung von diffusen und punktuellen Minderungsoptionen wurde im Vergleich zu den Ausgangssimulationen nur eine Reduzierung der TN-Frachten um etwa 7,03% erreicht. Die detaillierten Ergebnisse dieser Aufgabe wurden in D4.3 vorgestellt.

## **5. Deliverable 4.4: Sozio-ökonomische Bewertung von On-Farm-Versuchen mit den Stakeholder-Plattformen**

Dieser Bericht präsentiert die Ergebnisse der Modellierung der Effizienz der von Interessengruppen vorgeschlagenen Minderungsmaßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen des Klimawandels auf das Selke-Einzugsgebiet in Deutschland. Dieser Bericht enthält vor allem die Modellierungsergebnisse für die Maßnahmen, die während der verschiedenen Workshops mit den Stakeholdern unter den Klimawandel-Szenarien diskutiert wurden. Außerdem wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, um die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Kosten-Nutzen-Analyse (KNA), die definiert werden kann als "eine Technik zur Messung, ob der Nutzen einer bestimmten Maßnahme größer ist als die Kosten, beurteilt aus der Sicht der Gesellschaft als Ganzes".

## **6. Interessenvertreter schlugen Maßnahmen zur Eintragereduzierung vor**

Die Minderungsoptionen für das Selke-Einzugsgebiet wurden im Bericht Deliverable 4.3 ausführlich beschrieben und werden im Folgenden nur kurz zusammengefasst.

### *Option 1: Weitermachen wie bisher*

Das "business as usual" spiegelt die Fortsetzung der gegenwärtig umgesetzten Maßnahmen und Umsetzungsansätze (Governance) im Selke-Fallstudiengebiet wider, wie skizziert. Ausführlichere Informationen finden sich in (Deliverable 4.3).

### *Option 2: Ökosystemdienstleistungsansatz*

Diese Abmilderungsoption basiert auf dem Vorschlag einer stärkeren Zielvorgabe und gewährleistet die Erbringung vielfältiger Ökosystemleistungen, von der landwirtschaftlichen Bodennutzung bis hin zur Bewirtschaftung von Fließgewässern in landwirtschaftlich genutzten Gebieten.

### *Option 3 - Abwasserbehandlung*

Diese Option konzentriert sich auf ländliche Punktquellen von Abwasser im Selke-Einzugsgebiet.

### **6.1 Ansatz zur Modellierung des Klimawandels**

Für die Analyse der Auswirkungen des Klimawandels wurde vereinbart, das Klimaszenario RCP 8.5 aus dem CMIP5-Ensemble Globales Klimamodell mit den Projektionen von EURO-CORDEX ([www.cordex.org](http://www.cordex.org), z.B. (Jacob, D et al., 2013) auf die regionalen Klimamodelle WRF (Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)) und RCA4 (SMHI) des Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Instituts (SMHI) zu verwenden. Diese beiden regionalen Klimamodell-Datensätze: 1) WRF-IPSL-CM5A-MR und 2) RCA4-CanESM2 wurden verwendet, um den höchsten Anstieg der Niederschläge bzw. Temperaturen bis 2030 aufzuzeigen. Die Auswahl basierte auf Veränderungen in der Mitte des Jahrhunderts im Sommer, unter der Annahme, dass Veränderungen im Sommer die Veränderungen in der Nährstoffdynamik am stärksten beeinflussen. Es ist wichtig zu beachten, dass die ausgewählten Ensemblemitglieder nicht die gesamte Ensembleverteilung repräsentieren, da dies eine größere Anzahl von Mitgliedern in der Stichprobe erfordern würde, sondern stattdessen versucht wurde, das hohe Ende der prognostizierten Veränderungen widerzuspiegeln, die für den interessierenden Zeitraum insgesamt noch gering sind.

### **6.2 Sozio-ökonomische Bewertung**

Die Ergebnisse des Projekts dienten als Plattform für die Diskussion mit verschiedenen Interessengruppen über die Wirksamkeit der Maßnahmen sowie über deren Kosten und Nutzen. Außerdem wurden verschiedene Treffen und Austausche als Plattform genutzt, um noch offene Fragen und Datenlücken (z.B. die Kosten der verschiedenen Maßnahmen) zu beantworten. Auch Inputs und Empfehlungen von Vertretern des Abwassersektors und der Landschaftspflegerverbände, Aktualisierungen der Kosten-

Nutzen-Analyse der entsprechenden Maßnahmen sowie die Analyse und Diskussion alternativer Ansätze zur Umsetzung von Maßnahmen in Einzelgesprächen wurden während der Stakeholdertreffen gesammelt.

### 6.3 Ergebnisse

#### 6.3.1 Kosten der Maßnahmen und Ergebnisse einer Kosten-Nutzen-Bewertung der Maßnahmen

Die ersten Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse der verschiedenen Maßnahmen wurden vorgestellt. Die Kombination der Maßnahmen in den verschiedenen Szenarien wurde kurz erläutert (unter Berücksichtigung der parallelen Ansätze zur Nährstoffreduktion und zur Verbesserung der Gewässerstruktur, die in den Stakeholder-Workshops gewählt wurden) und anschließend ausführlichere Annahmen über den Umfang der Maßnahmen und die verwendeten Kostenberechnungen ausgeführt. Ziel war es, die umgesetzten Maßnahmen sowie die verwendeten Kosteninformationen zu validieren oder noch bestehende Datenlücken bei den verschiedenen Interessengruppen aufzuzeigen. So stammen einige der verwendeten Kosteninformationen aus Studien zu vergleichbaren Maßnahmen in anderen Bundesländern in Deutschland oder Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Die verwendeten Ansätze zur Kostenberechnung wurden in der Diskussion jedoch als plausibel erachtet. Darüber hinaus wurde der Einfluss des verwendeten Schattenpreises auf die Quantifizierung des Nutzens hervorgehoben und in Tabelle 3 dargestellt. Hier wurde das Problem der Verwendung unterschiedlicher Schattenpreise in früheren Studien aufgezeigt.

**Table 3.** Nährstoffminderungsmaßnahmen für das Selke-Einzugsgebiet, sein Umfang und die jährlichen Durchschnittskosten pro Einheit. Die der Kostenabschätzung zugrunde liegenden Quellen und Annahmen stammen aus dem Bericht der Umweltagentur aus dem Jahr 2015 und unserer früheren Studie (Carolus et al. 2020).

Maßnahme	Geltungsbereich	Einheit des Geltungsbereichs	Jährliche Kosten (in €/Einheit) und Kostenspanne
Pufferstreifen (10m-20m)	273 (10m)- 546 (20m)	ha	829 (326 – 1,514)
Kontur-Pflügen	23,012	ha	0
N-Dünger-Reduzierung (20%)	23,810	ha	13 (10 – 14)

Die Reduktionswirkung von Nährstoffmassnahmen (in kg Jahr<sup>-1</sup> Scope-Unit-1) am Gebietsauslass (Pegel Hausneindorf) des Selke-Einzugsgebietes ist in Tabelle 3 dargestellt. Diese Berechnung wurde mit dem HYPE-Modell unter Verwendung verschiedener Szenarien der Landnutzung (aktuell und unter Anpassung an den Klimawandel) und des Klimawandels (aktuell und unter RCP8.5) berechnet (Tabelle 4).

Die Maßnahmen mit den niedrigsten Kosten pro Hektar sind das Konturpflügen, das als kostenneutral angenommen wurde, und der reduzierte Einsatz von N-Düngern im Selke-Einzugsgebiet (Tabelle 4). Die höchsten Kosten werden für Pufferstreifen im Selke-Einzugsgebiet erzielt (829 ha<sup>-1</sup>, Tabelle 4).

Unter dem derzeitigen Klima und der derzeitigen Landnutzung werden durch Pufferstreifen zwischen 7 und 12,3 kg TP Jahr<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> im Selke-Einzugsgebiet (Tabelle 4) reduziert, was die individuellste Minderungsmaßnahme darstellt. Die 20%ige Düngerreduktionsintensität (nur N-Dünger) führt zu einer Reduktion von weniger als 1 kg N Jahr<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> im Selke-Einzugsgebiet.



**Tabelle 4.** Reduktionswirkung von nährstoffmindernden Maßnahmen am Gebietsauslass des Selke-Einzugsgebiets (in kg Jahr<sup>-1</sup> Scope Unit<sup>-1</sup>). (TN = Gesamtstickstoff und TP = Gesamtphosphor).

Reduktionswirkung am Flussauslass (in kg Jahr <sup>-1</sup> Einheit <sup>-1</sup> )								
Klima-Szenario	aktuell		RCP8.5		aktuell		RCP8.5	
Landnutzungs-Szenario	aktuell		aktuell		Anpassung		Anpassung	
Maßnahme	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP
Pufferstreifen (10m)	n.a.	12.0	n.a.	14.6	n.a.	12.3	n.a.	14.9
Pufferstreifen (20m)	n.a.	6.58	n.a.	8.00	n.a.	6.74	n.a.	8.19
Kontur-Pflügen	n.a.	0.13	n.a.	0.16	n.a.	0.13	n.a.	0.16
N-Dünger-Reduzierung (20%)	0.77	n.a.	0.82	n.a.	0.76	n.a.	0.81	n.a.

### 6.3.2 Ergebnisse der Modellierung

Die Eingabedateien des HYPE-Modells sowie die Datei mit den Modellparametern wurden für eine bessere Umsetzung der verschiedenen im Modell vorgeschlagenen Maßnahmen angepasst, um ihre Auswirkungen im Vergleich zu den Grundlastsimulationen bewerten zu können. Zunächst wurden die Ergebnisse der Simulationen des Ausgangsszenarios für die anorganischen Stickstoffkonzentrationen (IN), des löslichen Phosphors (SP) und des Gesamtphosphors (TP) angegeben. Zweitens wurde über die Modellierungsergebnisse der verschiedenen Auswirkungen berichtet. Die Ergebnisse zeigten, dass eine 20%ige Reduzierung der N-Düngung die Stickstofffrachten im Vergleich zu den Ausgangssimulationen um 7% reduzieren würde. Bezogen auf die jährliche Stickstoffbelastung pro Hektar Land entspricht dies einer Verringerung auf etwa 8,4 von 9,0 kg ha<sup>-1</sup> y. Für Phosphor würde die gemeinsame Durchführung aller Maßnahmen in den Pfaden 2 und 3 mit 20 m breiten Pufferstreifen die Belastungen um etwa 26% reduzieren. Die Modellergebnisse deuteten darauf hin, dass eine Kombination verschiedener Maßnahmen (in der Selke-Fallstudie "gemeinsame Durchführung" genannt) die besten Ergebnisse hinsichtlich der Minderung der Nährstoffemissionen in die Selke bot. Darüber hinaus ist der Vorschlag, einen erweiterten Anschluss der Haushalte an die Abwassernetze in Betracht zu ziehen, von wesentlicher Bedeutung, um die Nährstofffrachten im Selke-Becken zu reduzieren.

## 7. Die Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Die Kosten wurden entsprechend dem im ursprünglichen Projektvorschlag angegebenen Zeitplan und wie im Finanzbericht detailliert aufgeführt, angemessen ausgegeben.

## 8. Diskussion und Schlussfolgerungen

Zusätzlich zur Modellierung der Ausgangssituation wurden die Ergebnisse für die verschiedenen Minderungsoptionen unter aktuellen und zukünftigen Klimaszenarien wie reduzierte Bodenbearbeitung, Konturpflügen, Implementierung von Pufferstreifen und die kombinierte Umsetzung der Maßnahmen verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass das HYPE-Modell den gemessenen löslichen und Gesamtphosphorkonzentrationen während der Baseline Periode (2005-2014) für die drei Messstationen Silberhütte, Meisdorf und Hausneindorf hinreichend gut darstellen konnte. Dann wurde die Wirkung der verschiedenen landwirtschaftlichen Maßnahmen (siehe oben) durch das Modell bestimmt und mit den Simulationen der Ausgangssituation verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass die "Joint Implementation"-Maßnahme, bei der alle Maßnahmen zusammen betrachtet werden, bessere Ergebnisse bei der

Minderung der Nährstoffbelastungen (N und P) erzielt als jeder Effekt einer einzelnen Maßnahme. Darüber hinaus legten die Ergebnisse nahe, dass die Umsetzung der dritten Option, d.h. die Erhöhung der Zahl der an Kläranlagen angeschlossenen Haushalte, die effizienteste Maßnahme zur Verringerung der Phosphorfrachten war.

Der Anteil der Bevölkerung, der nicht an die Kläranlagen angeschlossen ist (5, 15 oder 20%) und in Zukunft an das Abwassernetz angeschlossen werden kann, wurde kurz diskutiert.

Der aktuelle Stand der Umsetzung der Massnahmen (wie Pufferstreifen, reduzierte Bodenbearbeitung) und die weitere Verbesserung und Ausweitung ihrer Umsetzung unter Berücksichtigung einiger Einschränkungen wurde mit den Interessenvertretern diskutiert. Der Schwerpunkt der Diskussion mit der Stakeholdergruppe lag auf Phosphor (Konzentrationen von Gesamt- und löslichem Phosphor), wobei eingeräumt wurde, dass Phosphor stärker für die Eutrophierung verantwortlich ist als Stickstoff.

Während der Workshops wies die Gruppe der Interessenvertreter darauf hin, dass ein großer Bedarf an Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Forschern und Interessenvertretern besteht. Die Modellierer hatten die Möglichkeit, die Modellierungsergebnisse, die Eingabedaten und die Anfangsparameter des HYPE-Modells (z.B. die Menge des verwendeten Düngers oder die Breite und den Umfang der Pufferstreifen) zu überprüfen.

Für die Selke-Fallstudie zeigten die Ergebnisse, dass eine Kombination von Maßnahmen wesentlich ist, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Nährstofffrachten zu mildern. Die getrennte Anwendung jeder der vorgeschlagenen Maßnahmen würde zwar dazu beitragen, die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels abzuschwächen, kann sie aber nicht vollständig beseitigen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Kosten-Nutzen-Analyse von Maßnahmen nicht nur von ihrem spezifischen Konzeption, dem Durchführungsort und den Bedingungen des angrenzenden Gebietes abhängt, sondern auch von den zukünftigen Anpassungsänderungen, denen das Gebiet ausgesetzt sein könnte, beeinflusst wird.

Nach der aufeinander aufbauenden Diskussion mit den Stakeholdern im Verlauf des Projekts wurden Interessenskonflikte zwischen den Stakeholdergruppen (Landschaftssanierung, landwirtschaftliche Sektoren der vor- und nachgelagerten Teile des Selke-Einzugsgebiets, Abwassersektoren usw.) und eine mangelnde Zusammenarbeit zwischen Sektoren und Gruppen deutlich. Auch Konflikte zwischen verschiedenen administrativen Politikebenen (z.B. in Bezug auf unterschiedliche Zielsetzungen und unterschiedliche Auslegung von Vorschriften) wurden als Haupthindernisse für die Verbesserung der Wirksamkeit von Maßnahmen aufgezeigt und waren ein zentrales Thema intensiver Diskussionen. In den Pfaden wird untersucht, inwieweit alternative Governance-Konfigurationen (z.B. im Hinblick auf die Entwicklung, Umsetzung und Verwaltung von Maßnahmen, die Rolle der verschiedenen Interessengruppen und Möglichkeiten zur Finanzierung von Maßnahmen außerhalb des starren bestehenden politischen Rahmens) diese Probleme angehen und zu einer verbesserten Wirksamkeit führen können.

## Referenzen

- Lindström G, Pers C, Rosberg J, Strömqvist J, Arheimer B. 2010. Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41: 295-319. Doi: 10.2166/nh.2010.007.
- Jacob, D. et al., 2013, EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research, *Regional Environmental change*, doi:10.1007/s10113-013-0499-2.
- Carolus, J.F., Bartosova, A., Olsen, S.B., Pedersen, S.M., Veinbergs, A., Jomaa, S., Rode, M and Tonderski, K. Nutrient mitigation under the impact of climate and land-use changes: A hydro-economic approach to participatory catchment management. *Journal of Environmental Management*, 20 January 2020.

- Environmental Agency. (2015). Delivering benefits through evidence. Cost estimation for land use and runoff - summary of evidence. Report –SC080039/R12. Flood and Coastal Erosion Risk Management Research and Development Programme.

## Publikationen

**Tabelle 5.** Liste der Publikationen im Zusammenhang mit WaterFARMING, an denen das UFZ beteiligt ist.

Von Fachkollegen begutachtete Zeitschriften	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Jomaa, S.</b>, Aboud, I., Dupas, R., Yang, X.; Rozemeijer, J., <b>Rode, M.</b> 2018. Improving nitrate load estimates in an agricultural catchment using Event Response Reconstruction, <i>Environmental Monitoring and Assessment</i>, 190(6), 330. <a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6700-9">https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6700-9</a></li> <li>2. Chukalla, A. D., Reidsma, P., Van Vliet, M. T. H., Silva, J. V., van Ittersum, M. K., <b>Jomaa, S.</b>, <b>Rode, M.</b>, Merbach, I. and van Oel, P. R. (2020). Balancing indicators for sustainable intensification of crop production at field and river basin levels, <i>Science of the total environment</i>. <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719359200">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719359200</a></li> </ol>
Kommunikation (Präsentationen, Poster)	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Silva, J.V.; <b>Jomaa, S.</b>; Yang, X.; Merbach, I.; Reidsma, P.; Anten, N.P.R; <b>Rode, M.</b> 2018. Upscaling water and nutrient use efficiencies from field to catchment scales: a case study in the Selke catchment, Germany. 20<sup>th</sup> N workshop, Rennes, France. <a href="https://workshop.inra.fr/nitrogenworkshop2018">https://workshop.inra.fr/nitrogenworkshop2018</a></li> <li>4. Silva, J.V., <b>Jomaa, S.</b>, Merbach, I., <b>Rode, M.</b>, Anten, N.P.R., Reidsma, P. 2019. Long-term assessment of water and nutrient use efficiencies of arable crops in Central Germany. EGU General Assembly, Vienna, Austria 7-12 April 2019 (Presented at the European Geosciences Union). <a href="https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-13896.pdf">https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-13896.pdf</a></li> <li>5. Silva, J.V., Merbach, I., <b>Jomaa, S.</b>, Reidsma, P. (2020). Nutrient use efficiencies for the main arable crops in Central Germany: Insights from the Static Fertilization Experiment Bad Lauchstädt, 1902 – 2015. Submitted to Symposium on ‘Frontier in experimental research on changing environments, 125 years of the field research station in Bad Lauchstädt’ (<a href="https://www.ufz.de/index.php?en=46828">https://www.ufz.de/index.php?en=46828</a>, Organized online to covid19 pandemic).</li> </ol>

Eine Liste der Projektergebnisse, an denen der UFZ-Partner im dritten Jahr direkt und indirekt beteiligt war, ist in Tabelle 6 aufgeführt.

WP 4	Design of innovative water and nutrient efficient production systems
Task 4. 1	Simulation of management measures for the network of production systems by application of the field-catchment scale SMART indicators
D4.1	Report on simulation of management scenarios for the network of production systems
Task 4.2	Analysis and short listing of different measures in consultation with the stakeholder platforms, for improvement of the network of production systems
D4.2	Report on analysis and short listing of different scenarios with the stakeholder platforms

Task 4.3	Implementation of on-farm trials for improvement of water, nutrient and soil conserving practices
D4.3	Implementation of on-farm trials for improvement of water, nutrient and soil conserving practices in the network of production systems
Task 4.4	Socio-economic assessment of the suggested management measures under current and future climate and land use conditions
D4.4	Socio-economic assessment of on-farm trials with the stakeholder platforms

**Tabelle 6.** Liste der vom UFZ erstellten und eingereichten Deliverables.

Das WaterFARMING-Projekt hat in diesem Jahr im Vergleich zum ursprünglichen Plan keine Änderungen erfahren.