



# EXALT – Kopplung thermischer Entsalzung und Ausschleusung von entwässertem Salz mit hydroponischer Pflanzenproduktion mittels Wärmepumpen

## Middle East Regional Water Research Cooperation Program (MEWAC)

In den wasserarmen Regionen des Nahen und Mittleren Ostens wird zunehmend entsalztes Brackwasser bei der Pflanzenproduktion genutzt. Wassersparende Anbaumethoden zum Beispiel in hydroponischen Gewächshäusern, in denen Pflanzen in speziellen Nährlösungen ohne Erde wachsen, tragen weiter zu einer Entlastung der Wasserressourcen bei. Um die Wasserverluste in den Gewächshäusern zu minimieren und die Entsalzung gleichzeitig so energieeffizient wie möglich zu betreiben, entwickelt das deutsch-israelisch-jordanische Kooperationsprojekt EXALT ein neues gekoppeltes Verfahren: Über Wärmepumpen nutzt es die zur Kühlung des Gewächshauses entzogene Wärme für die Entsalzung. Das bei der Kühlung und im Entsalzungsprozess entstehende Kondenswasser kann gleichzeitig zurückgewonnen und für die Bewässerung eingesetzt werden.

### Nachhaltige Pflanzenproduktion trotz Wasserarmut

In den von teils starker Trockenheit geprägten Ländern des Nahen und Mittleren Ostens ist die Landwirtschaft der größte Wassernutzer. Um die Produktion von Nahrungsmitteln für kommende Generationen zu sichern, sind nachhaltige Anbauverfahren, die Wasser hocheffizient nutzen, von zentraler Bedeutung. So eignen sich beispielsweise hydroponische Systeme in Gewächshäusern besonders gut für wasserarme Regionen. Dort wurzeln die Pflanzen statt wie üblich in Erde in speziellen Nährlösungen und benötigen so deutlich weniger Wasser als bodengebundene Systeme. Durch Entsalzung können zunehmend auch die in der Region natürlich vorhandenen salzhaltigen Wässer für den Pflanzenanbau genutzt werden. Als regenerative Energiequelle für den Entsalzungsprozess steht die reichlich vorhandene Solarenergie zur Verfügung.

Um die wassereffiziente Pflanzenproduktion mit salzhaltigen Grund- und Oberflächenwässern optimal mit einer umweltschonenden Entsalzung zu kombinieren, haben sich Forschende aus Deutschland, Israel und Jordanien im Kooperationsprojekt EXALT zusammengeschlossen. Ziel der Beteiligten ist es, einen ganzjährigen Anbau von Pflanzen in trockenen Gebieten bei minimalem Wasser- und Energiebedarf zu ermöglichen.

### Geschlossener Kühlkreislauf

Herzstück des in EXALT entwickelten gekoppelten Verfahrens ist ein geschlossener Kühlkreislauf, der die Feuchtigkeit und Temperatur im Gewächshaus aufeinander abstimmt und so optimale Bedingungen für das Wachstum der Pflanzen schafft. Anstatt diese Parameter wie üblich über einen Luftaustausch mit der Außenumgebung zu steuern, entzieht eine Wärmepumpe aktiv Wärme aus dem Gewächshaus. Das über die Blätter der Pflanzen verdunstete Wasser kann durch die niedrigeren Temperaturen kondensieren, zurückgewonnen und wieder zur Bewässerung genutzt werden.



Die hydroponische Pflanzenproduktion mit salzhaltigen Wässern wird im Phytotechnikum der Universität Hohenheim erprobt



Der restliche Wasserbedarf für eine durchgängig hohe Pflanzenproduktion lässt sich über Entsalzung von Salz- und Brackwasser decken. Energie dafür liefert unter anderem die den Gewächshäusern entzogene Wärmeenergie, die den Solarstrombedarf reduziert. Darüber hinaus entsteht bei dem Prozess entwässertes Salz; dieses kann umweltfreundlicher entsorgt werden, als die bei gängigen Entsalzungsverfahren anfallende Salzlauge. Entkoppelt von fruchtbarem Boden und salzarmem Wasser ermöglicht das EXALT-Konzept mit minimalem Wasser- und Energiebedarf die Pflanzenproduktion auch an ansonsten nicht nutzbaren Standorten.

Im ersten Schritt werden Grundlagenstudien zur aktuellen hydroponischen Pflanzenproduktion in Gewächshäusern an Standorten mit unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit und Salzbelastung in den Zielländern Jordanien und Israel durchgeführt. Diese werden ergänzt durch Daten zum Klima und der Qualität des zur Verfügung stehenden Bewässerungswassers. Ausgehend von den lokalen Rahmenbedingungen untersuchen die Forschenden die unter pflanzenbaulichen und energetischen Gesichtspunkten optimalen Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Lichtverhältnisse in Abhängigkeit des Salzgehaltes der Nährlösung für ausgewählte Pflanzen. Basierend auf den Ergebnissen definieren sie dann die Anforderungen an die Kühlung und Entfeuchtung der Gewächshäuser und erarbeiten die vielversprechendsten Kombinationen aus Kühl- und Entsalzungssystem. Ziel ist es, gesamtheitliche Konzepte zur Entsalzung und Pflanzenproduktion für insgesamt sechs Fallstudienstandorten zu erstellen. Die Konzepte werden bewertet und verglichen und dienen als Blaupausen für eine spätere Umsetzung in die Praxis.

### Globale Lösung für trockene Gebiete

Von Trockenheit geprägte Gebiete machen ungefähr 15 Prozent der Erdoberfläche aus und beherbergen über 14 Prozent der globalen Bevölkerung. Schon kleine Änderungen in der Menge und Verteilung der jährlichen Niederschläge können katastrophale Folgen für die Nahrungssicherheit der zum größten Teil auf Regenfeldbau angewiesenen Menschen haben. Mit einer innovativen Kombination aus wassereffizientem Gewächshausanbau und umweltschonender Entsalzung bietet EXALT eine Lösung für die ganzjährige Pflanzenproduktion in allen semiariden Gebieten.

#### Fördermaßnahme

Middle East Regional Water Research Cooperation Program (MEWAC)

#### Projekttitel

Kopplung thermischer Entsalzung und Ausschleusung von entwässertem Salz mit hydroponischer Pflanzenproduktion mittels Wärmepumpen (EXALT)

#### Laufzeit

01.07.2021 – 30.06.2024

#### Förderkennzeichen

02WWME1607A-B

#### Fördervolumen des Kooperationsprojektes

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF):  
780.052 Euro  
Ministry of Innovation, Science & Technology (MOST):  
210.000 Euro

#### Kontakt

Dr. Jörn Germer  
Universität Hohenheim  
Institut für Tropische Agrarwissenschaften,  
Fachgebiet Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen  
Garbenstraße 13  
70599 Stuttgart  
Telefon: +49 (0) 9580375  
E-Mail: [j.germer@uni-hohenheim.de](mailto:j.germer@uni-hohenheim.de)

#### Projektpartner

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE),  
Freiburg  
EcoPeace Middle East (EPJ), Amman, Jordanien  
Hebrew University of Jerusalem (HUJI), Jerusalem, Israel

#### Internet

[exalt.uni-hohenheim.de](http://exalt.uni-hohenheim.de)

#### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung  
53170 Bonn

#### Stand

August 2022

#### Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

#### Druck

BMBF

#### Bildnachweis

Theresa Detering

[bmbf.de](http://bmbf.de)



# GRaCCE – Grundwasserneubildung und die Auswirkungen der Klimaänderung

## Middle East Regional Water Research Cooperation Program (MEWAC)

Grundwassersysteme im Mittelmeerraum und speziell im Nahen und Mittleren Osten tragen wesentlich zur Wasserversorgung in den dortigen Ländern bei. Der Klimawandel führt jedoch zu Änderungen bei der Grundwasserneubildung, die die in der Region herrschende Wasserknappheit verstärken. Es bedarf moderner Methoden, um Dürren frühzeitig zu erkennen und angepasste Wasserbewirtschaftungsstrategien zu entwickeln. Die Beteiligten des internationalen Kooperationsprojektes GRaCCE entwickeln ein Dürrefrühwarnsystem, das auf der zeitlich-räumlichen Ermittlung der Grundwasserneubildung aufbaut. Es berücksichtigt die spezifischen Verhältnisse in der sogenannten ungesättigten Zone zwischen der Erdoberfläche und dem Grundwasserspiegel. Diese ist entscheidend dafür, in welchem Umfang und in welcher Qualität sich Grundwasserleiter regenerieren.

### Zusätzliche Wasserressourcen erschließen

Das Untersuchungsgebiet des deutsch-israelisch-palästinensischen Kooperationsvorhabens GRaCCE umfasst die Staatsgebiete Israels, Jordaniens und die palästinensischen Gebiete der Westbank. Die gesamte Region verfügt nur über sehr knappe Wasserressourcen. Unregelmäßige Niederschläge und hohe Verluste durch Verdunstung an der Erdoberfläche führen dazu, dass Wasser aus Flüssen, Seen und Quellen oft nicht in den benötigten Mengen zur Verfügung steht und demzufolge die Grundwasserressourcen stark übernutzt werden.

Um herauszufinden wie schnell sich das Grundwasser regenerieren kann und daraus vorausschauende Wasserbewirtschaftungskonzepte abzuleiten, entwickeln die am Kooperationsprojekt GRaCCE Beteiligten ein neues integriertes Verfahren zur zeitlich-räumlichen Ermittlung der Grundwasserneubildung. Ein wesentlicher Aspekt dabei sind die komplexen Grundwasserbewegungen und Speichervorgänge in den als ungesättigte oder „vadose“ Zone bezeichneten Gesteinsschichten zwischen Erdoberfläche und Grundwasserspiegel. Diese können bedeutende Wasserspeicher sein und sollten bei der Wasserbewirtschaftung berücksichtigt werden.

### Grundwasserneubildung in komplexen Gesteinen

Festgesteine wie beispielsweise Sand- und Kalksteine sind häufig von Bruchstrukturen, sogenannten Klüften und Störungen durchzogen und besitzen eine poröse Grundstruktur, die große Wassermengen speichern kann. Grundwässer

in diesen Gesteinsformationen liegen häufig in großer Tiefe. Eine Erneuerung des Grundwassers durch hereinströmendes Niederschlagswasser von der Oberfläche kann dadurch mehrere Jahre dauern. Durch Klüfte und Störungen können Teile des Wassers jedoch erheblich schneller, teils innerhalb von wenigen Stunden, durch die Gesteinsschichten fließen. Das erschwert eine Vorhersage der zeitabhängigen Grundwasserneubildung häufig extrem. Frühere Untersuchungen zeigen auch, dass die in der Region vorherrschenden Gesteinsformationen zwischen Grundwasserspiegel und Erdoberfläche wasserwirtschaftlich als Langzeitspeicher dienen und entsprechend in Dürreperioden berücksichtigt werden können.

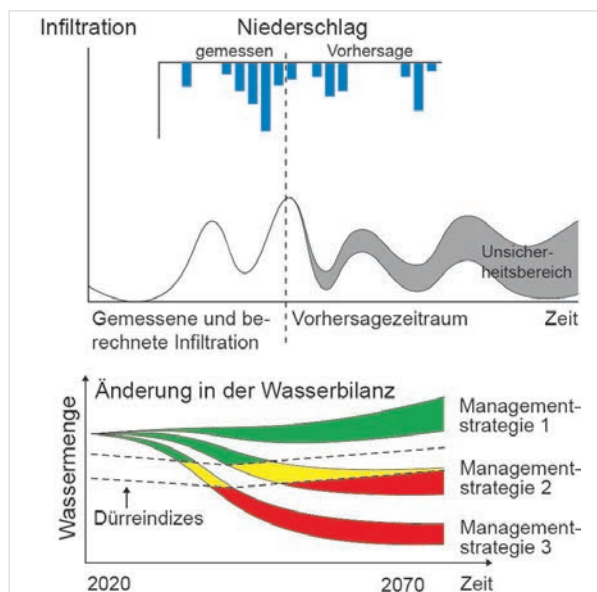


Geklüftete Gesteinsformationen können als wasserwirtschaftliche Speicher dienen

Zur Beschreibung der als Infiltration bezeichneten Versickerung von Niederschlagswasser und der Grundwasserneubildung kombinieren die Forschenden im Projekt GRaCCE verschiedene hydro-geologische, geophysikalische und hydrogeochemische Methoden sowie neue Modellierungsansätze. Damit ermitteln sie die verfügbaren Wasserressourcen mit einem Bewirtschaftungszeitintervall von circa einem Monat. Informationen aus tagesbasierten Klimamodellie-



rungen, die die generelle Entwicklung der Niederschläge und Verdunstungen nachbilden, werden dabei auch in den langfristigen Prognosemodellierungen des Zeitraumes 2020 bis 2070 berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen als quantitative Grundlage für die Vorhersage von Wasserdefiziten innerhalb des Grundwasserleiters auf der Basis von Dürreindikatoren: das heißt Faktoren, die aus dem komplexen Prozessspektrum abgeleitet werden und eine drohende Dürre anzeigen können. Das im Projekt entwickelte Vorhersageverfahren für die Grundwasserneubildung wird an verschiedenen Standorten in Israel und den Palästinensischen Autonomiegebieten getestet. Weitere Praxisstandorte in Deutschland und der Schweiz dienen dazu, die Prozesse und Modelle in einer kontrollierten Umgebung zu überprüfen.



Dürreerfrühwarnsystem basierend auf Grundwasserinfiltration und Entwicklung von angepassten Bewirtschaftungsstrategien

### Webbasierter Werkzeugkasten

Zum Abschluss von GRaCCE soll eine Art webbasierter Werkzeugkasten zur Verfügung stehen, der ein Dürreerfrühwarnsystem und angepasste Pump- und Speicherstrategien enthält. Dies soll Wassernutzern und lokalen Behörden ermöglichen, ihre Regionen besser vor extremen Klimaereignissen zu wappnen und so den Wasserstress zu minimieren. Über den Nahen Osten und die dortigen Grundwasserleiter hinaus sollen sich die Projektergebnisse auch auf andere hydrogeologische und hydrologische Verhältnisse weiterer Länder übertragen lassen.

#### Fördermaßnahme

Middle East Regional Water Research Cooperation Program (MEWAC)

#### Projekttitel

Grundwasserneubildung und die Auswirkungen der Klimaänderung (GRaCCE)

#### Laufzeit

01.07.2020 – 30.06.2024

#### Förderkennzeichen

02WME1609A

#### Fördervolumen des Kooperationsprojektes

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF):  
934.883 Euro  
Ministry of Innovation, Science & Technology (MOST):  
200.000 Euro

#### Kontakt

Prof. Dr. M. Sauter  
Georg-August-Universität Göttingen  
Goldschmidtstraße 3  
37077 Göttingen  
Telefon: +49 (0) 551 39 7910  
E-Mail: martin.sauter@geo.uni-goettingen.de

#### Projektpartner

Technische Universität Berlin, Berlin  
VisDAT GmbH, Dresden  
Ben Gurion Universität, Beer Sheva, Israel  
Hydro-Engineering Consultancy, Ramallah,  
Palästinensische Autonomiegebiete

#### Internet

mewac-gracce.de

#### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung  
53170 Bonn

#### Stand

August 2022

#### Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA), Karlsruhe

#### Druck

BMBF

#### Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: Dr. J. Kordilla

bmbf.de





# TransFresh – Echtzeitmodellierung und Management grenzüberschreitender Wasserressourcen – der Yarmouk

## Middle East Regional Water Research Cooperation Program (MEWAC)

Der Yarmouk als größter Nebenfluss des Jordan und die in seinem Einzugsgebiet befindlichen Grundwasserorkommen liefern als grenzüberschreitende Süßwasserressourcen Trink- und Bewässerungswasser für Syrien, Jordanien, Israel und indirekt auch die Palästinensischen Gebiete. Für das Wassermanagement in dieser Region sind sie somit immens wichtig. Der Klimawandel und steigende Wasserentnahmen beeinflussen die Ressourcen allerdings auf bislang noch weitgehend unbekannt Art und Weise. Die Beteiligten des Kooperationsprojektes TransFresh verfolgen das Ziel, die komplexen Zusammenhänge des Wasserressourcensystems um den Yarmouk mithilfe eines grenzüberschreitenden Monitoringkonzepts zu entschlüsseln. Anhand der gewonnenen Daten wollen sie die ober- und unterirdischen Ressourcen modellieren und so Empfehlungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung ableiten.

### Daten sammeln, um das komplexe System zu verstehen

Der Yarmouk ist der Hauptzustrom in den Jordan und zugleich eine wichtige strategische Trinkwasserressource für Syrien, Jordanien und Israel. Das vergleichsweise niederschlagsreiche Einzugsgebiet des Flusses erfüllt wichtige Funktionen für die Ökologie im Unteren Jordantal und damit auch für das Tote Meer. Es stellt die Bewässerung in der Region sicher und versorgt unter anderem seit 2020 über die Al Arab II Wasserversorgungsanlage circa zehn Prozent der jordanischen Bevölkerung mit Wasser. Der Gewässerabfluss ist jedoch durch oberstromige Sperrbauwerke stark reguliert. Nur frei ausströmendes Grundwasser aus dem jordanischen Ajloun-Gebiet erhält den Fluss am Leben.



Artesischer Brunnen im Mukheibeh Weil Field (Jordanien). Bei einem artesischen Brunnen tritt Wasser unterhalb des Grundwasserspiegels von selbst aus.

Zugleich wird dieses Grundwasser dringend benötigt, um die Versorgung im Norden Jordaniens sicherzustellen, die durch Flüchtlingsströme zusätzlich unter Druck steht. Infolgedessen sinkt der Grundwasserspiegel teilweise um bis zu 120 Meter; es droht eine Versalzung der Ressourcen.

Die Suche nach Lösungen für eine optimale Bewirtschaftung der knappen Wasservorräte ist aufgrund der politischen Verhältnisse in der Region kompliziert. Sowohl die Grund- als auch die Oberflächewasserressourcen erstrecken sich über Syrien, Jordanien und Israel. Das erschwert systematische Untersuchungen des komplexen Zusammenspiels der einzelnen Systeme.

Hier setzt das Verbundprojekt TransFresh mit einem maßgeschneiderten Monitoringsystem an: Ein umfangreiches Netzwerk an Messstationen am Yarmouk und seinen verbundenen Grundwasserkörpern soll den Forschenden eine Vielzahl von Daten liefern: zu Abflussmengen und Grundwasserbewegungen, den natürlichen Wechselwirkungen zwischen Flüssen und Grundwasserkörpern sowie durch Menschen verursachten Einflüssen. Das Konzept kombiniert erstmals Werkzeuge zur Datierung – das heißt Altersbestimmung des Grundwassers – und Fließweganalyse mit einer grenzüberschreitenden online Überwachung. Die daraus generierten Daten sollen eine Modellierung des gegenwärtigen Zustands der Ressourcen ermöglichen, woraus Empfehlungen für künftige Bewirtschaftungsoptionen abgeleitet werden.



## Modellierung und Zukunftsprognosen

Um ihre Ziele zu erreichen, kombinieren die Forschenden verschiedene Messmethoden. Dazu gehört die Beurteilung der Verweilzeiten in den einzelnen Grundwasserkörpern der Yarmouk-Schlucht. Daraus lassen sich Rückschlüsse zu Neubildungszeitpunkten, Transferzeiten in den Grundwasserleitern und Mischung verschiedener Grundwasserbestandteile ziehen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Verweilzeiten arbeiten die Forschenden mit einem sogenannten Multi-tracer-Ansatz. Dabei setzen sie verschiedene Markierungssubstanzen ein, um die hydro-geochemischen Vorgänge im Grundwasser zu verfolgen. Die Untersuchung des Yarmouk auf bestimmte Isotope – also Atome eines Elements, die zwar chemisch gleich sind, aber eine unterschiedliche Masse haben – liefert Erkenntnisse darüber, wie der Fluss durch einströmende Grundwässer beeinflusst wird.

All diese Daten fließen in ein Strömungsmodell ein, das die ober- und unterirdischen Wasserbewegungen räumlich und zeitlich hochauflösend simuliert sowie künftige Entwicklungen aufzeigt. Auf dieser Grundlage wollen die Trans-Fresh-Beteiligten die Bewirtschaftung von Dämmen und Grundwasservorkommen optimieren. Potenziell könnte so die Verfügbarkeit von Süßwasser in der Region für viele Jahre sichergestellt werden.

## Wasserversorgung und Beziehungen verbessern

TransFresh soll einen wichtigen Beitrag leisten, um die Wasserversorgung aus dem Yarmouk-Becken langfristig zu stabilisieren und damit die Beziehungen zwischen den Anrainern zu verbessern. Stakeholder und Entscheidungsträger werden von Beginn an in den Entwicklungsprozess des Projektes einbezogen; das sorgt für praxistaugliche Ergebnisse, die auch tatsächlich umgesetzt werden. Das Projekt ist darüber hinaus so konzipiert, dass die Methoden auch auf andere Regionen mit grenzüberschreitenden Wasserressourcen übertragen werden können.



Blick in die untere Yarmouk-Schlucht

### Fördermaßnahme

Middle East Regional Water Research Cooperation Program (MEWAC)

### Projekttitel

Echtzeitmodellierung und Management grenzüberschreitender Wasserressourcen – der Yarmouk (TransFresh)

### Laufzeit

01.07.2021 – 30.06.2024

### Förderkennzeichen

02WME1608

### Fördervolumen des Kooperationsprojektes

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF):  
164.324 Euro  
Ministry of Innovation, Science & Technology (MOST):  
125.925 Euro

### Kontakt

Dr. Christian Siebert  
H3 GmbH  
Carl-Blomeyer-Straße 65  
07749 Jena  
Telefon: +49 (0) 173 3675050  
E-Mail: info@h3-i.de

### Projektpartner

Geological Survey of Israel (GSI), Jerusalem, Israel  
National Agricultural Research Center Jordan (NARC),  
Amman, Jordanien

### Internet

[h3-i.de/transfresh](http://h3-i.de/transfresh)

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung  
53170 Bonn

### Stand

August 2022

### Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA), Karlsruhe

### Druck

BMBF

### Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: Dr. Christian Siebert

[bmbf.de](http://bmbf.de)