

Modellierung von Wasserstress im burgenländischen Seewinkel

Wasserschutz Österreichs vis a vis WaterStressAT

Bericht der Modellierer*innen, Oktober 2023

In diesem Policy Brief werden die wichtigsten Erkenntnisse aus der hydrologischen Modellierung im Rahmen des WaterStressAT-Projekts vorgestellt. Das Projekt befasst sich mit den Herausforderungen von Wasserstress, indem es die verfügbaren Daten und Analysen der Grundwasserneubildung und der landwirtschaftlichen Wasserentnahme berücksichtigt. Darüber hinaus werden die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse mit den Ergebnissen der Studie Wasserschutz Österreichs, das bisher umfassendste Vorhaben zur Abschätzung von Wasserverfügbarkeit und -bedarf in ganz Österreich, verglichen und validiert.

Kontext

Die Region Seewinkel ist eines der Hauptbewässerungsgebiete in Österreich, das sich zur Deckung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs fast ausschließlich auf den Grundwasserkörper stützt. Wasserstress stellt eine große Herausforderung für die landwirtschaftliche Bewässerung in dieser Region sowie für die Wasserverfügbarkeit und -qualität in den Salzlacken dar, die für dieses ehemalige Moorgebiet östlich des Neusiedler Sees typisch sind. Es wird erwartet, dass der Klimawandel in Zukunft den Bedarf an Wasser für die Bewässerung erhöhen und die Funktionsweise der Salzlacken noch stärker als bisher bedrohen wird. Die Evapotranspiration hat bereits in den letzten Jahren zugenommen, gleichzeitig wurde ein höherer Wasserbedarf der Pflanzen und damit ein größerer Bedarf an Bewässerung während der verlängerten Vegetationsperiode festgestellt (Wögerer et al., 2021).

Erkenntnisse

Unsere hochauflösenden hydrologischen Modelle CWATM und MODFLOW, die mit historischen Daten kalibriert wurden, können die künftige Wasserverfügbarkeit mit Hilfe von Computermodellen simulieren und geben Aufschluss über die saisonalen Trends der Wasserverfügbarkeit.

- **Die Ergebnisse für den Seewinkel deuten auf größere saisonale Grundwasserschwankungen hin, die sich negativ auf das landwirtschaftliche Bewässerungspotenzial und die Funktionsweise von Salzlacken und anderen hochspezialisierten Ökosystemen auswirken können.**

In der Vergangenheit erfolgte eine Verlagerung hin zu hochwertigen einjährigen Kulturen mit oftmals höheren Wasserbedarf pro Flächeneinheit, bei gleichzeitig geringerer Wasserverfügbarkeit. Die Bewässerung erfolgte meist mit windempfindlichen, arbeitsintensiven Überkopfberegnern.

- **Empfehlenswert ist einkombinierter Ansatz: Einführung eines auf die Klimafolgen angepassten Fruchtfolgesystems, einschließlich trockenheitstoleranter Kulturen und Verbesserung der Bewässerungseffizienz.**

Aufgrund unzureichender Informationen über die tatsächlichen Wasserentnahmen in der Landwirtschaft bestehen weiterhin große Unsicherheiten bei den Ergebnissen.

WaterStressAT und die Region Seewinkel

Im Rahmen des WaterStressAT-Projekts war die Region Seewinkel ein enorm wichtiges Fallstudiengebiet, wo eine eingehende Analyse der Wassernutzung, vor allem in der Landwirtschaft, und ihres Einflusses auf das darunterliegende Grundwasser durchgeführt wurde. Diese umfassende Bewertung umfasste verschiedene Ansätze, einschließlich der aktiven Einbeziehung von Stakeholdergruppen, mathematischer Modellierung und räumlich verteilter hydro-ökonomischer Optimierung, um die Wassersicherheit und Resilienz des Seewinkels angesichts der Klimaveränderungen zu bewerten.

WaterStressAT umfasste zwei übergreifende Forschungsfragen: (1) Wie können der Wasserstress minimiert und gleichzeitig andere regionale Entwicklungsziele beibehalten werden? (2) Wie kann die Region ein nachhaltiges Wassermanagement aufrecht erhalten bei gleichzeitiger Berücksichtigung regionaler Entwicklungsziele? In Gesprächen mit der Kerngruppe wichtiger Entscheidungsträger*innen in der Region wurden fallspezifische Fragen entwickelt, die sowohl auf die Modellierung abzielten und essentiell für die Entscheidungsfindung in der Region waren. Eine Schlüsselfrage betraf insbesondere kritische Grundwasserstände angesichts des Klimawandels - insbesondere im Hinblick auf die landwirtschaftliche Produktion. Qualitativ ging es darum, welche Optionen für das Wassermanagement in der Landwirtschaft angesichts des zu erwartenden Wasserstress, unter Berücksichtigung und Einbettung anderer Sektoren wie „Ökosysteme und Tourismus. relevant sind.

1 Erkenntnisse aus der hydrologischen und hydro-ökonomischen Modellierung

In der Region Seewinkel sind die Quantifizierung und Überwachung des Grundwasserspiegels von größter Bedeutung für die Umsetzung einer nachhaltigen Wasserwirtschaft. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der Agrarsektor in dieser Region für die Bewässerung der Kulturen fast ausschließlich von Grundwasserressourcen abhängig ist, während in anderen Regionen Oberflächen- und Grundwasserressourcen gemeinsam genutzt werden. Der Mangel an öffentlich zugänglichen Daten über die Grundwasserentnahme stellt eine große Herausforderung für die Bewertung des Zusammenspiels zwischen der Grundwassernutzung und exogenen Variablen wie Klimaschwankungen und ökonomischer Nachfrage dar. Darüber hinaus spielen die Grundwasserressourcen im Seewinkel eine zentrale Rolle für die ökologische Stabilität empfindlicher Biome, einschließlich Feuchtgebieten und Salzlacken.

Ein hochauflösendes hydrologisches Modell, das Community Water Model (CWatM) (Burek et al., 2019), gekoppelt mit dem subsurface MODFLOW-Modell (Langevin, 2017), wurde entwickelt, um die Grundwasserentnahme und die landwirtschaftliche Wassernutzung in der Region Seewinkel zu vergleichen (Guillaumot, 2022). Es wurde anhand historischer Daten kalibriert und anschließend eingesetzt, um vier unterschiedliche Klimaszenarien zu simulieren, die Aufschluss über die Entwicklung der Wasserverfügbarkeit geben. Die Modellierung wurde in häufigem Austausch mit

politischen Entscheidungsträger*innen aus den Bereichen Wasserwirtschaft, Naturschutz und Landwirtschaft weiterentwickelt.

- Eine genauere Untersuchung der Grundwasserspiegel an den 80 Beobachtungsbrunnen in der Region zeigt, dass **unter trockeneren Zukunftsszenarien größere jährliche Veränderungen der Grundwasserspiegel zu erwarten sind** (siehe Abbildung 1).
- **Diese größere Variabilität kann sich auf die Notwendigkeit zur Bewässerung zu kritischen Zeitpunkten während des Pflanzenwachstums sowie auf die Qualität der Salzlacken auswirken**, da der Wasserfluss vom Grundwasserspiegel zum Boden der Salzlacken unterbrochen wird (Zimmerman, 2021).

Darüber hinaus wurde der Grundwasserleiter des Seewinkels mit zwei unterschiedlichen Ansätzen modelliert: Systemdynamik (Cotera et. al, 2023) und räumlich verteilte hydroökonomische Analyse. Diese Analysen wurden mit einer wesentlich größeren räumlichen Auflösung durchgeführt und konzentrierten sich auf die Gemeindeebene bzw. auf die Region Seewinkel. Die Auswertungen wurden auf einer monatlichen Zeitskala durchgeführt. Im Gegensatz zu herkömmlichen hydrologischen Modellen ergaben diese Ansätze zusätzliche Erkenntnisse:

- **In Zeiten geringerer Wasserverfügbarkeit stellen die Landwirt*innen oft wirtschaftliche Überlegungen, wie beispielsweise eine Umsatzmaximierung, in den Vordergrund. Folglich neigen sie dazu, profitablere einjährige Kulturen anzubauen, obwohl diese einen höheren Wasserbedarf pro Flächeneinheit haben.**
- **Die wirksamste Strategie zur Anpassung der Landwirtschaft an die Klimafolgen und zur Verringerung der Grundwasserentnahme besteht jedoch in einer Kombination von Maßnahmen, insbesondere in der Umstellung auf ein klimaangepasstes Fruchtfolgesystem und in der Verbesserung der Bewässerungsmethoden.**

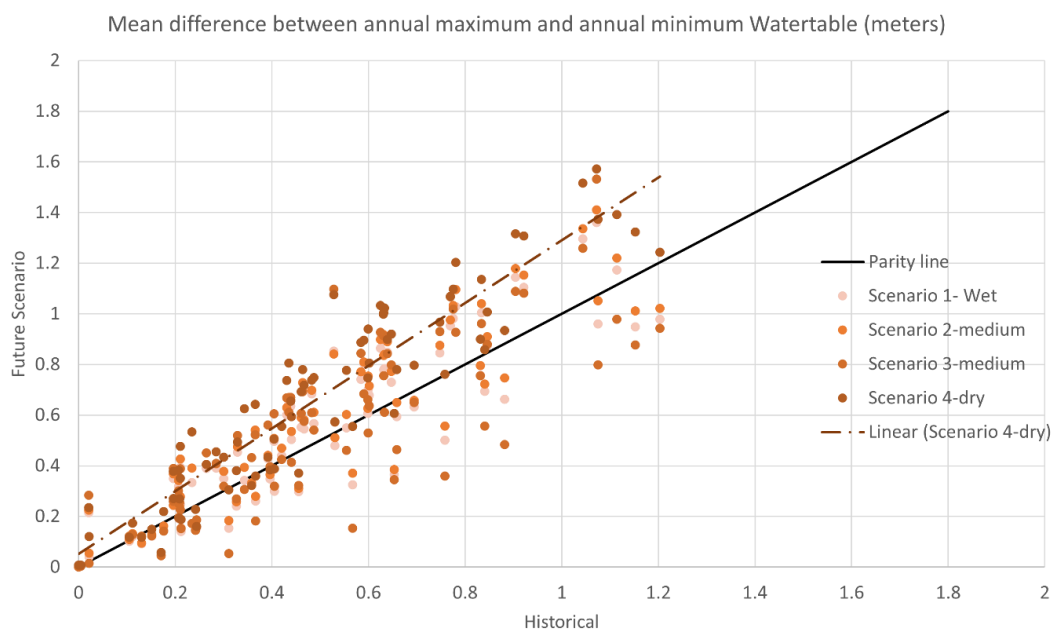


Abbildung 1: Vergleich der durchschnittlichen Differenz zwischen dem jährlichen Maximum und dem jährlichen Minimum des Grundwasserspiegels an 80 Grundwasserbrunnen im Seewinkel in vier verschiedenen Klimaszenarien. Die Schwankungen der Grundwasserstände werden in Zukunft größer ausfallen.

2 Wasserschatz vs. WaterStressAT – nationale vs. regionale Schätzungen

Das Projekt Wasserschatz Österreichs war ein umfassendes Vorhaben zur langfristigen Abschätzung der Wasserressourcen Österreichs unter dem Einfluss des Klimawandels. Wasserschatz zielte in erster Linie darauf ab, einen nationalen Überblick über die Grundwasserressourcen und den Wasserbedarf für verschiedene Zwecke zu geben und priorisierte daher Daten, die für langfristige quantitative Zustands- und Risikobewertungen gemäß der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) geeignet sind. WaterStressAT wurde zum Teil entwickelt, um Einblicke in regional spezifischere Fragen der Wasserverfügbarkeit unter dem Klimawandel zu geben. Im Folgenden werden die beiden Ansätze verglichen, wobei der Schwerpunkt auf zwei zentralen Parametern liegt: Grundwasserneubildung und landwirtschaftliche Wasserentnahme. Darüber hinaus werden verschiedene Herausforderungen und Probleme im Zusammenhang mit den Daten aufgezeigt, die die Erstellung einer genauen Wasserbilanz in der Region erschweren.

2.1 Räumliche und zeitliche Grenzen

Für die Region Seewinkel gibt es mehrere geografische Abgrenzungen. Wasserschatz und WaterStressAT verwenden jeweils unterschiedliche Referenzgebiete (Tabelle 1). Die Daten von Wasserschatz beziehen sich auf die wasserwirtschaftliche Definition des Seewinkels, d.h. den Grundwasserkörper. WaterStressAT umfasst den östlichen Teil des Neusiedler Sees und den südlichen Rand des Grundwasserkörpers "Parndorfer Platte", siehe Abbildung 2.

Tabelle 1: Verschiedene räumliche Definitionen des Seewinkels, einschließlich derjenigen, die im Wasserschatz Österreichs und im WaterStressAT verwendet werden.

Abgrenzung	Bezeichnung	Gebiet km ²
Verwaltung	Bezirk Neusiedl am See	1039
Wasserwirtschaft (Wasserschatz)	Grundwasserkörper	412
Landwirtschaft	Landwirtschaftliches Produktionsgebiet	269
Einzugsgebiet (WaterStressAT) – CWatM)	CWatM-Grenzen, 1 km-Raster	3074
WaterStressAT – verwaltungstechnisch	14 Gemeinden, 1 km Raster	649

Die Wasserschatz-Daten liefern einzelne langfristige Durchschnittswerte für große räumliche Einheiten in Übereinstimmung mit der WRRL, während die CWATM-Daten die zeitliche Variation der Parameter liefern, was die Informationen umfangreicher macht. Bei den CWATM-Daten handelt es

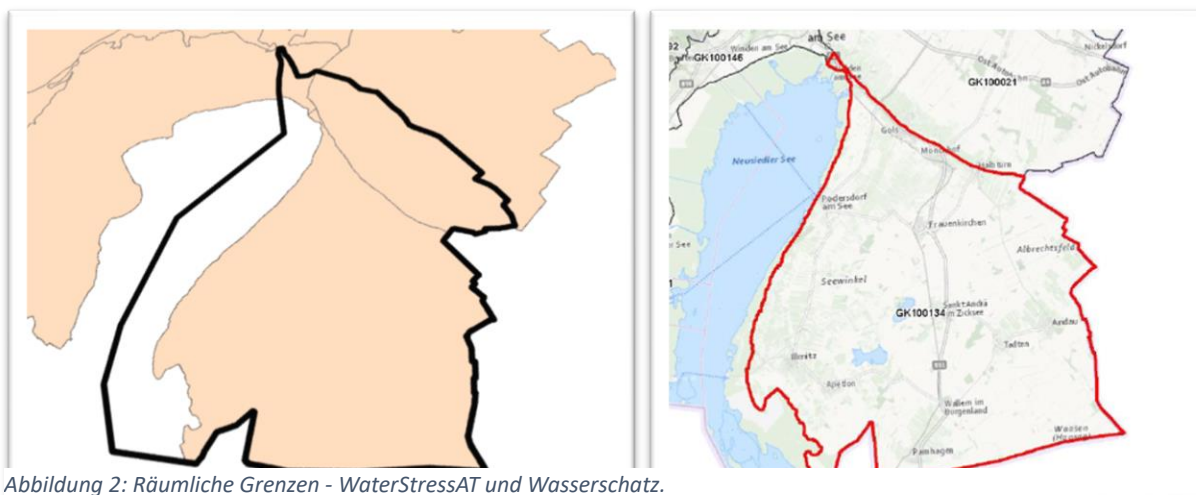


Abbildung 2: Räumliche Grenzen - WaterStressAT und Wasserschatz.

sich um ein gerastertes Datenprodukt, das über die spezifische Region von Interesse gemittelt oder summiert wird. Die Wasserschatz-Daten geben einen Durchschnittswert für den Zeitraum 1998-2017 an, während die historische Simulation des CWATM den Zeitraum 1983-2016 umfasst.

2.2 Grundwasserneubildung und Grundwasserentnahme

Sowohl CWATM-MODFLOW in WaterStressAT als auch die Wasserschatz-Berechnungen verwenden ein Kompendium von Daten, das hydrogeologische Merkmale, Klimavariablen und Landnutzungstypologien umfasst, die für die Region Seewinkel relevant sind, um die historische Höhe der Grundwasserentnahme und -neubildung zu schätzen.

In Situationen, in denen die Grundwasserneubildung nicht durch Messungen von Niedrigwasserständen an Fließgewässern berechnet werden kann - wie im Seewinkel, wo es keine Flüsse mit Durchflussmesswerten gibt, ist es unerlässlich, sich auf bestehende wissenschaftliche Studien und Expert:innenkonsultationen von staatlichen Behörden zu stützen. Aktuelle Wasserschatz-Daten lassen für den Seewinkel eine durchschnittliche Grundwasserneubildungsrate von ca. 30 Millionen Kubikmeter pro Jahr (bzw. 980 l/s oder 75 mm/a) vermuten, wovon die zugängliche Grundwasserressource auf 22,5 Millionen Kubikmeter pro Jahr (bzw. 713 l/s oder 55 mm/a) geschätzt wird.

Es konnte eine moderate Übereinstimmung zwischen den Schätzungen der Grundwasserneubildung durch das CWATM-MODFLOW-Modell und den Wasserschatz-Daten festgestellt werden. Insbesondere schätzt das CWATM-Modell die Grundwasserneubildung auf 52 mm/Jahr, während Wasserschatz die Neubildung um 18 % höher auf 64 mm/Jahr schätzt. Diese Abweichungen unterstreichen die Notwendigkeit einer strengeren Erfassung von Ground Truth Daten. Dies würde zur Verfeinerung der Wasserbewirtschaftungsprotokolle beitragen und damit sowohl die ökologische als auch die ökonomische Nachhaltigkeit in der Region fördern.

Die historische landwirtschaftliche Wasserentnahme lässt sich gut mit den Simulationsdaten von Wasserschatz und CWATM vergleichen (Abbildung 3). WaterStressAT schätzt die Grundwasserentnahme auf 17,1 Millionen m³/Jahr, ähnlich wie Wasserschatz mit 16,5 Millionen m³/Jahr. Die Wasserschatz-Berechnungen des langfristigen durchschnittlichen Wasserbedarfs sind jedoch nicht in der Lage, die dynamischen Herausforderungen zu erfassen, mit denen die landwirtschaftliche Bewässerung jährlich oder saisonal konfrontiert ist. Das hydrologische Modell CWATM, das in WaterStressAT verwendet wird, bietet eine detailliertere und verfeinerte Sicht auf den Wasserhaushalt und die Abflüsse, sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Hinsicht, und ermöglicht so einen maßgeschneiderten Ansatz für das Wassermanagement.

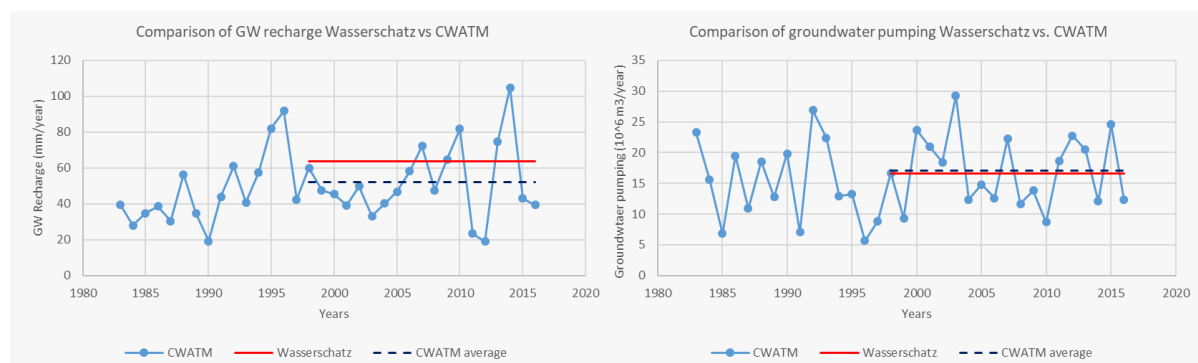


Abbildung 3: Vergleich der Grundwasserneubildung und der Grundwasserentnahme zwischen den Schätzungen von Wasserschatz und CWATM.

Die mit dem hydrologischen Modell CWATM, der Systemdynamik und den hydro-ökonomischen und Wasserschatz-Ansätzen durchgeführten Modellierungen haben jeweils ihre eigenen Grenzen und

Zwänge. Das CWATM-MODFLOW-Modell liefert zwar hochauflösende hydrologische Daten, ist aber nicht in der Lage, die komplexen Rückkopplungen zwischen Klimaveränderungen und dem Verhalten der Wassernutzer*innen zu erfassen. Die Modelle für Systemdynamik und -optimierung hingegen können diese Rückkopplung berücksichtigen, sind aber durch die Notwendigkeit, das physikalische System zu vereinfachen, eingeschränkt. Die vergleichende Analyse der Ergebnisse von CWATM und Wasserschatz zeigt, dass die zugrunde liegenden Annahmen und Berechnungen voneinander abweichen. **Daher hängt die Wirksamkeit dieser Modelle stark von der Qualität der für die Kalibrierung verwendeten Daten ab.**

Die wichtigsten Informationsquellen für die Berechnung des Wasserbedarfs für landwirtschaftliche Bewässerungszwecke sind die Betriebsstrukturerhebung, INVEKOS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) und weitere spezifische landwirtschaftliche Erhebungsdaten. Bei den Berechnungen mussten viele Annahmen getroffen werden. Der Mangel an Daten über die Wassernutzung erschwert die Bemühungen um eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers in der Region, insbesondere wenn der Grundwasserkörper im Seewinkel bereits Gefahr läuft, bis 2027 seinen "guten Zustand" zu verlieren. Es besteht daher ein dringender Bedarf an hochauflösenden, bodennahen Daten, um die Wasserbewirtschaftungsprotokolle zu verfeinern und sowohl die ökologische als auch die wirtschaftliche Nachhaltigkeit zu gewährleisten.

3 Eine To-Do-Liste für den Umgang mit Wasserstress

3.1 Verbesserung von Modellen und Entscheidungshilfen

- **Hochauflösende Daten:** Es sollten Schritte gesetzt werden, um hochauflösende Daten über den Wasserverbrauch, den Bewässerungsbedarf und die Grundwasserneubildung zu sammeln. Hochauflösende Daten ermöglichen eine genauere Analyse der Wasserverfügbarkeit, was für eine effektive Planung in Trockenzeiten besonders wichtig ist.
- **Tatsächliche Bewässerungsentnahmen:** Um die wasserwirtschaftliche Planung zu unterstützen, ist es unerlässlich, Daten über die tatsächlichen Bewässerungsentnahmen in der Region zu sammeln. Diese Daten spielen eine entscheidende Rolle bei der Validierung von Modellergebnissen und satellitengestützten Schätzungen von Bewässerungsflächen, insbesondere in Wasserstressperioden.
- **Evapotranspirationsdaten:** Bei der Datenerhebung sollten vorrangig tatsächliche Evapotranspirationsdaten und nicht nur potenzielle Evapotranspirationsdaten erhoben werden. Diese Verlagerung wird die Genauigkeit der Schätzungen der Grundwasserneubildung verbessern und das Verständnis der Dynamik von Wasserverfügbarkeit und -nachfrage vertiefen.
- **Wettervorhersage:** Die Einführung kurz- und mittelfristiger Wettervorhersagesysteme wird empfohlen, um den Bewässerungsbedarf und die Wasserverfügbarkeit besser abschätzen zu können. Zuverlässige Wettervorhersagen werden proaktive Wassermanagementstrategien bei extremen Wetterbedingungen ermöglichen.

3.2 Verbesserung der Praktiken in den Betrieben

- **Intelligente Bewässerungspraktiken:** Förderung der Einführung intelligenter Bewässerungsmethoden, wie Tröpfchenbewässerung und Bodenfeuchtesensoren, um den Wasserverbrauch in der Landwirtschaft zu optimieren. Intelligente Bewässerungstechnologien können dazu beitragen, den Wasserverbrauch zu senken und gleichzeitig die angestrebten Erntemengen zu erhalten. Dies sollte in Zusammenarbeit mit den Landwirt*innen und anderen Interessengruppen geschehen.

- **Regulierung der Bewässerung:** Einführung eines Systems zur Überprüfung des Grundwasserspiegels für jede Teilregion des Seewinkels, um zu verhindern, dass der Grundwasserspiegel unter kritische Grenzen fällt. Dieses System sollte bei niedrigen Grundwasserständen Bewässerungsbeschränkungen auslösen, um terrestrische Ökosysteme und Wasserressourcen zu schützen.
- **Mechanismus der Wasserzuteilung:** Entwicklung eines Mechanismus für die Wasserzuteilung, der eine faire und gerechte Verteilung der Wasserressourcen auf die verschiedenen Sektoren gewährleistet, insbesondere in Trockenperioden. Dieser Mechanismus sollte wesentlichen Bedürfnissen wie der öffentlichen Trinkwasserversorgung und dem Schutz von Ökosystemen Vorrang einräumen.
- **Bewusstseinsbildung, Vernetzung und Wissenstransfer unter Landwirt*innen,** um die Fülle an Informationen über innovative und nachhaltige Produktionsmethoden und Kultur-/Sortenwahl zu teilen.

3.3 Langfristige Planung und Verwaltung verbessern:

- **Regionales Agrarmanagement:** Zusammenarbeit mit Landwirt*innen und anderen Interessengruppen zur Entwicklung einer langfristigen Strategie für das regionale Agrarmanagement unter Berücksichtigung verfügbarer Ressourcen und der voraussichtlichen Veränderungen aufgrund des Klimawandels. Diese Strategie sollte wassersparende Verfahrenstechniken und eine für die vorherrschenden Bedingungen geeignete Pflanzenauswahl fördern.
- **Management von Niedrigwasser und Dürre:** Umsetzung von Strategien zum Niedrigwasser- und Dürremanagement, die Notfallpläne für Wasserknappheit umfassen. In diesen Plänen sollten Notfallmaßnahmen und alternative Wasserquellen für längere Trockenperioden beschrieben werden.

References:

- BMLRT (2021): Wasserschatz Österreichs. Grundlagen für nachhaltige Nutzungen des Grundwassers. Unter Mitarbeit von Lindinger H., Holler Ch., Neunteufel R., Grath J., Brielmann H., Schönbauer A., Gattringer I., Formanek Ch., Broer M., Rosmann T., Szerencsits M., Sinemus N., Grunert M. und Germann V. Wien.
- Burek, P., Satoh, Y., Kahil, T., Tang, T., Greve, P., Smilovic, M., ... & Wada, Y. (2019). Development of the Community Water Model (CWatM v1. 04) A high-resolution hydrological model for global and regional assessment of integrated water resources management.
- Cotera, R. V., Guillaumot, L., Sahu, R. K., Nam, C., Lierhammer, L., & Costa, M. M. (2023). An assessment of water management measures for climate change adaptation of agriculture in Seewinkel. *Science of the Total Environment*, 885, 163906.
- Guillaumot, L., Smilovic, M., Burek, P., De Bruijn, J., Greve, P., Kahil, T., & Wada, Y. (2022). Coupling a large-scale hydrological model (CWatM v1. 1) with a high-resolution groundwater flow model (MODFLOW 6) to assess the impact of irrigation at regional scale. *Geoscientific Model Development*, 15(18), 7099-7120.
- Hydrographischer Dienst Burgenland (2021): Niederwasserbetriebsordnung für das Gewässersystem Leitha - Kleine Leitha - Komitatskanal - Wiesgraben.
- Langevin, C. D., Hughes, J. D., Banta, E. R., Niswonger, R. G., Panday, S., & Provost, A. M. (2017). Documentation for the MODFLOW 6 groundwater flow model (No. 6-A55). US Geological Survey.
- Wögerer et al., 2021: [Machbarkeitsstudie zur Erstellung eines Wasserbewirtschaftungsplans für das Projektgebiet Grenzraum Österreich](#) (A) - Ungarn (H). Interner Bericht mit Seezuleitung. i.A. Amt der Bgld. LR.
- Zimmermann-Timm, H., & Teubner, K. (2021). Folgen der Grundwassersenkung am Beispiel des Neusiedlers See Seewinkel (Burgenland, Österreich). *Warnsignal Klima: Boden und Landnutzung; Lozán, JLS-W., Breckle, HG, Kasang, D., Eds*, 142-149.

Authors: Peter Burek, Helga Lindinger, Reetik Kumar Sahu, Susanne Hanger-Kopp, Julia Beier, Martina Offenzeller.