



Co-funded by  
the European Union



2021-1-TR01-KA220-VET  
000029507

**"Eine innovative Berufsbildungsperspektive für die Landwirtschaft zur  
Anpassung an den Klimawandel"**

**Smart AgroVETs Projekt**

**Ausbildungskurs über landwirtschaftliche Wasserwirtschaft**

*Finanziert von der Europäischen Union. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die des Autors/der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider.*

*Weder die Europäische Union noch die EACEA können für sie verantwortlich gemacht werden.*



Co-funded by  
the European Union



## KAPITEL 6

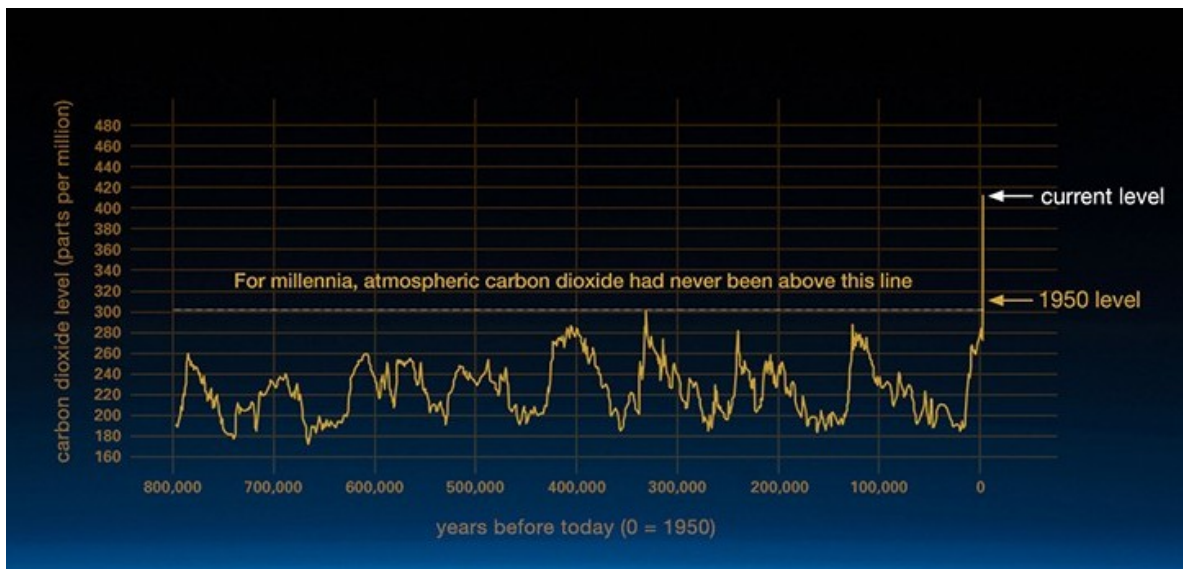
### NACHHALTIGE AGRARPRODUKTION IM KLIMAWANDEL: KLIMAINTELLIGENTE LANDWIRTSCHAFT (CSA)

#### 6.1 WETTER, KLIMA UND KLIMAWANDEL

Der Begriff Wetter bezieht sich auf atmosphärische Bedingungen, die lokal über kurze Zeiträume - von Minuten bis zu Stunden oder Tagen - auftreten. Bekannte Beispiele sind Regen, Schnee, Wolken, Winde, Überschwemmungen oder Gewitterstürme. Das Klima hingegen bezieht sich auf den langfristigen regionalen oder sogar globalen Durchschnitt von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmustern über Jahreszeiten, Jahre oder Jahrzehnte.

Der Klimawandel ist eine langfristige Veränderung der durchschnittlichen Wettermuster, die das lokale, regionale und globale Klima der Erde bestimmen. Diese Veränderungen haben ein breites Spektrum an beobachteten Auswirkungen, die mit dem Begriff gleichbedeutend sind.

Treibhausgase (THG) steuern das Klimasystem der Erde, indem sie die Atmosphäre wärmer machen. Ohne Treibhausgase würde sich die Erde in einer ewigen Eiszeit befinden, die etwa 30 °C niedriger wäre als die derzeitige Durchschnittstemperatur der Welt. Diese Treibhausgase bilden eine Decke über der Erde, sie halten die von der Erdoberfläche kommende Wärme zurück. Diese Wärme kommt ursprünglich von der Sonne in Form von sichtbarem Licht und wird von der Erdoberfläche in Form von Infrarotstrahlung zurückgestrahlt. Andernfalls würde diese Wärme durch die Atmosphäre in den Weltraum entweichen. Treibhausgase sind - in der Reihenfolge von der größten bis zur geringsten Auswirkung - Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) und Wasserdampf.





Co-funded by  
the European Union



**Abbildung 6.1.** Der unaufhaltsame Anstieg des Kohlendioxids während der letzten Jahrzehnte (Quelle: <https://climate.nasa.gov>)

Die seit Anfang des 20. Jahrhunderts beobachteten Veränderungen des Erdklimas sind in erster Linie auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen, insbesondere auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe, die den Gehalt an wärmespeichernden Treibhausgasen in der Erdatmosphäre erhöht, wodurch die durchschnittliche Oberflächentemperatur der Erde steigt. Dieser vom Menschen verursachte Temperaturanstieg wird gemeinhin als globale Erwärmung bezeichnet. Auch natürliche Prozesse können zum Klimawandel beitragen, darunter interne Schwankungen (z. B. zyklische Ozeanmuster wie El Niño, La Niña und die Pazifische Dekadische Oszillation) und externe Einflüsse (z. B. vulkanische Aktivitäten, Veränderungen der Sonnenenergie, Schwankungen in der Erdumlaufbahn) (Quelle: <https://climate.nasa.gov>).

Seit der vorindustriellen Zeit haben menschliche Aktivitäten die globale Durchschnittstemperatur der Erde schätzungsweise um etwa 1 Grad Celsius erhöht, eine Zahl, die derzeit um 0,2 Grad Celsius pro Jahrzehnt steigt. Es ist eindeutig, dass der menschliche Einfluss die Atmosphäre, die Ozeane und das Land erwärmt hat (Quelle: <https://climate.nasa.gov>).

Wissenschaftler nutzen Beobachtungen vom Boden, aus der Luft und aus dem Weltraum sowie theoretische Modelle, um vergangene, gegenwärtige und zukünftige Klimaveränderungen zu überwachen und zu untersuchen. Klimadatensätze liefern Beweise für Schlüsselindikatoren des Klimawandels, wie z. B. den weltweiten Anstieg der Land- und Meerestemperaturen, den Anstieg des Meeresspiegels, den Eisverlust an den Polen und in den Gebirgsgletschern, die Häufigkeit und Schwere von extremen Wetterereignissen wie Wirbelstürmen, Hitzewellen, Waldbränden, Dürren, Überschwemmungen und Niederschlägen sowie die Veränderung der Wolken- und Vegetationsbedeckung, um nur einige zu nennen.





Co-funded by  
the European Union



**Abbildung 6.2:** Die Veränderung der globalen Oberflächentemperatur im Vergleich zu den Durchschnittstemperaturen von 1951-1980, wobei das Jahr 2020 zusammen mit 2016 das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen ist (Quelle: Goddard Institute for Space Studies der NASA, <https://climate.nasa.gov>)

## 6.2. AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE LANDWIRTSCHAFTLICHE PRODUKTION

**Verringerung der Eignung für die landwirtschaftliche Produktion:** In der Türkei, mit Ausnahme der Schwarzmeerküstenlinie, wird der Rückgang der Frühjahrs- und Sommerniederschläge in Verbindung mit dem Anstieg der Temperatur und der Evapotranspiration zu einem Rückgang der Erträge/Anbauflächen von Sommerkulturen wie Sonnenblumen, Mais, Reis, Bohnen, Kichererbsen, Linsen, Zuckerrüben, Baumwolle, Gemüse und Obst sowie Luzerne und Weiden führen. In der Türkei wird prognostiziert, dass der Klimawandel bis zum Jahr 2050 zu Ertragseinbußen bei einigen für die Türkei strategisch wichtigen Kulturen führen wird, und zwar um 8,18 % bei Weizen, 2,24 % bei Gerste, 9,11 % bei Mais, 4,53 % bei Baumwolle und 12,89 % bei Sonnenblumen. Die Verknappung von Futterpflanzen, Ölsaaten und Leguminosen wird mit dem Klimawandel zunehmen und mittel- und langfristig problematischer werden (Kadioglu et al. 2017; Dellal et al. 2011).

**Die Wasserressourcen werden abnehmen, der Bedarf an Bewässerungswasser und der Wasserstress werden zunehmen:** Infolge des Klimawandels könnte sich die Menge des benötigten Bewässerungswassers im Vergleich zu heute verdoppeln. Selbst bei Bewässerung ist mit einem Ertragsrückgang bei Sommerpflanzen zu rechnen, da die Pflanzen während der Blüte- und Kornfüllungszeit höheren und extremen Temperaturen ausgesetzt sein werden. Neben dem Temperaturanstieg und dem Niederschlagsrückgang werden sich die Verlängerung der Vegetationsperiode, die Verringerung der Anzahl der Frosttage, das Wasserdefizit im Boden während der Vegetationsperiode sowie die Zunahme der Häufigkeit und Schwere von Überschwemmungen, insbesondere an der Schwarzmeerküste, negativ auf die Pflanzenproduktion und die biologische Vielfalt auswirken (Kadioglu et al. 2017; Konukcu 2019).

**Schäden durch saisonale Schwankungen:** Wenn die Temperaturen zu Beginn des Winters oder im zeitigen Frühjahr höher sind als erwartet, führt dies zu einer frühen Blüte der Pflanzen, insbesondere der Früchte, und zu Ertrags- und Qualitätseinbußen durch das anschließende Frostereignis. Wenn die kalten Winter sie nicht mehr kontrollieren können, können einige Krankheiten und Schädlinge überleben oder sich sogar von Jahr zu Jahr mehr vermehren und Epidemien verursachen. Wenn sich die Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen ändern, können neue Krankheiten und Schädlinge Schäden in Bereichen verursachen, die bisher nicht bekannt waren. Selbst bei den heutigen, eher strengen Witterungsbedingungen (Sturm, Hitzewelle, starke Regenfälle, Frost) ist zu beobachten, dass Ertrag und Qualität der landwirtschaftlichen Produktion sinken, die Preise übermäßig steigen und die Ausfuhren zurückgehen. Mit dem sich ändernden Klima nehmen auch die Unkrautpopulationen zu, die konkurrenzfähiger sind als



Co-funded by  
the European Union



Da die Zahl der angebauten Pflanzen zunehmen wird, müssen der morphologischen Veränderungen der Pflanzen mehr chemische Pestizide eingesetzt werden, was sich negativ auf die Produktqualität auswirkt. Dies wird sich negativ auf die Gesundheit von Mensch und Umwelt auswirken (Amare 2016).

**Erhöhtes Risiko infolge extremer klimatischer Ereignisse:** Lang anhaltende Dürreperioden verlängern die Feuersaison und erhöhen die Brandgefahr. Unerwartete heftige Regenfälle und erhöhte Luftfeuchtigkeit führen zu einer Verschlechterung der Produktqualität, manchmal sogar zu einem vollständigen Verlust, zum Stehenbleiben des Getreides und zur Bodenerosion. Während extreme Temperaturen einen Rückgang der Produktqualität und des Ertrags verursachen, kann Hagel zu großen wirtschaftlichen Verlusten führen.

### 6.3. KLIMAWANDEL, ERNÄHRUNGSSICHERHEIT UND HERAUSFORDERUNGEN

Um eine wachsende Bevölkerung zu ernähren, muss die jährliche weltweite Nahrungsmittelproduktion in den nächsten drei Jahrzehnten um 60 Prozent steigen (Bruinsma 2009). Die Auswirkungen des Klimawandels, zu denen steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster, schwerere und häufigere extreme Wetterereignisse und der Verlust von Ökosystemleistungen und biologischer Vielfalt gehören, werden jedoch die landwirtschaftlichen Produktionssysteme und Ernährungssysteme untergraben, insbesondere in landwirtschaftlichen Gemeinschaften in Entwicklungsländern, in denen Armut, Hunger und Unterernährung am weitesten verbreitet sind (FAO 2013). Der Agrarsektor, zu dem die Pflanzen- und Tierproduktion, die Forstwirtschaft, die Fischerei und die Aquakultur gehören, trägt auch wesentlich zu den globalen Treibhausgasemissionen bei. Nach Schätzungen der FAO entfielen im Jahr 2010 22 Prozent der weltweiten Gesamtemissionen direkt auf den Sektor Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (AFOLU) (FAO 2013). Daher müssen die Landwirtschaft und die Ernährungssysteme die Ernährungssicherheit verbessern und gewährleisten. Dazu müssen sie sich an den Klimawandel und den Druck auf die natürlichen Ressourcen anpassen und zur Eindämmung des Klimawandels beitragen. Da diese Herausforderungen miteinander verknüpft sind, müssen sie gleichzeitig angegangen werden

Daher müssen die Landwirtschaftssektoren drei miteinander verknüpfte Herausforderungen bewältigen (FAO 2010):

- die landwirtschaftliche Produktivität nachhaltig zu steigern, um die weltweite Nachfrage zu decken;
- sich an die Auswirkungen des anzupassen; und
- dazu beitragen, die Ansammlung von Treibhausgasen in der zu verringern.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, hat die FAO das Konzept der klimagerechten Landwirtschaft (CSA) entwickelt und gefördert.

### 6.4. DEFINITION DER KLIMAINTELLIGENTEN LANDWIRTSCHAFT (CSA)



Co-funded by  
the European Union



**Eine klimaverträgliche Landwirtschaft (CSA)**, wie sie von der FAO auf der Haager Konferenz über Landwirtschaft, Ernährungssicherheit und Klimawandel 2010 definiert und vorgestellt wurde, trägt zur Erreichung der Ziele für eine nachhaltige Entwicklung bei. Sie integriert die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung (Wirtschaft, Soziales und Umwelt), indem sie die Herausforderungen der Ernährungssicherheit und des Klimas gemeinsam angeht. Die CSA basiert auf 3 Zielen oder Säulen (FAO 2010):

- **Produktivität/Nachhaltigkeit/Ernährungssicherheit:** CSA zielt darauf ab, die landwirtschaftliche Produktivität und die Einkommen aus Ackerbau, Viehzucht und Fischerei nachhaltig zu steigern, ohne die Umwelt zu beeinträchtigen. Dies wiederum wird die Lebensmittel- und Ernährungssicherheit erhöhen. Ein Schlüsselkonzept im Zusammenhang mit der Produktivitätssteigerung ist die nachhaltige Intensivierung.
- **Anpassung:** CSA zielt darauf ab, die Landwirte weniger kurzfristigen Risiken auszusetzen und gleichzeitig ihre Widerstandsfähigkeit zu stärken, indem ihre Fähigkeit zur Anpassung und zum Gedeihen angesichts von Schocks und längerfristigen Belastungen aufgebaut wird. Besonderes Augenmerk wird auf den Schutz der Ökosystemleistungen gelegt, die die Ökosysteme den Landwirten und anderen zur Verfügung stellen. Diese Leistungen sind für die Aufrechterhaltung der Produktivität und unsere Fähigkeit zur Anpassung an den Klimawandel von wesentlicher Bedeutung.
- **Milderung:** Wo und wann immer möglich, sollte CSA dazu beitragen, Treibhausgasemissionen (THG) zu reduzieren und/oder zu vermeiden. Dies bedeutet, dass wir die Emissionen für jede Kalorie oder jedes Kilo Lebensmittel, Fasern und Kraftstoff, das wir produzieren, reduzieren. Dass wir die Abholzung von Wäldern durch die Landwirtschaft vermeiden. Und dass wir Böden und Bäume so bewirtschaften, dass ihr Potenzial, als Kohlenstoffsinken zu fungieren und CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre aufzunehmen, maximiert wird.

Klimaintelligente Landwirtschaft ist ein Ansatz zur Umgestaltung und Neuausrichtung von landwirtschaftlichen Produktionssystemen und Lebensmittelwertschöpfungsketten, so dass sie eine nachhaltige Entwicklung unterstützen und die Ernährungssicherheit im Klimawandel gewährleisten können. Dies bedeutet nicht, dass jede Praxis, die an jedem Ort angewandt wird, zu "dreifachen Erfolgen" führen sollte, die positive Ergebnisse für jedes dieser drei Ziele liefern. Vielmehr zielt der Ansatz der klimaintelligenten Landwirtschaft darauf ab, Zielkonflikte zu verringern und Synergien zu fördern, indem diese Ziele berücksichtigt werden, wenn landwirtschaftliche Erzeuger, politische Entscheidungsträger und Forscher auf lokaler, subnationaler, nationaler und globaler Ebene Entscheidungen über kurz- und langfristige Strategien zur Bekämpfung des Klimawandels treffen.

CSA baut auf Konzepten der nachhaltigen Landwirtschaft auf und nutzt die Grundsätze der Ökosystem- und der nachhaltigen Land- und Wasserbewirtschaftung sowie der Landschaftsanalyse und der Bewertung des Ressourcen- und in landwirtschaftlichen Produktionssystemen und Ernährungssystemen. Dies ist besonders wichtig in Entwicklungsländern, in denen das Wachstum der Landwirtschaft im Allgemeinen oberste Priorität hat.



Co-funded by  
the European Union



## 6.5. NACHHALTIGE PRODUKTION IM RAHMEN DER CSA

Für jedes Anbausystem gibt es zahllose Optionen zur Anpassung an den Klimawandel und zur Abmilderung seiner Folgen, mit denen die Erträge nachhaltig verbessert und die schädlichen Umweltauswirkungen der Produktion minimiert werden können. Je nach Bewältigungs- und Anpassungsmechanismen sind sie für jeden landwirtschaftlichen Haushalt unterschiedlich. Managementpraktiken und -technologien zur Anpassung an den Klimawandel und zur Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels umfassen Praktiken, die explizit auf die Anpassung ausgerichtet sind, sowie Praktiken mit einem breiteren Ansatz zur Verringerung von Produktionsrisiken und zur Reduzierung von Emissionen. Zu den spezifischen klimafreundlichen Ansätzen für die pflanzliche Erzeugung gehören:

- **Erhöhung der Vielfalt** und Komplexität innerhalb des landwirtschaftlichen Ökosystems, was auf vielfältige Weise (z. B. Erweiterung der Vielfalt von Kulturpflanzen oder -sorten), auf vielen räumlichen Ebenen (z. B. auf Landschaftsebene, innerhalb von Betrieben und/oder innerhalb derselben Kulturpflanze) und über verschiedene Zeiträume hinweg geschehen kann;
- **Verbesserung der nachhaltigen Boden- und Landbewirtschaftung** (z. B. sorgfältige Lenkung der Ausweitung von Acker- und Weideflächen, um den Verlust an Kohlenstoffspeicherung infolge von Landnutzungsänderungen zu verringern);
- **Steigerung der Energieeffizienz**; Förderung einer nachhaltigen Mechanisierung (z. B. Erhöhung der Verfügbarkeit geeigneter Maschinen in Kombination mit einer angemessenen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zur Verringerung der Treibhausgasemissionen aus verschiedenen landwirtschaftlichen und verarbeitenden Betrieben); und
- **die Entwicklung einfacher und solider wissenschaftlicher Instrumente**, die den Landwirten bei ihren saisonalen und langfristigen Entscheidungen helfen.

## 6.6. ANPASSUNGSSTRATEGIEN AN DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

Anpassung an den Klimawandel bedeutet, die richtigen Maßnahmen zu ergreifen, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu verringern (oder die positiven Auswirkungen zu nutzen), indem geeignete Anpassungen und Veränderungen vorgenommen werden. Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC, 2007) definiert Anpassung als Anpassungen natürlicher oder menschlicher Systeme als Reaktion auf tatsächliche oder erwartete Klimareize oder -effekte, die den Schaden verringern oder vorteilhafte Möglichkeiten ausschöpfen. Sie bezieht sich auch auf die Maßnahmen, die von Menschen, Ländern und Gesellschaften ergriffen werden, um sich an den Klimawandel anzupassen. Mit der Anpassung werden drei mögliche Ziele verfolgt: die Verringerung des Schadensrisikos, die Entwicklung der Fähigkeit, mit dem unvermeidlichen Schaden fertig zu werden, und die Nutzung neuer Chancen (Akinagbe und Irohibe 2014).



Co-funded by  
the European Union



Die Maßnahmen, die zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels ergriffen werden können, lassen sich wie folgt auflisten.

- Auswahl oder Züchtung von Sorten/Arten
- Diversifizierung der Anbauprodukte
- Änderung des Anbaumusters
- Änderung des Zeitplans für die Anpflanzung
- Gemischter Anbau
- Verbesserung der Wasser- und Bewässerungswirtschaft
- Anpassung von Maßnahmen zur Erhaltung von Boden, Bodenwasser und Energie

**Auswahl oder Züchtung von Sorten/Arten:** Der einfachste Weg ist die Auswahl von Pflanzensorten jeglicher Art, die gegen ungünstige klimatische Bedingungen (Hitzewellen, Trockenheit), Krankheiten und Schädlinge resistent sind. Schimmelbildung als Folge übermäßiger Niederschläge, Rost unter feuchten Bedingungen und Hitzestress bei Hitzewellen sind häufige Probleme, die den Ertrag und die Qualität von Weizen infolge des Klimawandels verringern. Unter den vorhandenen Getreidesorten können Sorten mit kürzeren Stängeln (gegen Lagerbildung) und mit Resistenz gegen Hitzewellen und Krankheiten ausgewählt werden. Die ausgewählten resistenten neuen Sorten garantieren jedoch nicht immer die gleichen hohen Erträge wie die bisherigen Sorten. Bei der Sonnenblume, einer weiteren strategischen Kulturpflanze, kann die Auswahl von dürreresistenten, hitzeresistenten oder frühen Sorten in Betracht gezogen werden.

Eine weitere Alternative besteht darin, Pflanzenarten zu bevorzugen, die gegen Trockenheit resistent sind. So benötigt Weizen beispielsweise deutlich weniger (Bewässerungs-)Wasser als Reis oder Mais in der Trockenzeit. Angesichts des Niederschlagsmangels im Sommer und zunehmender Hitzewellen könnten Winterpflanzen gegenüber Sommerpflanzen bevorzugt werden: Weizen gegenüber Mais, Raps gegenüber Sonnenblumen usw.

Zusätzlich zu den extremen klimatischen Bedingungen (hohe Temperaturen, Trockenheit, Frost usw.) sollten krankheits- und schädlingsresistente Sorten unter Verwendung lokaler genetischer Ressourcen und der Entwicklung von Technologien in diesem Bereich verbessert werden. Besondere Aufgaben und die erforderliche Unterstützung sollten den landwirtschaftlichen Forschungsinstituten und Universitäten gewährt werden. Die Zusammenarbeit zwischen dem öffentlichen und dem privaten Sektor sollte sichergestellt werden.

**Diversifizierung der Kulturpflanzen:** Die Diversifizierung von Kulturen könnte eine wirksame Anpassungsoption bei extremen Temperaturen, häufigen und intensiven Überschwemmungen, Wirbelstürmen und anderen Naturkatastrophen sein, die durch den Klimawandel akut geworden sind und in Zukunft voraussichtlich schwerwiegend sein werden, da sie die natürliche Artenvielfalt schützt, die Fähigkeit des Agrarökosystems stärkt, auf diese Belastungen zu reagieren, die Umweltverschmutzung minimiert, das Risiko eines totalen Ernteausfalls verringert, das Auftreten von Insektenschädlingen, Krankheiten und Unkrautproblemen reduziert und die Möglichkeiten der Nahrungsmittelversorgung sichert.



Co-funded by  
the European Union



den Erzeugern alternative Einkommensmöglichkeiten zu bieten. Sie bietet bessere Bedingungen für die Ernährungssicherheit und ermöglicht es den Landwirten, Überschüsse für den Verkauf auf dem Markt anzubauen und so ein höheres Einkommen zu erzielen, um andere Bedürfnisse im Zusammenhang mit dem Wohlergehen des Haushalts zu decken. Die Landwirte müssen in den betroffenen Gebieten Kenntnisse und Fähigkeiten in Bezug auf Anbautechniken, integrierte Anbausysteme (einschließlich Fruchtfolge und Zwischenfruchtanbau) und klimaresistente Produktionstechniken erwerben. Sie kann in verschiedenen Formen und auf verschiedenen Ebenen umgesetzt werden, so dass die Landwirte eine Strategie wählen können, die sowohl die Widerstandsfähigkeit erhöht als auch wirtschaftliche Vorteile bringt.

Die Diversifizierung von Nutzpflanzen kann die Widerstandsfähigkeit auf verschiedene Weise verbessern: durch eine bessere Fähigkeit, Schädlingsausbrüche zu unterdrücken und die Übertragung von Krankheitserregern einzudämmen, die sich unter künftigen Klimaszenarien verschlimmern könnten, sowie durch die Pufferung der Pflanzenproduktion vor den Auswirkungen größerer Klimaschwankungen und Extremereignisse. Diese Vorteile weisen auf den offensichtlichen Wert einer Diversifizierung der Anbauprodukte zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit hin, doch die Umsetzung erfolgt nur langsam (Lakhran et al. 2017).

Eine Diversifizierung hin zu hochwertigen Kulturen ist mittel- bis langfristig machbar. Die Diversifizierung der Kulturen ist sowohl in bewässerten als auch in unbewässerten Gebieten eine Anpassungsmaßnahme von hoher Priorität. In Anbetracht des prognostizierten Klimawandels sollten dürre- und hitzeresistente alternative Leguminosen, Futterpflanzen und Ölpflanzen in die Fruchtfolge aufgenommen werden.

**Veränderung der Anbaumuster:** Die Anbausysteme werden zunehmend vereinfacht, und es werden von Jahr zu Jahr immer weniger Pflanzenarten in der Fruchtfolge angebaut. Vielfältige Fruchtfolgen liefern jedoch höhere Ernteerträge als kontinuierliche Monokulturen, insbesondere in Jahren mit geringen Niederschlägen und hohen Temperaturen. Dies fanden schwedische, polnische und italienische Forscher heraus, indem sie Daten zu Getreideerträgen analysierten, die über Jahrzehnte hinweg in langfristigen landwirtschaftlichen Feldversuchen von Süd- bis Nordeuropa gesammelt wurden. Die Diversifizierung der Fruchtfolgen erweist sich als eine Anpassung an das bevorstehende wärmere und trockenere Klima. Die Fruchtfolge oder Diversifizierung wurde allgemeine Strategie zur Erhaltung der Erträge und zur Verringerung des Risikos von Ertragseinbußen aufgrund ungünstiger klimatischer Bedingungen vorgeschlagen, und zwar durch die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, die Förderung nützlicher Bodenbiota und die Unterdrückung der Ansammlung von Unkraut, Schädlingen und Krankheiten. "Der Trend bei den wichtigsten Anbausystemen weltweit geht jedoch dahin, dass wir Getreide in immer kürzeren Fruchtfolgen und mancherorts sogar in kontinuierlicher Monokultur anbauen" Der Anbau mehrerer Pflanzenarten in einer jährlichen Fruchtfolge führte im Vergleich zu einer kontinuierlichen Monokultur immer zu höheren Erträgen. Der durchschnittliche Ertragszuwachs durch die Fruchtfolge betrug 860 bzw. 390 kg/ha bei Herbst- und Frühjahrsgetreide. Bei Frühjahrsgetreide nahm der Nutzen einer vielfältigen Fruchtfolge seit Beginn der Studie zu, ohne dass es zu einem Plateau kam.



Co-funded by  
the European Union



Versuchen und erreichte nach 50-60 Jahren einen Gewinn von 500 kg/ha. Der Nutzen einer vielfältigen Fruchtfolge war in heißen und trockenen Jahren am größten, eine Situation, die mit dem Klimawandel voraussichtlich häufiger auftreten wird (<https://www.slu.se/en/ew-news/2020/11/crop-rotation-a-promising-way-to-improve-food-security-under-a-changing-climate/>).

In bewässerten Gebieten können Futterpflanzen (z. B. Esparsette, Wicke) als Bodendecker in der Fruchtfolge verwendet werden, und der Gehalt an organischer Substanz kann durch Vermischen mit dem Boden vor der Anpflanzung von Sonnenblumen angereichert werden, oder wenn sie als Futtermittel geerntet werden, kann die Zweitfrucht Mais in Fruchtfolge aufgenommen werden, wie es in der türkischen Region Thrakien praktiziert wird.

**Änderung des Pflanzkalenders:** Die Pflanztermine sollten sorgfältig angepasst werden, um die Niederschläge effektiv zu nutzen und um Trockenheit und Krankheiten/Schädlinge zu vermeiden. Die Verlegung des Pflanzzeitpunkts in den November, um die Gelbe Zwergkrankheit in der Türkei zu verhindern, und die Anpassung des Pflanzzeitpunkts für Sonnenblumen im zeitigen Frühjahr, um von den meisten Niederschlägen zu profitieren, sind gute Beispiele für diese Maßnahme.

**Mischkulturen:** Beim Mischanbau werden zwei oder mehr Kulturpflanzen nebeneinander auf demselben Feld angebaut. Mischkulturen, in der Regel eine Mischung aus Hülsenfrüchten und Getreide oder Knollenfrüchten, sind in marginalen agrarökologischen Gebieten eine gängige Praxis, die eine Vielzahl von Funktionen erfüllt, darunter die komplementäre Nutzung von Wachstumsfaktoren wie Bodennährstoffen, Licht und Wasser, ein geringeres Auftreten von Schädlingen und Krankheiten, eine geringere Bodenerosion, eine höhere Gesamtbiomasseproduktion, eine höhere Ertragsstabilität und eine größere Ernährungssicherheit für die Haushalte. Darüber hinaus können die Mischungen flexibel an die Bedingungen angepasst werden, z. B. an den späten oder frühen Beginn der Regenzeit oder den Zustand der Bodenfruchtbarkeit auf verschiedenen Feldern. Zwischen die jungen Obstbäume können einjährige Pflanzen gepflanzt werden.

**Verbesserte Wasser- und Bewässerungsbewirtschaftung:** Mehr als 70 % der erneuerbaren Süßwasserressourcen werden für Bewässerungszwecke verwendet. Etwa 15 % Einsparungen beim Bewässerungswasser entsprechen dem Wasserbedarf der Haushalte. Die durchschnittliche Wassernutzungseffizienz in der Welt liegt bei sehr niedrigen 40 % und 35 % in der Türkei. In jedem Fall kann die Effizienz um 10-50% gesteigert werden durch die Auswahl von Pflanzen mit hoher Wassernutzungseffizienz und wirtschaftlichem Wert, die Konzentration auf Studien über Trockenheit und Salzgehalt, die Bevorzugung von Rohrleitungssystemen bei der Wasserübertragung, die Bevorzugung von hocheffizienten Bewässerungssystemen (wenn möglich Tropfbewässerung) und die Anwendung der Defizitbewässerungstechnik.

Von Defizitbewässerung spricht man, wenn die Bewässerung einer Kultur weniger Wasser als zur Deckung des vollen Wasserbedarfs der Pflanze erforderlich ist, was zu einer Evapotranspiration (ET) führt, die unter der maximalen ET der Pflanze liegt. Bei einigen Kulturen und unter bestimmten Bedingungen wird die Bewässerung absichtlich reduziert, um die gewünschte Pflanzenqualität zu erreichen.



Co-funded by  
the European Union



Reaktion oder Produkteigenschaft oder -qualität, z. B. um das vegetative Wachstum zu reduzieren, die Qualität und den Wert der Früchte zu erhöhen, die Reife zu fördern oder die Ernte zu erleichtern. In den meisten führt die Defizitbewässerung jedoch zu einem geringeren Ertrag und Bruttoeinkommen. Defizitbewässerung kann aufgrund von Einschränkungen bei der Wasserlieferung oder -anwendung oder Fehlern bei der Planung der Bewässerung auftreten, oder sie kann eine bewusste Bewirtschaftungspraxis sein, um den Nettoertrag unter den Bedingungen einer unzureichenden oder teuren Wasserversorgung zu maximieren (Trout und Martin 2020).

Begrenztes oder teures Wasser kann dazu führen, dass das Produktionsziel von maximalen Erträgen und Bruttoeinnahmen pro Flächeneinheit auf die Erzielung akzeptabler Erträge umgestellt wird, die den wirtschaftlichen Ertrag im Rahmen der begrenzten Wasserversorgung maximieren.

Einschränkungen der Wasserversorgung können langfristig und vorhersehbar oder kurzfristig und unvorhergesehen sein. Der Planungshorizont für das Defizitbewässerungsmanagement bestimmt die verfügbaren Optionen. Das Wissen um langfristige Beschränkungen ermöglicht es dem Erzeuger, Investitionen in Land und Infrastruktur zu tätigen, die der Wasserversorgung angemessen sind. Wenn die saisonalen Einschränkungen bekannt sind, bevor die jährlichen Investitionen für die Vorbereitung und Bepflanzung der Felder getätigt werden, können die Betriebskosten an die erwartete Wasserversorgung angepasst werden. Unerwartete Einschränkungen der Wasserversorgung können während der Saison durch fehlende Niederschläge, eine Überschätzung der Wasserversorgung oder einen Ausfall der Wasserversorgungssysteme auftreten. Unerwartete Versorgungsengpässe während der Saison schränken die Möglichkeiten zur Anpassung der Produktionskosten ein, erlauben aber immer noch eine Umverteilung der Wasserversorgung zwischen den Kulturen und Gebieten, z. B. die Aufgabe von bepflanzten Feldern oder Teilen von Feldern, um das Bewässerungswasser auf die verbleibenden Flächen zu konzentrieren (Trout und Martin 2020).

Um rationale Entscheidungen über das Management der Defizitbewässerung zu treffen, muss man wissen, wie eine Pflanze auf Wasser reagiert. Die Wasserproduktionsfunktion einer Pflanze beschreibt die Beziehung zwischen dem Ertrag oder Wert der Pflanze und der verbrauchten Wassermenge. Die grundlegende Wasserproduktionsfunktion setzt die produzierte Biomasse mit der Transpiration der Pflanzen in Beziehung. Frühere Studien ergaben, dass die Pflanzenbiomasse fast proportional zur Menge des transpirierten Wassers im Verhältnis zum Verdunstungsbedarf zunimmt. Die Wasserproduktionsfunktion variiert je nach Kultur und Sorte, Klima, Boden und Bewirtschaftungsmethoden. Die Wasserproduktivität und der Ertrag nach variablen Kosten für die wichtigsten angebauten Kulturen (oder alternative Kulturen) können auf der Grundlage simulierter Erträge mit dem Decision Support System-Cropping System Model bewertet werden. Die rentabelsten Kulturen sollten unter Defizit- und Vollbewässerungsbedingungen ermittelt werden. Wasserproduktionsfunktionen werden mit ökonomischen Parametern verwendet, um das Nettoeinkommen bei Defizitbewässerung zu maximieren. Defizitbewässerung kann den Nettoertrag maximieren, wenn die Wasservorräte begrenzt oder teuer sind (Trout und Martin 2020).



Co-funded by  
the European Union



Der größte Teil Bewässerungswasserverluste, bis zu 15 %, ist auf Sicker- und Verdunstungsverluste aus offenen Kanälen mit geringer Übertragungskapazität zurückzuführen. Diese Kanäle müssen bald auf ein Röhrensystem umgestellt werden, das die Verluste bei der Wasserübertragung minimiert. Das eingesparte Wasser kann in anderen Sektoren verwendet oder zur Bewässerung zusätzlicher landwirtschaftlicher Flächen genutzt werden. Andernfalls werden die Wasserverluste weiterhin zu Versalzung und Grundwasserproblemen führen, die Produktivität der Böden verringern und Grund- und Oberflächenwasser verschmutzen.

Andererseits hat die angewandte Bewässerungsmethode einen erheblichen Einfluss auf die Menge des verlorenen Wassers. Die Wasserverluste bei den verschiedenen Bewässerungsmethoden sind wie folgt (in %): Oberflächenbewässerung 20-70, Sprinklerbewässerung 20-35, zentrale Pivotbewässerung 10-20 und Tropfbewässerung 5-15. In der Türkei sind 82 % der bestehenden Bewässerungssysteme Oberflächenbewässerungssysteme, 16 % sind Sprinklerbewässerungssysteme und nur 2 % sind Tropfbewässerungssysteme.

Wenn die traditionellen Oberflächenbewässerungssysteme durch hocheffiziente Druckbewässerungssysteme (Tropf- und Sprinkleranlagen) ersetzt werden, muss auch der Energiebedarf dieser Systeme berücksichtigt werden, und die nachhaltigen Energiequellen Wind und Sonne sollten bevorzugt werden.

**Anpassung von Maßnahmen zur Erhaltung von Boden, Bodenwasser und Energie:** Bessere Rückstandsbewirtschaftung und Mulchtechniken, keine oder minimale Bodenbearbeitung und Erhöhung der organischen Bodensubstanz können als Maßnahmen zur Erhaltung von Boden, Bodenwasser und Energie in Betracht gezogen werden.

Unter Ernterückständen versteht man die Teile der Pflanzen, die nach der Ernte auf dem Feld verbleiben, z. B. Stängel, Blätter und Wurzeln, einige gefallene Körner und oft auch Unkraut. Ernterückstände können für den Landwirt einen direkten monetären Wert für die Viehfütterung haben, aber auch einen Wert für die Boden- und Ertragsverbesserung, der je nach Umgebung sehr unterschiedlich ist. Darüber hinaus ist die Rückhaltung von Ernterückständen eine der Komponenten der konservierenden Landwirtschaft (CA), zusammen mit keiner oder minimaler mechanischer Störung und Fruchtfolge (Anderson und Siddique, 2015), und es wird angenommen, dass sie einen Wert für den Erosionsschutz, den Aufbau von organischem Kohlenstoff im Boden (SOC) (Anderson und Siddique 2015) und die Verbesserung oder Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Lal 2010) hat, was vermutlich die Ernteerträge längerfristig erhöht oder erhält.

Theoretisch führen unter den Bedingungen einer besseren Rückstandsbewirtschaftung eine erhöhte Wasserinfiltration und eine geringere Bodenverdunstung zu einem höheren Ernteertrag, der in Abwesenheit anderer einschränkender Faktoren zu einem erhöhten Rückfluss organischer Substanz führt (Anderson und Siddique, 2015). Die Speicherung begrenzter Niederschläge im Boden während der Brachezeit nach der Ernte kann für die Bodenfeuchtigkeit, die Keimung und das Auflaufen des Saatguts in der Anfangsphase der nächsten Anbausaison entscheidend sein. Ernterückstände können dazu beitragen, indem sie mehr Wasser



Co-funded by  
the European Union



Infiltration (Schwilch et al. 2013) und verringerte Verdunstung an der Bodenoberfläche, d. h. Mulchwirkung der Rückstände (Sommer et al. 2012).

Es gibt wissenschaftliche Belege (Loss et al. 2015), dass Direktsaatsysteme mit Stoppelrückhaltung die organische Substanz im Boden im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung erhöhen. Die Zunahme der organischen Substanz im Boden verbessert die physikalischen Eigenschaften des Bodens und beschleunigt die Infiltration von Regenwasser in den Boden. Darüber hinaus wird durch die Erhöhung der Wasserspeicherkapazität des Bodens die Infiltration von Wasser unterhalb der Wurzelzone verhindert, so dass die Pflanzen von dem begrenzten Regenwasser effektiv profitieren können. Die Prognosen zum Klimawandel in der Türkei deuten darauf hin, dass sich die Niederschlagscharakteristiken ändern werden, d. h. die Anzahl der aufeinanderfolgenden trockenen Tage wird zunehmen und sehr starke Regenfälle werden auf einmal auftreten. Unter diesen Bedingungen kann die Zunahme der organischen Substanz im Boden den größten Nutzen aus den unregelmäßigen Regenfällen ziehen und die Bodenerosion in erheblichem Maße verhindern.

Obwohl es Forschungsergebnisse gibt, die zeigen, dass sich Rückstände negativ auf den Pflanzenertrag auswirken (Scott et al. 2010), wird festgestellt, dass er im Allgemeinen steigt (Schwilch et al. 2013). Farooq et al. (2011) stellten fest, dass die Auswirkungen der konservierenden Landwirtschaft (einschließlich Null-Bodenbearbeitung und Rückstandsrückhaltung) auf die Ernteerträge überwiegend positiv waren, insbesondere bei geringeren Niederschlägen, vermuteten aber, dass in den Fällen, in denen die Erträge der konservierenden Landwirtschaft nicht über denen der konventionellen Systeme lagen, Faktoren wie Unkraut und Krankheiten dafür verantwortlich gewesen sein könnten.

Minimalbodenbearbeitung und Direktsaatverfahren tragen erheblich zur Energieeinsparung und damit zum Umweltschutz und zur Abschwächung des Klimawandels bei.

Minimale Bodenbearbeitung und Direktsaat werden seit 10 Jahren in der Region Trakya in der Türkei auf einer Fläche von ca. 3.000 ha mit Sommermais als Zweitfrucht für Silage nach der Ernte von Weizen, Gerste, Wicke oder Erbsen praktiziert, um das Bodenwasser zu erhalten, die organische Substanz zu erhöhen, die Kosten für die Aussaat zu senken und die Zeit effektiv zu nutzen. Die lokalen Unternehmen haben mit der Herstellung von pneumatischen Direktsaatmaschinen begonnen. Während die Direktsaat von Mais von Tag zu Tag zunimmt, wird erwartet, dass die Direktsaat von Sonnenblumen in naher Zukunft weit verbreitet sein wird (Abbildung 13).

## **6.7. KONZEPTE ZUR STEIGERUNG DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DES AGRARSEKTORS, ZUR SICHERUNG DER NACHHALTIGKEIT UND ZUR ABSCHWÄCHUNG DES KLIMAWANDELS IM RAHMEN DES CSA**

Frühere Forschungsarbeiten über die Landwirtschaft konzentrierten sich ausschließlich auf die wirtschaftlichen Auswirkungen, doch heute wird die Leistung landwirtschaftlicher Systeme als mehrdimensional betrachtet, wobei die wirtschaftliche, ökologische und soziale Dimension sowie die Wechselwirkung zwischen diesen Dimensionen berücksichtigt werden.

Technologische Entwicklungen, ökologische Nachhaltigkeit und Wettbewerb haben dazu geführt, dass neben der traditionellen Landwirtschaft auch CSA, ökologischer Landbau und gute landwirtschaftliche Praxis (GAP), Präzisionslandwirtschaft, digitale Landwirtschaft, vertikale landwirtschaftliche Praktiken und intelligente Gewächshäuser entstanden sind.



**Abbildung 1. 3:** Direktsaat von Sommermais als Zweitfrucht für Silage nach der Weizenernte in der Region Trakya (Die Fotos stammen vom Eigentümer der Ekmen Farming Inc., Agraringenieur Irfan Ekmen)

**OF und GAP-Praktiken:** OF ist ein Produktionssystem, das die menschliche Gesundheit schützt und die Kontinuität des Ökosystems gewährleistet. Dieses System basiert auf ökologischen Prozessen, biologischer Vielfalt und an die lokalen Bedingungen angepassten Kreisläufen und nicht auf dem Einsatz von Betriebsmitteln mit negativen Auswirkungen. In der GAP werden zwar chemische Betriebsmittel eingesetzt, aber in einer Weise, die die menschliche Gesundheit und die Umwelt nicht schädigt. Die Entwicklung nachhaltiger landwirtschaftlicher Systeme wird als ein vorrangiges Ziel bei der Vermeidung von Umweltproblemen in der Welt angesehen. OF und GAP tragen zur Vermeidung des Klimawandels und zur ökologischen Nachhaltigkeit bei. GAP kann in kurzer Zeit sehr weit verbreitet werden.



Co-funded by  
the European Union



**Präzisionslandwirtschaft:** Präzisionslandwirtschaft ist eine Managementstrategie, die zeitliche, räumliche und individuelle Daten sammelt, verarbeitet und analysiert und sie mit anderen Informationen kombiniert, um Managemententscheidungen entsprechend der geschätzten Variabilität für eine verbesserte Ressourcennutzungseffizienz, Produktivität, Qualität, Rentabilität und Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion zu unterstützen. Durch den Einsatz verschiedener Technologien wie Drohnen, GPS und IoT können die Planungs-, Pflanz-, Bewässerungs- und Ernteprozesse mit minimalem Personal- und Ressourceneinsatz fortgesetzt werden, was zu einer maximalen Produkteffizienz führt. Damit die Präzisionslandwirtschaft auf breiter Basis eingesetzt werden kann, müssen landwirtschaftliche Betriebe in mittlere und große Unternehmen umgewandelt und das Bildungsniveau der Landwirte erhöht werden.

**Vertikale Landwirtschaft:** Hierbei handelt es sich um den Anbau von Nutzpflanzen in vertikalen Schichten. Sie kombiniert hydroponische Anbautechniken wie Hydroponik, Aquaponik und Aeroponik mit dem Anbau unter kontrollierten Bedingungen, um den Pflanzenanbau zu optimieren. Die vertikale Landwirtschaft kann mehr Produkte mit einem geringeren Flächenbedarf erzeugen. Da sich die Erzeugnisse in geschlossenen Räumen befinden, sind die Verluste bei extremen oder unerwarteten Wetterereignissen geringer. Vertikale Landwirtschaftstechnologien haben im Vergleich zu konventionellen Betrieben hohe Anfangskosten. Der Energiebedarf ist hoch. Wenn keine Sonnen- oder Windenergie genutzt wird, schadet sie der Umwelt mehr als die konventionelle Landwirtschaft und kann den Klimawandel verursachen.

**Intelligente Gewächshäuser:** Die Nutzung von Sonnen-, Wind- und geothermischer Energie oder von in der industriellen Produktion anfallendem Warmwasser kann zur Beheizung vollautomatischer hydroponischer intelligenter Gewächshäuser verwendet werden. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit einer langfristigen landwirtschaftlichen Produktion ohne Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen.

Die Verbreitung von CSA, OF und GAP, Präzisionslandwirtschaft, digitaler Landwirtschaft und vertikalen landwirtschaftlichen Praktiken wird die Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Produktion, den Schutz der Umwelt, die Anpassung an die negativen Auswirkungen des Klimawandels und die Verhinderung des Klimawandels gewährleisten. Darüber hinaus können sie zur Entwicklung neuer Industrien im Zusammenhang mit diesen Systemen beitragen, die Beschäftigung steigern und eine nachhaltige sozioökonomische Entwicklung und Ernährungssicherheit gewährleisten.

## 6.8. INSTITUTIONELL ASPEKT VON KLIMA SMART UMSETZUNG IN DER LANDWIRTSCHAFT

**Wie können Institutionen CSA unterstützen?** Institutionen können Landwirte, insbesondere Kleinbauern, bei der Umsetzung von CSA in drei wichtigen Bereichen unterstützen (FAO 2013):



Co-funded by  
the European Union



- **Schaffung und Weitergabe von technischem Wissen:** Für relativ ressourcenarme Kleinbauern erfordert die Umsetzung von CSA in die Praxis Wissen und Unterstützung. Die Landwirte brauchen einen leichteren und erschwinglicheren Zugang zu den Informationen, die innovativen CSA-Praktiken zugrunde liegen. Institutionen, die Informationen produzieren und weitergeben und den Menschen helfen, diese Informationen in Wissen und Handeln umzusetzen, sind von entscheidender Bedeutung.
- **Bereitstellung von Finanzdienstleistungen, Krediten und Zugang zu Märkten:** Es dauert in der Regel einige Zeit, bis die Vorteile der CSA zum Tragen kommen. In der Zwischenzeit müssen die Landwirte die Kosten in Form von Arbeit, Land und Bargeld tragen. Daher können arme Landwirte, die keinen Zugang zu Krediten und Märkten haben, diese Techniken nicht anwenden. Deshalb ist die Stärkung der Institutionen zur Unterstützung der Agrarmärkte, der Finanzierungsmechanismen und der Versicherungssysteme entscheidend für den Erfolg der CSA.
- **Unterstützung der Koordinierung von Gemeinschaftsaktionen:** Kollektives Handeln ist entscheidend für die Bewirtschaftung gemeinschaftlicher Wälder und Weiden und die Senkung der Transaktionskosten. Viele CSA-Aktivitäten sind nur durchführbar und erschwinglich, wenn die Menschen zusammenarbeiten (z. B. verbessertes Wasser- oder Weidelandmanagement). Institutionelle Arrangements, die dafür sorgen, dass Gruppen effizient und effektiv arbeiten, sind unerlässlich. In größerem Maßstab sind auch institutionelle Regelungen erforderlich, die die Koordinierung zwischen Organisationen und Sektoren erleichtern (z. B. durch Netzwerke und Plattformen für den Wissensaustausch).

**Wichtige Institutionen für CSA-Initiativen:** Erfolgreiche Veränderungen in landwirtschaftlichen Praktiken, Technologien oder Politiken sind möglich, wenn der Dialog und die Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren, die verschiedene Arten von Wissen besitzen, produzieren oder nutzen, gefördert wird. Die effektivsten Initiativen ermöglichen es Forschern, Gemeindemitgliedern, Akteuren des Privatsektors und politischen Entscheidungsträgern, gemeinsam die Probleme zu definieren, die sie lösen wollen (FAO 2013).

In Zeiten des Klimawandels werden zwei Arten von Beratung benötigt: erstens Informationen über verfügbare Optionen (z. B. Technologie und Markt), um die Anpassung von Landwirtschafts- und Lebensunterhaltssystemen zu unterstützen, und zweitens Informationen über das Klima selbst in Form von Wettervorhersagen, saisonalen Prognosen und längerfristigen Klimatrends. Frühwarn- und Frühaktionsinitiativen sollten bevorzugt werden, anstatt erst während einer Katastrophe wie Dürre, Überschwemmung usw. nach Lösungen zu suchen (FAO 2013).

Rolle und Zuständigkeiten der öffentlichen Einrichtungen, der Zivilgesellschaft, der Nichtregierungsorganisationen, der Hochschulen und Forschungseinrichtungen, der Medien, der privatwirtschaftlichen Einrichtungen, der einzelnen Landwirte, der Erzeugergenossenschaften, der nationalen und internationalen Organisationen, die Dienstleistungen erbringen oder als Interessenvertreter auftreten



Co-funded by  
the European Union



internationale Agrarunternehmen, kommerzielle Beratungsunternehmen, Banken, Kreditinstitute und Sparkassen, Käufer von Emissionsgutschriften sollten definiert werden.

Damit die Synergie die Interaktion und Kommunikation zwischen vielen einzelnen institutionellen Akteuren erleichtert, muss ein förderliches Umfeld geschaffen werden. Dieses "institutionelle Zusammenspiel" sollte nicht nur "horizontal" sein, d. h. auf derselben Organisationsebene stattfinden, sondern auch Institutionen "vertikal" integrieren, d. h. Perspektiven über traditionelle Ebenen und Hierarchien hinweg einbeziehen (FAO 2013).

Aufgrund der vielen institutionellen Interaktionen, die damit verbunden sind, benötigen CSA-Initiativen zuverlässige Netzwerke, um den Informationsaustausch und den Aufbau von Partnerschaften zu unterstützen. Auch Fragen der Gleichberechtigung und kulturelle Überlegungen sollten berücksichtigt werden.



Co-funded by  
the European Union



## KAPITEL 7

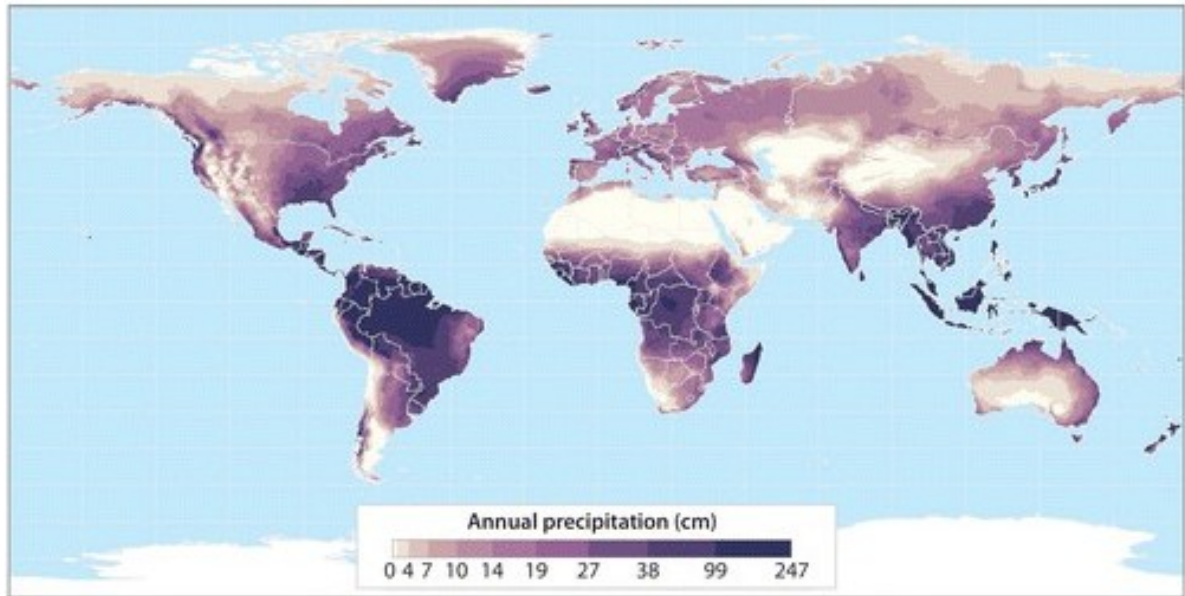
# NACHHALTIGE BEWIRTSCHAFTUNG DER WASSERRESSOURCEN UNTER DEN BEDINGUNGEN DES KLIMAWANDELS

### 7.1. ERNEUERBARE SÜSSWASSERRESSOURCEN UND WASSERKNAPPHEIT IN DER WELT UND IN DEN PARTNERLÄNDERN

Wasser ist der wichtigste Bestandteil des Lebens auf der Erde. Siebzig Prozent der Erdoberfläche bestehen aus Wasser. Man findet es in der Atmosphäre über uns, in den Ozeanen, Flüssen und Seen um uns herum und in den Felsen unter uns. Trotz seiner Bedeutung für das Leben ist Süßwasser auf der Erde eine äußerst seltene Ressource. Weniger als 3 % des auf der Erde vorkommenden Wassers ist Süßwasser, die restlichen 97 % sind Salzwasser, wie man es im Meer findet. Der größte Teil des Süßwassers der Welt ist für den Menschen nicht leicht zugänglich. Ungefähr 69 % des Süßwassers der Erde sind in Form von Eis in Gletschern und Polkappen eingeschlossen, und weitere 30 % des Süßwassers der Erde befinden sich unter der Oberfläche in Form von Grundwasser. Damit ist nur etwa 1 % des Süßwassers der Erde für die menschliche Nutzung verfügbar (Gleick und Coley 2021).

Es wurden zahlreiche Studien über die wichtigsten natürlichen Ströme zwischen diesen Wasservorräten in Form von Niederschlag, Evapotranspiration und Flussabfluss durchgeführt, einschließlich Kombinationen aus Beobachtungen und Modellschätzungen (Gosling und Arnel 2016, Wisser et al. 2010). Die Komponenten der Wasserbilanz variieren von Jahr zu Jahr, und es gibt Unsicherheiten, die mit der Schwierigkeit der Messung zusammenhängen, aber die derzeitige Schätzung des Gesamtniederschlags über Land liegt bei etwa 110 000 Kubikkilometern pro Jahr ( $\text{km}^3/\text{Jahr}$ ), die natürliche Evapotranspiration bei etwa 68 000  $\text{km}^3/\text{Jahr}$  und der Flussabfluss in die Ozeane und Binnensenken bei etwa 26 000  $\text{km}^3/\text{Jahr}$ . Die verbleibenden 16 000  $\text{km}^3/\text{Jahr}$  sind der menschliche Nettowasserverbrauch, der im Durchschnitt 2 000  $\text{m}^3/\text{Jahr/Kopf}$  entspricht (Gleick und Coley 2021).

Das verfügbare Oberflächensüßwasser ist jedoch räumlich und zeitlich nicht gleichmäßig über die Welt verteilt (siehe Abbildung 7.1). Brasilien, Russland, Kanada, Indonesien, China, Kolumbien und die Vereinigten Staaten verfügen über den größten Teil der weltweiten Süßwasserressourcen an der Oberfläche. Infolgedessen lebt etwa ein Fünftel der Weltbevölkerung in wasserarmen Gebieten, in denen jeder Mensch im Durchschnitt weniger als 1.000 Kubikmeter Wasser pro Jahr erhält. Dieser Wassermangel hat Auswirkungen auf den Zugang der Menschen zu sauberem, nutzbarem Wasser sowie auf die wirtschaftliche Entwicklung und die Geopolitik verschiedener Gebiete (Gleick und Coley 2021).



**Abbildung 7. 1.** Die ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge auf der Welt (Gleick und Coley 2021). Annual Review of Environment and Resources. Vol. 46:319-348 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>).

Die Ausgabe 2018 des Weltwasserentwicklungsberichts der Vereinten Nationen (UN) (WWDR 2018) enthält eine Aktualisierung der derzeitigen Trends bei der Verfügbarkeit von sauberem Wasser und der künftigen Erwartungen. Die Wassersicherheit, d. h. die Fähigkeit einer Bevölkerung, den nachhaltigen Zugang zu angemessenen Wassermengen in akzeptabler Qualität zu gewährleisten, ist für viele Menschen bereits gefährdet, und die Situation wird sich in den nächsten Jahrzehnten weiter verschärfen (Burek et al. 2016, Boretti und Rosa 2019). Der Mangel an sauberem Wasser ist in der heutigen Welt mit 7,7 Milliarden Menschen ein großes Problem. Die Belastung Wassersystems wird bis 2050 noch zunehmen, wenn die Weltbevölkerung zwischen 9,4 und 10,2 Milliarden, was einem Anstieg von 22 bis 34 % entspricht. Die Belastung wird sich durch ein ungleiches Bevölkerungswachstum in verschiedenen Gebieten, das nicht mit den lokalen Ressourcen zusammenhängt, noch verschärfen. Der größte Teil dieses Bevölkerungswachstums wird in den Entwicklungsländern erwartet, zunächst in Afrika und dann in Asien, wo die Knappheit an sauberem Wasser bereits ein großes Problem darstellt (Boretti und Rosa 2019).

Derzeit lebt etwas weniger als die Hälfte der Weltbevölkerung, nämlich 3,6 Milliarden Menschen oder 47 %, in Gebieten, die mindestens einen Monat pro Jahr unter Wasserknappheit leiden (WWDR 2018, Boretti und Rosa 2019). Stattdessen haben sie nur Zugang zu verunreinigtem Wasser, das Verunreinigungen und Infektionskrankheiten übertragen kann; Menschen, die schmutziges Wasser trinken, sind einem erhöhten Risiko für Durchfall, Cholera, Ruhr und andere Krankheiten ausgesetzt. Der fehlende Zugang zu sauberem Trinkwasser führt jedes Jahr zu mehr als 3 Millionen Todesfällen. Laut Mekonnen und Hoekstra (2016) ist die Zahl sogar noch höher: 4,0 Milliarden Menschen oder 52 % der Weltbevölkerung. Bis 2050 wird mehr als die Hälfte der



Co-funded by  
the European Union



der Weltbevölkerung (57 %) werden in Gebieten leben, die mindestens einen Monat pro Jahr unter Wasserknappheit leiden (WWDR 2018, Boretti und Rosa 2019). Diese Schätzung des WWDR könnte eine Unterschätzung sein. Der vom WWDR prognostizierte Wasserbedarf, die Wasserressourcen und die Wasserqualität hängen von vielen geopolitischen Faktoren ab, die schwer vorherzusagen sind. Der Rückgang der Wasserressourcen und der Wasserqualität, der im WWDR nur teilweise erörtert wird, ist möglicherweise viel schwieriger zu kontrollieren (Boretti und Rosa 2019).

Der Zugang zu Süßwasser ist auch für die wirtschaftliche Entwicklung wichtig. Süßwasserquellen ermöglichen zum Beispiel die Entwicklung der Fischerei. Menschen auf der ganzen Welt ernten Fisch aus diesen Lebensräumen, der genug tierisches Eiweiß liefert, um 158 Millionen Menschen weltweit zu ernähren. Diese Fischerei ist sowohl eine Quelle für den Lebensunterhalt der lokalen Fischer als auch eine Einkommensquelle für Händler (<https://education.nationalgeographic.org/resource/freshwater-resources/>).

Neben der Nutzung von Süßwasser als Lebensraum ist Süßwasser auch eine wichtige Ressource für andere Wirtschaftstätigkeiten, wie z. B. die Landwirtschaft. Einer Schätzung zufolge werden etwa 70 % des weltweiten Süßwassers für die Landwirtschaft verwendet. Landwirte auf der ganzen Welt nutzen die Bewässerung, um Wasser aus Oberflächen- und Grundwasserquellen zu ihren Feldern zu transportieren. An diesen landwirtschaftlichen Aktivitäten sind weltweit über 1 Milliarde Menschen beteiligt, die jedes Jahr einen wirtschaftlichen Wert von über 2,4 Billionen Dollar erwirtschaften. In Zukunft wird die Nachfrage nach Süßwasser in der Landwirtschaft mit dem Wachstum der Weltbevölkerung weiter steigen. Einer Schätzung zufolge wird der Bedarf bis 2050 um 50 Prozent steigen. Dieser Anstieg des Wasserverbrauchs wird die begrenzten Süßwasservorräte der Erde weiter belasten und den Zugang zu Süßwasser Wasser sogar mehr wichtiger (<https://education.nationalgeographic.org/resource/freshwater-resources/>).

### 7.1.1. Globale und regionale Wasserentnahmen

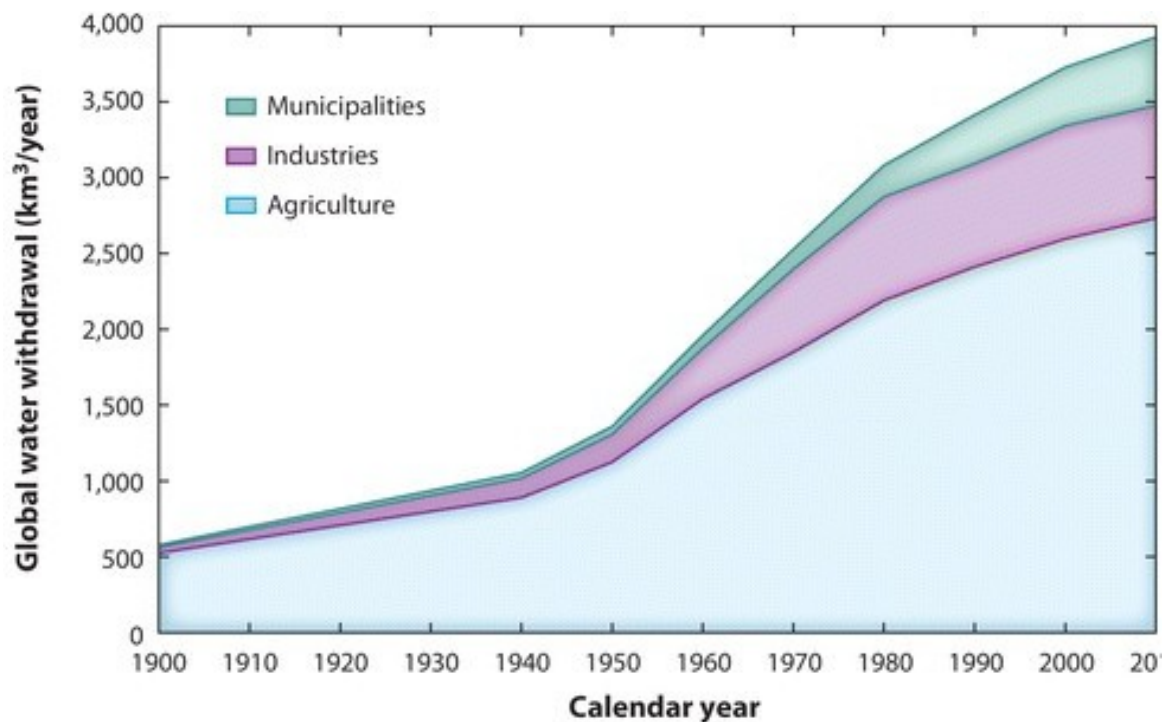
Daten über die Wasserentnahme nach Regionen und verschiedenen Wirtschaftssektoren gehören zu den am meisten gesuchten Informationen. Die FAO unterhält die Datenbank AQUASTAT, mit der versucht wurde, die Schätzungen der Wasserentnahmen nach Ländern zu standardisieren. Trotz ihrer Beschränkungen gehören sie zu den umfassendsten verfügbaren Datensätzen. In der AQUASTAT-Datenbank wird die Wasserentnahme in drei Hauptkategorien eingeteilt: Landwirtschaft, Industrie und Kommunen/Haushalte, obwohl die Wasserabrechnungssysteme uneinheitlich sind.

Die Wasserentnahme in der Landwirtschaft umfasst Wasser für die Bewässerung, das Tränken und Reinigen des Viehs und die Aquakultur. Wasser für die Verarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse wird unter den industriellen oder kommunalen Wasserentnahmen erfasst. In ländlichen Gebieten umfasst die landwirtschaftliche Wasserentnahme häufig auch Wasser für häusliche Zwecke.

Industrielle Wasserentnahmen umfassen Wasser, das von selbstversorgten Industrien, die nicht an ein öffentliches Verteilungsnetz angeschlossen sind, für Zwecke wie Herstellung, Verarbeitung, Waschen, Verdünnung, Kühlung oder Transport eines Produkts verwendet wird; Wasser, das in einem Produkt enthalten ist; oder Wasser, das für sanitäre Zwecke innerhalb der Produktionsstätte verwendet wird.

Kommunale Entnahmen sind eine weit gefasste Kategorie, die sowohl Wasser für den häuslichen Gebrauch als auch Wasser, das von einer Gemeinde oder einem anderen öffentlichen Versorger für kommerzielle, industrielle und institutionelle Zwecke bereitgestellt wird, umfasst.

Um 2010, dem jüngsten Jahr, für das Daten vorliegen, entfielen 69 % der weltweiten Wasserentnahme auf die Landwirtschaft, gefolgt von der sich selbst versorgenden Industrie (19 %) und den Kommunen (12 %). Diese Verhältnisse unterliegen jedoch erheblichen regionalen Schwankungen. In Afrika und Asien beispielsweise entfallen mehr als 80 % der Wasserentnahmen auf die Landwirtschaft, während es in Ozeanien 65 %, in Amerika 48 % und in Europa 25 % sind. Im Gegensatz dazu ist die industrielle Wasserentnahme in Europa (54%) und Amerika (37%) relativ hoch, während sie in Ozeanien 15%, in Asien 10% und in Afrika nur 4% beträgt. Die regionalen Schwankungen bei der kommunalen Wasserentnahme reichen von 9 % in Asien bis zu etwa 20 % in Ozeanien und Europa (Gleick und Coley 2021, FAO 2020). Die globale Wasserentnahme (km<sup>3</sup>/Jahr) nach Sektoren von 1900 bis 2010 ist in Abbildung 7.2 dargestellt.



**Abbildung 7.2.** Globale Wasserentnahmen (km<sup>3</sup>/Jahr) nach Sektoren von 1900 bis 2010. Die globale Wasserentnahme wird von der Bewässerungslandwirtschaft dominiert (Gleick und Coley 2021). Jährliche Überprüfung



Co-funded by  
the European Union



für Umwelt und Ressourcen. Vol. 46:319-348 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>).

Die globale Wasserentnahme hat sich zwischen 1900 und 2010 fast versechsfacht (Abbildung 2.2) (FAO 2020, Gleick und Coley 2021,). Dies entspricht einer jährlichen Steigerungsrate von 1,8 %. Laut Wada et al. (2016) ist die derzeitige jährliche Wachstumsrate geringer, nämlich nur 1 %, aber diese Zahl ist möglicherweise optimistisch. Der Zeitraum mit dem schnellsten Wachstum war zwischen 1950 und 1980, als die globale Wasserentnahme um das 2,5-fache anstieg. Einen ähnlichen Trend gab es bei der verbrauchenden Wassernutzung, einschließlich der Nutzung von Oberflächen- und Grundwasser (Wada und Bierkens 2014). Die Wachstumsrate begann sich 1980 zu verlangsamen, und es gibt Anzeichen dafür, dass sich die Wasserentnahme um das Jahr 2000 zu verlangsamen begann. Zwischen 2001 und 2010 stieg die globale Wasserentnahme nur um 2,7 %, verglichen mit einem durchschnittlichen Anstieg von 30 % in jedem der 10-Jahres-Zeiträume von 1951 bis 1960, 1961 bis 1970 und 1971 bis 1980.

### **7.1.2. Weltweite Wassernachfrage und -versorgung bis 2050**

Die weltweite Wassernachfrage wird in den nächsten zwei Jahrzehnten in allen drei Komponenten - Industrie, Haushalte und Landwirtschaft - erheblich steigen. Die industrielle und häusliche Nachfrage wird schneller steigen als die landwirtschaftliche Nachfrage, aber die Nachfrage in der Landwirtschaft wird weiterhin am größten sein. Der weltweite Wasserbedarf für alle Verwendungszwecke, der derzeit bei etwa 4 600 km<sup>3</sup> pro Jahr liegt, wird bis 2050 um 20 % bis 30 % auf 5500 bis 6000 km<sup>3</sup> pro Jahr steigen. Bis 2050 wird die Weltbevölkerung auf 9,4 bis 10,2 Milliarden Menschen ansteigen, was einem Zuwachs von 22 % bis 32 % entspricht. Der Nahrungsmittelbedarf wird bis 2050 um 60 % steigen, und dieser Anstieg wird mehr Ackerland und eine Intensivierung der Produktion erfordern. Dies wird zu einem erhöhten Wasserverbrauch führen (Boretti und Rosa 2019, Gleick und Coley 2021, WWDR 2018).

Die Wassernachfrage darf die Wasserverfügbarkeit nicht übersteigen. Während die Wassernachfrage steigt, nimmt die Wasserverfügbarkeit aufgrund schrumpfender Ressourcen und Verschmutzung ab. Es wird prognostiziert, dass die verfügbaren Oberflächenwasserressourcen auf kontinentaler Ebene in etwa konstant bleiben, obwohl sich die Qualität verschlechtern und die räumliche und zeitliche Verteilung verändern wird. Wahrscheinlicher ist, dass die Grundwasserleiter schrumpfen werden und das Eindringen von Salz in die Küstengebiete sehr dramatisch sein wird. Im Gegensatz dazu werden das Bevölkerungswachstum, das Bruttoinlandsprodukt (BIP) und der Wasserbedarf weltweit und ungleichmäßig zunehmen. Die Veränderungen werden auf subregionaler Ebene viel ausgeprägter sein als auf Länderebene und im globalen Durchschnitt (Boretti und Rosa 2019, Gleick und Coley 2021, Wada et al. 2016).

### **7.1.3. Andere ökologische Veränderungen bis 2050**



Co-funded by  
the European Union



Veränderungen in den Ökosystemen werden durch Veränderungen des Wasserbedarfs und der Wasserverfügbarkeit beeinflusst und . Die Erhaltung oder Wiederherstellung der Ökosysteme wird sich auf die Verfügbarkeit von Wasser für den menschlichen Verbrauch auswirken, sowohl in Bezug auf die Ressourcen als auch auf die Qualität. Etwa 30 % der globalen Landfläche sind bewaldet, und 65 % dieser Fläche befinden sich bereits in einem degradierten Zustand (FAO 2015, Boretti und Rosa 2019). Große Flächen von Wäldern und Feuchtgebieten wurden in Grasland umgewandelt, um Vieh zu weiden oder Getreide anzubauen. Der Verlust natürlicher Feuchtgebiete liegt seit 1700 bei 87 %. Der Verlust von Feuchtgebieten hat sich im 20. und frühen 21. Jahrhundert um 370 % beschleunigt (Davidson 2014, Boretti und Rosa 2019). Auch die Böden verändern sich. Die meisten Böden der Welt befinden sich in einem mittelmäßigen, schlechten oder sehr schlechten Zustand (FAO 2015, Boretti und Rosa 2019), und es wird erwartet, dass sich die Situation in Zukunft noch verschlechtert. Die wichtigsten globalen Probleme sind die Bodenerosion, der Verlust an organischem Kohlenstoff und das Ungleichgewicht der Nährstoffe im Boden. Derzeit werden durch die Bodenerosion von Ackerflächen jedes Jahr 25 bis 40 Milliarden Tonnen Boden abgetragen. Die Ernteerträge und die Fähigkeit des Bodens, Wasser, Kohlenstoff und Nährstoffe zu regulieren, gehen zurück. 23 bis 42 Millionen Tonnen Stickstoff und 15 bis 26 Millionen Tonnen Phosphor werden gegenwärtig aus dem Boden abtransportiert. Bodenerosion und Nährstoffabfluss haben negative Auswirkungen auf die Wasserqualität. Sodizität und Salzgehalt der Böden sind sowohl in bewässerten als auch in unbewässerten Gebieten ein globales Problem. Sodizität und Salzgehalt vernichten jedes Jahr 0,3 bis 1,5 Millionen Hektar Ackerland (FAO 2015, Boretti und Rosa 2019). Auch das Produktionspotenzial wird um 20 bis 46 Mio. ha verringert. Die Verschlechterung der Ökosysteme, der biologischen Vielfalt und der Böden voraussichtlich bis 2050 anhalten, und zwar in immer schnellerem Tempo. Dies wird sich auf die Verfügbarkeit und Qualität von Wasser auswirken.

Da die Nachfrage nach sauberem Wasser steigt und die Verfügbarkeit von sauberem Wasser sinkt, wobei die Situation auf lokaler Ebene viel schlimmer ist als auf globaler Ebene, die Nachfrage nach sauberem Wasser die Verfügbarkeit von sauberem Wasser auf lokaler Ebene viel früher übersteigen als auf globaler Ebene. In vielen Gebieten der Welt könnte dieser Punkt bereits vor 2050 erreicht sein. Wenn eine lebenswichtige Ressource knapp ist, werden die Menschen um sie kämpfen, und die Wasserversorgung bis 2050 wird sehr wahrscheinlich vor einem sozialen Hintergrund des Wettbewerbs und wahrscheinlich eines Konflikts stattfinden, wenn nichts getan wird, um eine Wasserkrise zu verhindern (Boretti und Rosa 2019).

#### **7.1.4. Wasserangebot und -nachfrage in den Partnerländern**

**Türkei:** Der durchschnittliche Jahresniederschlag in der Türkei beträgt etwa 574 mm, was einer Wassermenge von etwa 450 Milliarden Kubikmetern (BCM) entspricht. Das Oberflächenwasserpotenzial, das für verschiedene Zwecke genutzt werden kann, beträgt unter den heutigen technischen und wirtschaftlichen durchschnittlich 94 Mrd. Kubikmeter/Jahr. Das verbrauchbare Oberflächen- und Grundwasserpotenzial der Türkei beträgt 112 BCM/Jahr, wovon 57 BCM genutzt werden (Tabelle 7.1).



**Tabelle 7.1.** Wasserpotenziale der Türkei (DSI, 2018: <http://www.dsi.gov.tr/>)

Mittlerer Jahresniederschlag (mm/Jahr)		574
Fläche der Türkei (km <sup>2</sup> )		783 577
Gesamtwassermenge (BCM)		450
Jährlicher Abfluss (BCM)		186
Nutzbares Oberflächenwasser (BCM)		94
Jährlich entnommenes Grundwasser (BCM)		18
Gesamtes nutzbares Wasserpotenzial (BCM)		112
Derzeitige Wassernutzung	Landwirtschaft (BCM)	44 (%77)
	Inland und Industrie (BCM)	13 (%23)
	Insgesamt (BCM)	57 (%100)

Die Türkei ist eines der am stärksten von der Wassersicherheit bedrohten Länder in Europa. Aufgrund des raschen Bevölkerungswachstums von 28 Millionen in den 1960er Jahren auf 84 Millionen im Jahr 2023 sank die Verfügbarkeit von Wasserressourcen von etwa 4000 m<sup>3</sup> auf heute 1333 m<sup>3</sup> pro Kopf und Jahr (DSI, 2018). Die Wassernachfrage in der Türkei hat sich in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts ungefähr verdoppelt. Der Gesamtwasserbedarf in der Türkei steigt weiter an, vor allem angesichts der Auswirkungen von Dürren (oder des Klimawandels). Die Türkei wird in den nächsten Jahren unter Wasserknappheit leiden. Es wird erwartet, dass die Wasserverfügbarkeit im Jahr 2050 aufgrund des Bevölkerungswachstums und der Auswirkungen des Klimawandels auf etwa 1000 m<sup>3</sup> zurückgehen wird (SYGM, 2016).

Etwa 77 % der gesamten Wasserversorgung der Türkei wird für die landwirtschaftliche Bewässerung verwendet, die restlichen 23 % werden für Trink-, Haushalts- und Industriezwecke genutzt (DSI, 2018).

Nach beiden Szenarien, dem optimistischen und dem pessimistischen, wird die Niederschlagsmenge in der Türkei in den Jahren 2015-2100 voraussichtlich abnehmen. Ab 2050 werden stärkere Rückgänge von bis zu 250-300 mm vorhergesagt (durchschnittlich 60 mm). Negative Niederschlagsanomalien fallen vor allem an der Ägäis- und Mittelmeerküste sowie in den Regionen im Südosten und Osten auf. Eine Zunahme der Gesamtniederschlagsmenge und extremer Niederschlagsereignisse wird erwartet in



im Osten des Schwarzen Meeres. Es wird ein erheblicher Rückgang der schneebedeckten Flächen und der Schneefallmenge vorhergesagt (SYGM, 2016).

Für die Jahre 2030, 2050 und 2100 wurden Veränderungen des Abflusses zwischen -52 % und -61 % und eine Verringerung des Oberflächenwassers in den türkischen Einzugsgebieten um 20 %, 35 % und 50 % geschätzt. Bis zum Jahr 2100 könnte es in der Türkei zu einer Ausdehnung der Trockengebiete kommen, was zu einem erhöhten Wasserstress in den südlichen Mittelmeerregionen führen könnte (Bozkurt und Sen, 2012).

**Österreich:** Österreich ist geprägt von einem hohen Wasserdargebot. Sie entwickeln sich über Quellen und Wasserfälle zu Gebirgsbächen und Flüssen, speisen Seen, prägen die Landschaft und sind unsichtbar im Untergrund als Grundwasser gespeichert (Bundesministerium Republik Österreich - Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2021)

Die jährliche Gesamtniederschlagsmenge von 1190 mm, die im langjährigen Mittel auf dem Bundesgebiet fällt, entspricht einer Wassermenge von etwa 99,8 Mrd. m<sup>3</sup>. Von dieser Menge fließt ein großer Teil oberflächlich bzw. oberflächennah über die Fließgewässer ab oder verdunstet. Im österreichischen Durchschnitt versickert ein Anteil von fast 27 % des Niederschlages im Grundwasser und wird dort mittel- oder langfristig zwischengespeichert.

Der gesamte jährliche Wasserbedarf in Österreich beläuft sich auf etwa 3,1 Mrd. m<sup>3</sup> (siehe Tabelle 7.2). Die mögliche Entwicklung bis 2050 ist in Tabelle 7.3 dargestellt.

Etwa 60 % - das sind rund 1,9 Mrd. m<sup>3</sup> - werden den Oberflächengewässern entnommen. Der größte Teil davon wird als Kühlwasser für Gewerbe und Industrie verwendet, ein kleinerer Teil wird in der Landwirtschaft und für Dienstleistungen (Beschneigung) genutzt.

Etwa 40 % des gesamten Wasserbedarfs - das sind etwa 1,2 Mrd. m<sup>3</sup> - werden durch Grundwasser gedeckt (68 % Brunnen, 32 % Quellen). Der größte Anteil wird für die Wasserversorgung verwendet, ein kleinerer Anteil entfällt auf Gewerbe und Industrie sowie auf Landwirtschaft und Dienstleistungen.

**Tabelle 7.2.** Wasserbedarf in Millionen Kubikmetern (MCM) derzeit Wasserbedarf

<b>Wasserbedarf (MCM)</b>	<b>Grundwasser Insgesamt (MCM)</b>	<b>Oberflächengewässer (MCM)</b>	<b>Insgesamt (MCM)</b>	<b>Anteil an der Gesamtsumme (%)</b>
<b>Wasserversorgung</b>	753		753	24
<b>Landwirtschaft</b>	118	6	124	4
<b>Handel und Industrie</b>	353	1857	2210	70
<b>Ausgewählte Dienstleistungen</b>	7	45	52	2



<b>Insgesamt</b>	<b>1232</b>	<b>1908</b>	<b>3140</b>	<b>100</b>
------------------	-------------	-------------	-------------	------------

Die Annahmen für das Jahr 2050 gehen davon aus, dass die Nachfrage für Handel und Industrie in etwa gleich bleiben wird, während die Nachfrage für die Wasserversorgung des landwirtschaftlichen Sektors und ausgewählter Dienstleistungen steigen wird und die Gesamtwassernachfrage im Bereich von 3312 - 3359 MCM für das Wasserschutz-Szenario "günstig" bzw. "ungünstig" liegen wird.

**Tabelle 7.3.** Mögliche Entwicklung des Wasserbedarfs in Mio. m<sup>3</sup> bis 2050

<b>Wasserbedarf (MCM)</b>	<b>Derzeit (MCM)</b>	<b>Szenarien 2050 (MCM)</b>	<b>Veränderung des Wassers Nachfrage (%)</b>
Wasserversorgung	753	830-850	10.2-12.9
Landwirtschaft	124	182-202	46.8-62.9
Handel und Industrie	2210	2237	-
Ausgewählte Dienstleistungen	52	63-70	21.2-34.6
<b>Insgesamt</b>	<b>3140</b>	<b>3312 - 3359</b>	<b>5.5-7.0</b>

**Tschechische Republik:** Der langfristige durchschnittliche Jahresniederschlag in der Tschechischen Republik beträgt 2017 mm/Jahr, was einem Wasserpotenzial von 53,4 BCM/Jahr für das gesamte Land entspricht.

Die Summe der erneuerbaren Grundwasser- und Oberflächenwasserressourcen (sowohl intern als auch extern) beläuft sich auf etwa 13 Mrd. m<sup>3</sup>/Jahr, d. h. 1215 m<sup>3</sup>/Person/Jahr (Tabelle 7.4).

**Tabelle 7.4.** Wasser potenziale von Tschechischen Republik (<https://www.worldometers.info/water/czechia-water/#water-precipitation>)

Mittlerer Jahresniederschlag (mm/Jahr)	2017	
Fläche der Tschechischen Republik (km <sup>2</sup> )	78.871	
Gesamtwassermenge (BCM)	53.4	
Erneuerbares Wasser insgesamt (Oberflächen- und Grundwasser, beide intern und extern) (BCM)	13	
Derzeitige Wassernutzung	Landwirtschaft (MCM)	44.5 (%3)
	Industrie (MCM)	981.8 (%60)
	Inländisch (MCM)	605.6 (%37)
	<b>Insgesamt (MCM)</b>	<b>1.635 (100)</b>

Die mittel- und nordeuropäischen Länder, einschließlich der Tschechischen Republik, verzeichnen einen Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Wasserverfügbarkeit (Bisselink et al. 2020).



**Polen:** Der langfristige durchschnittliche Jahresniederschlag in Polen beträgt 600 mm/Jahr, was einem Wasserpotenzial von 187,6 BCM/Jahr für das gesamte Land entspricht (Tabelle 7.5).

Die Summe der erneuerbaren Grundwasser- und Oberflächenwasserressourcen (sowohl intern als auch extern) beläuft sich auf etwa 61 Mrd. m<sup>3</sup>/Jahr, das sind 1585 m<sup>3</sup>/Person/Jahr.

**Tabelle 7.5.** Wasserpotenziale von Polen  
(<https://www.worldometers.info/water/poland-water/#water-resources>)

Mittlerer Jahresniederschlag (mm/Jahr)		600
Fläche der Tschechischen Republik (km <sup>2</sup> )		312.696
Gesamtwassermenge (BCM)		187.6
Gesamtmenge an erneuerbarem Wasser (Oberflächen- und Grundwasser, sowohl intern als auch extern) (BCM)		61
Derzeitige Wassernutzung	Landwirtschaft (BCM)	1.053 (%10)
	Industrie (BCM)	7.483 (%71)
	Inländisch (BCM)	2.046 (%19)
	<b>Insgesamt (BCM, %)</b>	<b>10.58 (100)</b>

Die mittel- und nordeuropäischen Länder, einschließlich Polen, verzeichnen einen Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Wasserverfügbarkeit (Bisselink et al. 2020).

### 7.1.5. Wasserknappheit

Wasserstress kann qualitativ definiert werden als der Mangel an ausreichendem Süßwasser für den häuslichen, landwirtschaftlichen und/oder industriellen Bedarf. Wasserstress kann aus einer Übernutzung der Wasservorräte aufgrund von Bevölkerungswachstum, Industrialisierung und/oder fehlenden Konservierungspraktiken resultieren, aber auch aus verringerten Niederschlägen aufgrund von Klimaveränderungen und/oder mangelnder Speicherkapazität in Gebieten, die im Laufe des Jahres unterschiedliche Wassermengen erhalten. Aufbauend auf der Arbeit von Falkenmark (Falkenmark 1986) definieren die weltweiten Hilfsorganisationen Bedingungen von "Wasserstress" üblicherweise als weniger als 1700 m<sup>3</sup> verfügbares Wasser pro Person und Jahr und "schwerer Wasserstress" als weniger als 1000 m<sup>3</sup> pro Person und Jahr.



Co-funded by  
the European Union



Die drei Hauptaspekte der Wasserknappheit - Wasserbedarf, Wasserressourcen und Wasserverschmutzung - sind eng mit dem Bevölkerungs- und verbunden. Sie sind eng miteinander verknüpft und variieren dramatisch in Raum und Zeit, wobei die lokalen Bedingungen viel schlimmer sein werden als die globalen Bedingungen. Viele Faktoren sind für die Wasserknappheit ausschlaggebend, darunter die grundlegende Hydrologie einer Region, die demografischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten, das Ausmaß und die Art der Wasserinfrastruktur und der Institutionen, die zur Befriedigung des menschlichen Bedarfs errichtet wurden, sowie die Art des Bedarfs selbst (Gleick und Cooley 2021).

**Hydrologie:** Ein vorübergehendes regionales Ungleichgewicht der Feuchtigkeit wird als Dürre bezeichnet. Sie ist im Grunde ein Klimaphänomen, das als Wasserknappheit definiert ist. Es gibt viele verschiedene Arten von Dürre, darunter hydrologische, meteorologische, landwirtschaftliche und wirtschaftliche. Hydrologische und meteorologische Dürre kann beispielsweise definiert werden als ein Defizit an Abfluss, Grundwasser, Niederschlag oder einer anderen wasserbezogenen Kennzahl im Vergleich zur durchschnittlich erwarteten Wassermenge. Eine landwirtschaftliche Dürre kann ein Wassermangel während einer besonders kritischen Zeit sein, die für die erfolgreiche Produktion einer Kulturpflanze erforderlich ist. Eine soziale oder wirtschaftliche Dürre kann im Zusammenhang mit einer bestimmten sozialen oder wirtschaftlichen Nachfrage nach Wasser definiert werden, wenn diese Nachfrage nicht vollständig befriedigt werden kann. Eine ökologische Dürre ist ein Defizit an natürlich verfügbaren Wasservorräten, das zu Belastungen in den Ökosystemen führt (Mann und Gleick 2015; Wilhite und Glantz 1985).

**Demografische und wirtschaftliche Faktoren:** Wenn die Bevölkerung wächst, nimmt die pro Kopf verfügbare Wassermenge ab. Die einfache Kennzahl - die Wasserverfügbarkeit pro Kopf (Wasser pro Bevölkerungseinheit) - ist eine gängige Methode zur Messung von Wasserknappheit. Mit dem Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum ist traditionell auch die Wassernachfrage gestiegen, was zu messbaren und bedeutenden neuen Beiträgen zu Knappheit und Ungleichgewichten zwischen Angebot und Nachfrage führt. Wirtschaftliche Faktoren können ebenfalls zu einer wahrgenommenen Knappheit führen, wenn Menschen aus Armutgründen nicht in der Lage sind, für die von ihnen benötigten Wasserdienstleistungen zu bezahlen und ihnen der Zugang zu diesen Dienstleistungen verwehrt wird (Molle und Mollinga 2003).

**Infrastruktur und Institutionen:** Selbst wenn die physische oder wirtschaftliche Verfügbarkeit von Wasser kein Problem darstellt, kann es dennoch zu Wasserknappheit kommen, wenn eine unzureichende Infrastruktur vorhanden ist oder Probleme mit Institutionen und Wasserbewirtschaftungssystemen verhindern, dass die gewünschten Wasserdienstleistungen den Punkt der Nachfrage erreichen. Ein weiterer Aspekt der institutionellen Knappheit besteht darin, dass die Wasserpolitik die nutzbaren Wassermengen einschränkt, z. B. wenn Bemühungen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Ökosystemen dazu führen, dass Wasser für die Umwelt gebunden wird, das zuvor vom Menschen genutzt werden konnte (Fischhendlen und Zilberman 2005).



Co-funded by  
the European Union



**Klimawandel:** Der vom Menschen verursachte Klimawandel beschleunigt sich. Wasser und Klimawandel sind untrennbar miteinander verbunden. Extreme Wetterereignisse führen dazu, dass Wasser knapper, unberechenbarer oder verschmutzter wird - oder alle drei Faktoren zusammen. Diese Auswirkungen auf den gesamten Wasserkreislauf bedrohen die nachhaltige Entwicklung, die biologische Vielfalt und den Zugang der Menschen zu Wasser und sanitären Einrichtungen.

Zu den nun unvermeidlichen Folgen gehören grundlegende Veränderungen im Wasserkreislauf, einschließlich der Zunahme der Evapotranspiration bei steigenden Temperaturen, regionale Verschiebungen der Wasser- und Eisvorräte und -ströme, Veränderungen der Intensität und Schwere von Extremereignissen wie Dürren und Überschwemmungen, Verschiebungen im Süßwasserhaushalt von Küstengrundwasserleitern und Flussmündungen bei steigendem Meeresspiegel und vieles mehr (Field et al. 2014.). Der Klimawandel wird auch direkte und indirekte Auswirkungen auf die Wasserknappheit haben, indem er sowohl das Angebot als auch die Nachfrage nach Süßwasser verändert. Obwohl die Klimamodelle immer besser werden, bestehen nach wie vor Ungewissheiten über die detaillierten langfristigen Auswirkungen des Klimawandels auf die regionale und lokale Hydrologie. Mit der Verschärfung des Klimawandels werden die Risiken der Wasserknappheit für Hunderte Millionen Menschen voraussichtlich zunehmen, sofern keine größeren Anstrengungen zur Verringerung der Knappheitsrisiken unternommen werden (Gampe et al. 2016).

## **7.2. AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE LANDWIRTSCHAFTLICHE WASSERWIRTSCHAFT**

Die Landwirtschaft ist der Sektor, der am stärksten vom Klimawandel betroffen sein könnte, da die Anbau- und Viehhaltungssysteme entscheidend von klimatischen Variablen wie Niederschlag und Temperatur abhängen. Der Klimawandel wirkt sich insbesondere auf den landwirtschaftlichen Wasserbedarf, die Wasserverfügbarkeit und die Wasserqualität aus (Kundzewicz et al. 2007, Cai et al. 2015). Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft wurden in mehreren aktuellen Sonderberichten internationaler Organisationen wie der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Turrall et al. 2011), dem International Food Policy Research Institute (IFPRI) (Nelson et al. 2009) und dem IPCC (2013, 2014) bewertet. Kürzlich veröffentlichten Cai et al. (2015) eine Übersicht über die Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Wasserbewirtschaftung. Diese Studien kommen alle zu einem gemeinsamen Ergebnis: Der Klimawandel wird sich wahrscheinlich negativ auf die Landwirtschaft auswirken und damit die globale Ernährungssicherheit gefährden (Cai et al. 2015).

Der Klimawandel kann sowohl die Wasserverfügbarkeit als auch den Wasserbedarf von Pflanzen infolge von Temperatur- und Niederschlagsveränderungen auf lokaler und regionaler Ebene erheblich verändern. Der Wasserbedarf von Pflanzen wird in der Regel anhand der Evapotranspiration (ET) gemessen, der Summe aus Verdunstung und Transpiration der Pflanzen von der Landoberfläche in die Atmosphäre. Wasserverfügbarkeit,



Co-funded by  
the European Union



einschließlich Niederschlag und Bewässerung, den Wasserbedarf der Pflanzen decken kann, ist ein wichtiger Faktor für die Pflanzenproduktion (Cai et al. 2015).

### 7.2.1. Wasserbedarf der Pflanzen (ET) unter dem Klimawandel

Die ET von Pflanzen kann bei Regenkulturen vollständig oder teilweise durch Niederschlag gedeckt werden, der von den Pflanzen effektiv genutzt werden kann (d. h. effektiver Niederschlag), und bei bewässerten Kulturen sowohl durch Niederschlag als auch durch Bewässerung. Das Wasserdefizit von Regenfeldbaukulturen (d. h. die Differenz zwischen ET und effektivem Niederschlag) reagiert empfindlich auf Klimaprojektionsszenarien (Zhang und Cai 2013).

Zhang und Cai erläuterten ihre Ergebnisse, indem sie den Trend der ET der Pflanzen aufzeigten. Normalerweise wird angenommen, dass steigende Temperaturen zu einem höheren Verdunstungsbedarf führen; eine wärmere Atmosphäre verursacht jedoch nicht unbedingt eine höhere Verdunstung (Zhang und Cai 2013, Ohmura und Wild 2002). Dies liegt wahrscheinlich daran dass der beobachtete Rückgang der ET unter wärmeren Klimabedingungen der Rückgang der täglichen Temperaturspanne (DRT, definiert als die Differenz zwischen der täglichen Höchsttemperatur und der täglichen Mindesttemperatur) ist; die jüngsten IPCC-Berichte (2014 Teil A und Teil B) haben gezeigt, dass der Rückgang der DTR ein Hauptfaktor ist, der zum Rückgang der ET führt.

Die regionalen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserbedarf von Pflanzen sind sehr unterschiedlich. Es lassen sich einige Muster in Bezug auf den Bewässerungsbedarf und das Wasserdefizit bei Regenfeldbaukulturen erkennen. In Afrika, Australien und China ist mit einem geringeren Wasserbedarf zu rechnen, während andere Regionen - Europa, Nordindien, der östliche Teil Südamerikas und der Osten der Vereinigten Staaten - vom Klimawandel negativ beeinflusst werden könnten (Zhang und Cai 2013).

Der Bedarf und die Defizite werden in Westeuropa abnehmen, in Osteuropa jedoch zunehmen; in Südeuropa ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass aufgrund der veränderten Niederschläge größere Wasserlücken entstehen als im Norden. In den Mittelmeerländern (Portugal, Spanien und Türkei) und einigen Teilen Mittel- und Osteuropas wird der Wasserstress wahrscheinlich zunehmen (Bates et al. 2008).

Nach den Ergebnissen einer in der türkischen Region Thrakien durchgeführten Untersuchung (Deveci 2015) wurden die durchschnittlichen ETo-Werte im Jahr 2012 nach der Penman-Monteih-Methode (Allen et al. 1998) mit 3,0 mm/Tag berechnet. In Anbetracht der Prognosen zum Klimawandel wird erwartet, dass ETo zwischen 2016 und 2025 auf 3,2 mm (7 %) ansteigen wird; auf 3,6 mm (20 %) zwischen 2046-2055 und 4,0 mm (33%) zwischen 2076 und 2085.

Die Veränderung des Zeitpunkts der Wachstumsperiode für bestimmte Kulturen erschwert auch die Schätzung des Bewässerungsbedarfs unter dem Klimawandel (Mínguez et al. 2007). Steigende Temperaturen würden die Wachstumsperiode verlängern, was sowohl eine frühere Aussaat als auch eine



Co-funded by  
the European Union



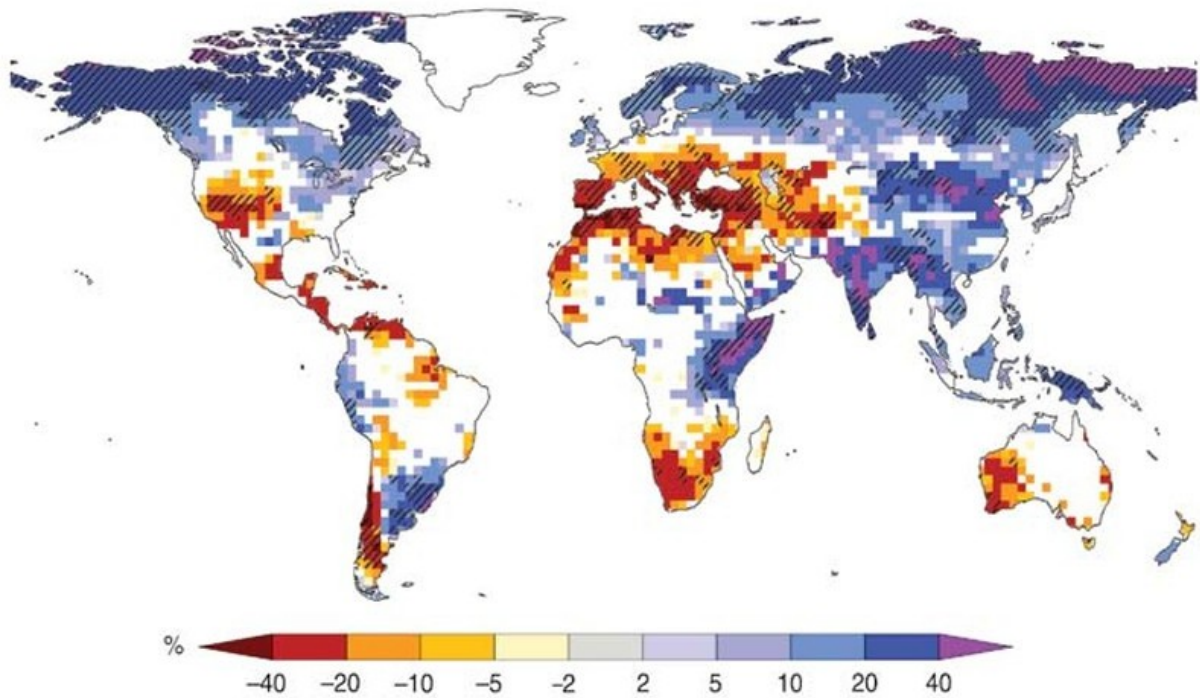
in den nördlichen gemäßigten Zonen später geerntet werden, aber fast überall sonst kürzer ausfallen (Turrall et al. 2011). Längere Wachstumsperioden werden wahrscheinlich den Wasserbedarf der Pflanzen erhöhen. Außerdem kann eine Kulturpflanze in einer bestimmten Region ungeeignet werden, wenn sich das Klima ändert. Solche Veränderungen in der Landwirtschaft machen die Schätzungen des Wasserbedarfs von Pflanzen komplizierter. Anpassungsmaßnahmen wie angepasste Anbaupläne, eine effizientere Wassernutzung und fortschrittliche Bewässerungstechnologien können den Wasserbedarf der Pflanzen weiter senken (Cai et al. 2015).

### 7.2.2. Wasserverfügbarkeit im Klimawandel

In der Landwirtschaft wird das für Regenkulturen verfügbare Wasser als grünes Wasser bezeichnet, d. h. das im Boden gespeicherte Wasser, das für das Pflanzenwachstum genutzt werden kann, während das für bewässerte Kulturen verfügbare Wasser sowohl grünes als auch blaues Wasser (d. h. Wasser in Flüssen, Seen und Aquiferen) umfasst (Falkenmark und Rockström 2006). Die Veränderung der Niederschläge, einschließlich der Gesamtmenge und der jahreszeitlichen Verteilung, wird ein entscheidender Faktor für Regenfeldbau sein. Die Bewässerung ist eine Maßnahme zur Abschwächung der Auswirkungen des Wassermangels während der Wachstumsphase der Pflanzen durch die Entnahme von blauem Wasser aus Oberflächen- oder Grundwasserquellen. Lokale und regionale Veränderungen bei Niederschlag und Temperatur beeinflussen das für die Bewässerung verfügbare Wasser (Schewe et al. 2014, Rosegrant 2002).

**Oberflächenwasser:** Die Auswirkungen des Klimawandels auf Oberflächenwasserressourcen in Flüssen, Seen und Stauseen sowie Feuchtgebieten werden in erster Linie durch den Zeitpunkt, den Ort, die Menge und die Form (Schnee oder Regen) der Niederschläge bestimmt (Bates et al. 2008). Lokale Muster sind beim Niederschlag variantenreicher und wichtiger als die Temperatur.

Änderungen der Niederschläge und der Temperatur führen zu Änderungen des Abflusses und der Wasserverfügbarkeit (Abbildung 7.3). Es wird mit hoher Wahrscheinlichkeit prognostiziert, dass der Abfluss bis zur Mitte des Jahrhunderts in höheren Breiten und in einigen feuchten tropischen Gebieten, einschließlich der bevölkerungsreichen Gebiete in Ost- und Südostasien, um 10 bis 40 % zunehmen und in einigen trockenen Regionen in den mittleren Breiten und in den trockenen Tropen um 10 bis 30 % abnehmen wird, was auf den Rückgang der Niederschläge und höhere Evapotranspirationsraten zurückzuführen ist. Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass viele semiaride Gebiete (z. B. das Mittelmeerbecken, der Westen der Vereinigten Staaten, das südliche Afrika und der Nordosten Brasiliens) aufgrund des Klimawandels unter einem Rückgang der Wasserressourcen leiden werden (IPCC 2007).



**Abbildung 7.3.** Großräumige relative Veränderungen des jährlichen Abflusses (Wasserverfügbarkeit, in Prozent) für den Zeitraum 2090-2099, im Vergleich zu 1980-1999 (Quelle: IPCC 2007, SYR Abb.3.5).

Viele groß angelegte Bewässerungssysteme in der Welt hängen von Oberflächenwasser ab, und die Auswirkungen des Klimawandels können durch Fragen der Wasserzuteilung auf der Ebene der Flusseinzugsgebiete und der internationalen Wasseraufteilung in vielen Regionen kompliziert werden (Cai et al. 2015, Turrall et al. 2011).

**Schnee und Gletscher:** Gletschereis gilt als das größte Süßwasserreservoir der Erde, das etwa 70 % des weltweiten Süßwassers "speichert". Das als Gletschereis/Schnee gespeicherte Wasser gilt als hydrologische Versicherung für eine Region, insbesondere für die Landwirtschaft. Viele Bewässerungssysteme in der Welt sind auf den Wasserfluss aus der Schneeschmelze in den flussaufwärts gelegenen Gletschergebieten während der Erntezeit angewiesen. Erhöhte Temperaturen im Winter oder im zeitigen Frühjahr erhöhen den Wasserfluss vor und/oder nach der Erntesaison, verringern aber den Wasserfluss innerhalb der Erntesaison (Cai et al. 2015).

Die Auswirkungen der Erwärmung werden den Wasserkreislauf in schneebedeckten Regionen wahrscheinlich erheblich verändern. Es wurde mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen, dass der Temperaturanstieg die jahreszeitlichen Abflussregime der Flüsse dort verändern wird, wo sich die Form der Winterniederschläge von Schnee auf Regen verlagert. Dies wird in vielen kontinentalen und gebirgigen Regionen den Zeitpunkt der Spitzenabflüsse aus der Schneeschmelze verändern. Dies hat zur Folge, dass der Winterabfluss aufgrund der früheren Schneeschmelze zunimmt, während der Sommerabfluss abnimmt. Orte in niedrigeren Lagen mit geringen Schneemengen reagieren empfindlicher auf diesen Effekt, und die Abflussspitzen könnten mindestens



Co-funded by  
the European Union



in vielen Fällen einen Monat früher. Da die Speicherkapazität der Stauseen nicht ausreicht, um diese Verschiebung des maximalen Abflusses zu bewältigen, wird der größte Teil des "frühen Wassers" verschwendet werden und in den Ozean gelangen (Kundzewicz et al. 2007, Barnett et al. 2005, IPCC 2013, Cai et al. 2015).

So wird nach den Projektionen zum Klimawandel in der Türkei ein Rückgang der schneebedeckten Flächen und der Schneemengen vorhergesagt. Die Abnahme der Schneedeckendicke im Winter und Frühjahr in der Osttürkei deutet auf eine Veränderung des Charakters der Niederschläge hin. Die Abnahme der Schneemenge in der Region Ostanatolien kann in den Frühlings- und Sommermonaten, wenn die Schmelze heute stattfindet, zu einem erheblichen Rückgang der Durchflussmengen der Flüsse führen. Dies wird zu wirtschaftlichen Verlusten in der türkischen Landwirtschaft und im Energiesektor führen. Die zunehmende Evapotranspiration, insbesondere aufgrund des Temperaturanstiegs, wird den Bedarf an Bewässerung in der Landwirtschaft erhöhen (SYGM 2016, Konukcu et al. 2019).

**Grundwasservorkommen:** Grundwasser ist für die Wassersicherheit vieler Gemeinden von entscheidender Bedeutung, da es bei extremen Klimaereignissen als Puffer dient. In vielen Regionen ist die Bewässerung der Hauptnutzer des Grundwassers. Die umfangreiche Grundwasserförderung für die Bewässerung hat jedoch bereits zu einer Erschöpfung des Grundwassers geführt, und die Situation kann sich in Zukunft aufgrund des Klimawandels noch verschärfen, was die Nachhaltigkeit des Grundwassers bedroht (Taylor et al. 2013).

Klimavariabilität und -wandel beeinflussen Grundwassersysteme direkt durch die Grundwasseranreicherung und indirekt durch die Veränderung der Grundwasserentnahme für die menschliche Wasserversorgung (Taylor et al. 2013). Erwärmungseffekte auf die Gletscherschmelze, die den Abfluss im Frühjahr erhöhen und im Sommer verringern können, können die Nachfrage nach Grundwasser weiter erhöhen. Diese Situation könnte sich durch die zunehmende Häufigkeit von Dürren und anderen extremen Klimaereignissen noch verschärfen (Hagg et al. 2007). Darüber hinaus wird der Klimawandel aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels und des Eindringens von Salzwasser in die Grundwasserleiter eine große Gefahr für die Grundwasserressourcen auf Inseln und in Küstengebieten darstellen (Bates et al. 2008).

Daher können zusätzliche Speicherkapazitäten für Oberflächenwasser sowie die künstliche Anreicherung des Grundwassers vor und nach der Wachstumsphase der Pflanzen, insbesondere in nassen Jahren, wirksame Maßnahmen sein, um die hydrologische Versicherung in einigen Regionen zu verbessern.

**Bodenfeuchtigkeit:** Regenfeldbau hängt von der Bodenfeuchtigkeit ab, die eine wichtige Variable des Klimasystems ist. Die Bodenfeuchtigkeit wird durch andere Klimavariablen wie Niederschlag, Temperatur und Windgeschwindigkeit sowie durch die physikalischen Bedingungen des Bodens beeinflusst. Daher kann der prognostizierte Klimawandel erhebliche Auswirkungen auf die Bodenfeuchtigkeit auf lokaler und regionaler Ebene haben (Seneviratne et al. 2010, Cai et al. 2015). Ein solcher Wandel kann sich entweder positiv oder negativ auswirken



Co-funded by  
the European Union



unmittelbare Auswirkungen auf Regenfeldbaukulturen. Kleinmaßstäbliche Projekte zur Ernte von Niederschlägen sind ein Schlüssel zur Abschwächung der Auswirkungen von Veränderungen der Niederschlagsmenge und der zeitlichen Verteilung (Turrall et al. 2011, IPCC 2013).

### 7.2.3. Wasserqualität

Die Verfügbarkeit von Wasser für die menschliche Gesellschaft und die Umwelt hängt nicht nur von der Wassermenge, sondern auch von der Wasserqualität ab, da Wasserqualität und -menge miteinander verbunden sind und sich gegenseitig beeinflussen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserqualität sind jedoch im Vergleich zur Wassermenge nicht ausreichend untersucht worden (Kundzewicz et al. 2007, Bates et al. 2008). Der Klimawandel wirkt sich über die Veränderung der Wassertemperaturen in den Gewässern direkt auf die Wasserqualität aus. Andererseits sind menschliche Aktivitäten in der Landwirtschaft und anderen Sektoren in erster Linie indirekt für die Verschlechterung der Wasserqualität verantwortlich, nämlich durch die Entsorgung von Abwässern.

Es gibt viele Gründe für die Verschlechterung der Wasserqualität durch landwirtschaftliche Aktivitäten im Zuge des Klimawandels: i) Bodenerosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, ii) Versalzung des Wassers in Küstenregionen aufgrund übermäßiger Wasserentnahme aus Grundwasserleitern, was zu Salzwasserintrusion führt, die durch den Anstieg des Meeresspiegels infolge der globalen Erwärmung noch verstärkt werden kann, iii) Landnutzung und -bewirtschaftung, einschließlich Bodenbearbeitung und Düngung sowie Pestizideinsatz, iv) Bewässerung mit Wasser aus Kläranlagen während Dürreperioden, v) Bewässerungsrückfluss in Gebieten mit erhöhtem Bewässerungswasserverbrauch, insbesondere durch traditionelle Bewässerungssysteme wie Flutungssysteme (Cai et al. 2015).

Die Landwirtschaft wird sich auf längere Vegetationsperioden in Verbindung mit einer geringeren Wasserverfügbarkeit einstellen müssen, wobei neue Kulturen, die an trockenere, wärmere Bedingungen angepasst sind, geringere Mengen an Abwassereinleitungen mit höheren Konzentrationen zur Folge haben. Pläne zur Bewältigung unerwünschter Auswirkungen auf die Wasserqualität, insbesondere im Zusammenhang mit der Landwirtschaft, erfordern die Integration von Maßnahmen, die vom Schutz der Wasserressourcen über Anpassungen in der Landwirtschaft bis hin zu Betriebsverfahren in anderen Sektoren wie Wasserversorgung, Stadtentwässerung und Klärsystemen reichen, die sich aufgrund des Klimawandels verändern können (Murdoch et al. 2000, Cai et al. 2015).

### 7.2.4. Extreme Klimaereignisse

Der Klimawandel beeinflusst nicht nur langfristige Trends und Verschiebungen von Klimavariablen wie Temperatur und Niederschlag, sondern auch die Häufigkeit, Intensität und Dauer von Extremereignissen. Ein extremes Klimaereignis kann definiert werden als das Auftreten eines Wertes einer Klimavariablen oberhalb (oder unterhalb) einer oberen (oder unteren) Schwelle. Zu den extremen Klimaereignissen gehören Überschwemmungen, Dürren, Hitzewellen, Hurrikane, Zyklone, Taifune und Tornados. Mehr als 70 % der



Co-funded by  
the European Union



Milliarden-Dollar-Ereignisse' in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts mit extremen Klimaereignissen zusammenhängen (Cai et al. 2015).

Die Landwirtschaft wurde durch extreme Klimaereignisse auf der ganzen Welt erheblich beeinträchtigt (Nelson et al. 2009, Turrall et al. 2011, IPCC 2012). Die Häufigkeit und Intensität dieser Extremereignisse wird sich durch den Klimawandel in Zukunft wahrscheinlich noch verstärken (IPCC 2012). Tatsächlich zeigen Beobachtungen, dass es in den letzten 60 Jahren bereits einen zunehmenden Trend bei den verschiedenen Klimaextremen gegeben hat, wie z. B. eine Zunahme der Anzahl ungewöhnlich warmer Tage und Nächte auf globaler Ebene, eine Zunahme Anzahl von Starkniederschlagsereignissen in einigen Regionen, eine polwärts gerichtete Verschiebung außertropischer Wirbelstürme und ein früheres Auftreten von Frühjahrsspitzenabflüssen in durch Schneeschmelze und Gletscher gespeisten Flüssen (IPCC 2012, Cai et al. 2015). Unter den vielen extremen Klimaereignissen werden hier die beiden für die Landwirtschaft wichtigsten, nämlich Überschwemmungen und Dürren, erörtert.

**Überschwemmungen:** Überschwemmungen waren in vielen Regionen die am häufigsten gemeldeten , von denen

140 Millionen Menschen im Durchschnitt pro Jahr (WDR, 2003, 2004). Die beobachtete Zunahme der Niederschlagsintensität und andere beobachtete Klimahochwasser deuten darauf hin, dass sich der Klimawandel bereits auf die Intensität und Häufigkeit von Hochwasser ausgewirkt haben könnte (Kron und Berz, 2007, Bates et al. 2008).

Zu den hochwassererzeugenden Prozessen gehören intensive und/oder lang anhaltende Niederschläge, Schneeschmelze, Dammbruch, verminderter Abfluss aufgrund von Eisstau oder Erdbeben oder durch Sturm. Überschwemmungen sind abhängig von der Intensität, der Menge, dem Zeitpunkt und der Phase der Niederschläge (Regen oder Schnee), den Vorbedingungen der Flüsse und ihrer Einzugsgebiete (z. B. Vorhandensein von Schnee und Eis), der Beschaffenheit und dem Zustand des Bodens (gefroren oder nicht, gesättigt oder ungesättigt), der Nässe, der Geschwindigkeit und dem Zeitpunkt der Schnee-/Eisschmelze, der Verstärkung und dem Vorhandensein von Deichen, Dämmen und Stauseen.

Überschwemmungen haben oft große Auswirkungen auf ländliche Gebiete in Form von Verlusten und Schäden, da landwirtschaftliche Flächen aufgrund ihrer Lage in oder in der Nähe von Überschwemmungsgebieten und Überschwemmungsgebieten sehr anfällig für Überschwemmungen sind. Darüber hinaus führen starke Regenfälle zu einer übermäßigen Bodenfeuchtigkeit, die die landwirtschaftliche Produktion erheblich beeinträchtigt. Übermäßige Niederschläge verursachen auch landwirtschaftliche Verluste durch Schädlinge und Pflanzenkrankheiten, verzögerte Feldarbeiten, Bodenerosion sowie Umweltprobleme wie Epidemien, das Auftreten von Blattpilzpathogenen und die Verbreitung von bodenbürtigen Krankheitserregern in nicht infizierte Gebiete (Rosenzweig et al. 2001, Cai et al. 2015).



Co-funded by  
the European Union



Hurrikane, Wirbelstürme und Taifune, die oft schwere Überschwemmungen verursachen, sind vielleicht die zerstörerischsten extremen Klimaereignisse. Sie kombinieren sehr starke Winde und sehr hohe Niederschlagsmengen und sind oft mit dem Anstieg des Meeresspiegels verbunden. Im Zuge des Klimawandels ist es wahrscheinlich, dass sich die Häufigkeit und Intensität von Wirbelstürmen in Zukunft ändern wird, aber die Unsicherheit über die Trends bleibt hoch und die Auswirkungen sind komplex (Knutson und Tuleya 2004, Cai et al. 2015).

**Dürren:** Dürre ist eine Form von Klimaextrem, die hauptsächlich mit trockenen (d. h. niederschlagsarmen) und heißen (d. h. hohen Temperaturen) Wetterbedingungen einhergeht und in einigen Extremfällen von Hitzewellen begleitet wird (Mishra und Singh 2010).

Dürren dehnen sich von meteorologischen Systemen auf landwirtschaftliche Systeme aus und können die Wassermenge, die Wasserqualität, die landwirtschaftliche Produktion (Calanca et al. 2007, Mishra und Singh 2010), die Ernährungssicherheit (Schmidhuber und Tubiello 2007) und die Wirtschaft (Wang et al. 2011) auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene erheblich beeinträchtigen. Landwirtschaftliche Dürre" bezieht sich auf Feuchtigkeitsdefizite im obersten Meter des Bodens (der Wurzelzone), die sich auf die Kulturpflanzen auswirken (Trenberth et al. 2007).

Dürreperioden verursachen in der Landwirtschaft Verluste durch verschiedene Faktoren wie Hitzestress, Insekten und Wasserdefizit. In Mittel- und Osteuropa beispielsweise sinkt die Ernteproduktivität in der Regel aufgrund der Ausbreitung von Insekten während Dürreperioden (Eitzinger et al. 2013).

In einigen Gebieten wie Süd- und Mitteleuropa, der Alpenregion, dem zentralen Nordamerika, dem Mittelmeerraum, Australien, dem südlichen Afrika, Mexiko und Nordostbrasilien wird erwartet, dass sich Dürren in Zukunft verstärken werden, obwohl es keine definitiven Beweise dafür gibt, dass Dürren in den letzten Jahren mit dem Klimawandel zu- oder abgenommen haben (Calanca et al. 2007, Wang et al. 2011, IPCC 2012, Sheffield et al. 2012, Eitzinger et al. 2013, Cai et al. 2015).

Hitzewellen gehen in der Regel mit Dürreperioden einher und sind mit anhaltend hohen Temperaturen verbunden, die schließlich zu einer Belastung für die Pflanzen- und Tierproduktion werden (Lobell et al. 2013). Die wirtschaftlichen Verluste aufgrund von Hitzewellen sind beträchtlich (Beniston 2009, Garcia-Herrera et al. 2003). So führte beispielsweise die Hitzewelle von 2003 in Europa, die den wärmsten Sommer seit dem Jahr 1540 verursachte, zu einem Rückgang der Bruttonärrproduktivität in Europa um 30 % (Ciais et al. 2005). Auf der Grundlage zahlreicher Prognosen für das Ende des 21. Jahrhunderts wird erwartet, dass Hitzewellen in Zukunft häufiger auftreten werden (Meehl und Tebaldi 2004).

### **7.3. NACHHALTIGE WASSERBEWIRTSCHAFTUNGSSTRATEGIEN/-POLITIKEN UNTER DEN BEDINGUNGEN DES KLIMAWANDELS**



Co-funded by  
the European Union



Optionen für die Anpassung an den Klimawandel werden notwendigerweise Investitionen, verbessertes oder anpassungsfähiges Management und Änderungen oder Entwicklung von Politiken, Institutionen und Kapazitätsentwicklung kombinieren. Solche Optionen müssen auf verschiedenen Ebenen angewandt werden: auf Feldern und landwirtschaftlichen Betrieben, in Bewässerungssystemen (insbesondere in großen Systemen), in Wassereinzugsgebieten oder Grundwasserleitern, in Flusseinzugsgebieten (einschließlich grenzüberschreitender Flusseinzugsgebiete) und auf nationaler Ebene (Tabelle 2.6) (FAO 2013, Turrall et al. 2011). McGray et al. (2007) und die OECD (2009) berichteten, dass Anpassungsaktivitäten, die das Kontinuum zwischen Entwicklung und Klimawandel abdecken, in vier Kategorien eingeteilt werden können. Diese Kategorien sind:

**Förderung der menschlichen Entwicklung:** Diese Aktivitäten konzentrieren sich auf die Verringerung der Armut und die Beseitigung von Faktoren, die Menschen anfällig für Schäden machen, unabhängig von deren Ursache.

**Aufbau von Reaktionsfähigkeit:** Diese Aktivitäten, die meist dem Aufbau von Kapazitäten dienen, umfassen in der Regel den Aufbau von Institutionen und technologische Ansätze, die von den Entwicklungsbemühungen übernommen wurden.

**Management von Klimarisiken:** Die Aktivitäten in dieser Kategorie konzentrieren sich speziell auf Gefahren und Auswirkungen und folgen dem Konzept des Klimarisikomanagements.

**Auseinandersetzung mit dem Klimawandel:** Sie konzentrieren sich fast ausschließlich auf die Bewältigung der Auswirkungen des Klimawandels. Die Aktivitäten in dieser Kategorie zielen in der Regel auf mit dem Klimawandel verbundene Risiken ab, die über die historische Klimavariabilität hinausgehen.

### 7.3.1. Bewältigung der Wasserknappheit

Wasserknappheit ist schon jetzt die größte Herausforderung für die Landwirtschaft in vielen Flusseinzugsgebieten der Welt. In Gebieten, in denen das Wasser knapp ist, wird der Klimawandel voraussichtlich die Spannungen verschärfen und den Wettbewerb um Wasser verstärken. Wenn die Landwirtschaft weiterhin die Nachfrage nach Lebensmitteln und anderen Rohstoffen decken soll, sind Anstrengungen sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite erforderlich (FAO 2013).

Die Verbesserung des Angebots umfasst:

- verbesserter Zugang zu und bessere Bewirtschaftung von konventionellen Wasserressourcen;
- Sanierung von Lebensräumen;
- Dammarbeiten;
- Wiederverwendung von Drainagewasser und Abwasser;
- den Wassertransfer zwischen Flusseinzugsgebieten;
- Entsalzung;
- und die Bekämpfung der Umweltverschmutzung.



**Tabelle 7.6.** Optionen zur Anpassung an den Klimawandel im Wasserbereich auf verschiedenen Ebenen  
(Quelle: FAO 2013, Turrall et al. 2011)

Optionen	Feld/Bauernhof	Bewässerung Schema	Wassereinzugsgebiet/ Grundwasserleiter	Fluss Einzugsgebiet	National
<b>1. Investitionen</b>					
Auf dem Bauernhof Wasser Speicherung:	+				
Wasserentnahme					
Entwicklung des Grundwassers	+				
Modernisierung der Bewässerung Infrastruktur		+			
Züchtung auf Resistenz gegen Dürren und Überschwemmungen	+				
Damm Konstruktion/Erweiterung		+	+	+	
Entwässerung	+		+	+	
Einführung von geeigneten Fischarten	+		+	+	
<b>2. Land, Wasser und Ernte Management</b>					
Verbessern Boden Feuchtigkeit Rückhaltevermögen	+				
Ändern des Ausschnittmusters und Diversifizierung	+				
Anpassen des Anbaus (und Fischernte) Kalender	+				
Ergänzende Bewässerung x	+	+			
Defizitäre Bewässerung		+			
Abwechselnd Nass- und Trockenreis Produktionssystem	+	+			
Entwässerung und Hochwasser Management		+	+	+	
Betrieb von Bewässerungsanlagen Verbesserung		+			



Integrierte Wasserressourcen Management				+	
Anpassung von Damm Betriebsvorschriften				+	
Wiederherstellung von Lebensräumen am Flussufer oder Schöpfung in Flüssen				+	
<b>3. Politische Maßnahmen, Institutionen und Aufbau von Kapazitäten</b>					
Klimasicherheit von I&D Infrastruktur		+	+	+	
Neuzuweisung von Wasser (zwischen oder innerhalb von Sektoren)	+	+	+	+	+
Stärkung der Land/Wasser richtiger Zugang	+	+	+	+	+
Ernteversicherungen	+		+	+	
Verbessert Wetter Vorhersagekapazität	+	+	+	+	+
Verbesserte hydrologische Überwachung				+	
Entwicklung von Überschwemmungen/Dürren					+
Überprüfung von lebensmittel lagerung Strategien					+

Bedarfsmanagement ist definiert als eine Reihe von Maßnahmen zur Steuerung des Wasserbedarfs:

- entweder durch die Steigerung der wirtschaftlichen Gesamteffizienz seiner Nutzung als natürliche Ressource,
- oder die Umverteilung von Wasserressourcen innerhalb und zwischen den einzelnen Sektoren.

Eine Kombination aus **technischen**, **betriebswirtschaftlichen**, **rechtlichen** und **investiven** Optionen ist erforderlich, um Landwirten zu helfen, mit weniger Wasser mehr zu produzieren. Diese Optionen müssen durch einen politischen und anreizorientierten Rahmen unterstützt werden, der die Landwirte auf die Wasserknappheit aufmerksam macht und eine produktivere Wassernutzung auf Betriebsebene belohnt (FAO 2013).

### 7.3.2. Resilienz aufbauen



Co-funded by  
the European Union



Der Aufbau von Widerstandsfähigkeit bedeutet, dass die Landwirte weniger für Schocks sind oder dass sie ihre Reaktionsfähigkeit erhöhen. Die Fähigkeit, die Pufferkapazität der landwirtschaftlichen Systeme angesichts schwankender Regenwasserressourcen zu erhöhen, ist von größter Bedeutung. **Dies erfordert eine erhöhte Kapazität zur Speicherung von Wasser im Boden, in oberirdischen oder unterirdischen Reservoirs.** Jede Maßnahme, die die Kapazität erhöht, im Bedarfsfall auf Wasser zuzugreifen, erhöht die Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaschwankungen (FAO 2013).

Diese Maßnahmen umfassen (FAO 2013):

- Wassergewinnung in den Betrieben;
- die Verbesserung der Fähigkeit des Bodens, Feuchtigkeit zu speichern;
- Wasserrückhalt in den Betrieben und verbesserte Versickerung; und,
- wenn möglich, einen systematischeren Zugang zum Grundwasser.

Eine zusätzliche Bewässerung in kritischen Phasen der Anbausaison kann Verluste verringern und die Produktivität steigern.

### 7.3.3. Anpassung auf Feld- und Betriebsebene

Die Anpassung auf Feld- und Betriebsebene umfasst (FAO 2013):

**Effizientere Bewässerungstechnologien, die die Verdunstungsverluste verringern:** Diese Maßnahmen können mit Ansätzen der Defizitbewässerung kombiniert werden, um die Produktivität pro eingesetzter Wassermenge und nicht pro Fläche zu maximieren.

**Auswahl der Kulturen und Änderung der Anbaupläne:** Dies wird den Landwirten helfen, sich an die neuen Temperaturen und Niederschlagsmuster anzupassen. Die Verwendung von Pflanzen oder Sorten mit besserer Widerstandsfähigkeit gegen Trockenperioden wird bevorzugt.

**Stärkere Diversifizierung der Landwirtschaft:** Die Diversifizierung der Landwirtschaft, einschließlich einer besseren Integration von Bäumen, Feldfrüchten, Fischen und Viehzucht, wird das Risiko verringern und die Widerstandsfähigkeit der landwirtschaftlichen Systeme erhöhen. Insbesondere die Zucht und der Fischfang von Wasserpflanzen, die keine ausgedehnten Wanderungen erfordern und eine große Umwelttoleranz aufweisen, werden der Aquakultur und dem Fischfang helfen, sich an neue klimatische Bedingungen anzupassen.

**Ergreifen Sie systematischer Maßnahmen, um auf die zunehmende Häufigkeit von Überschwemmungen und intensiveren Regenfällen zu reagieren:** Die Landwirte werden auch systematischere Maßnahmen ergreifen müssen, um auf die zunehmende Häufigkeit von Überschwemmungen und intensiveren Regenfällen zu reagieren. Eine Kombination aus Erosionsschutzmaßnahmen und besseren Entwässerungskapazitäten wird erforderlich sein.

### 7.3.4. Anpassung auf Ebene der Bewässerungssysteme



Co-funded by  
the European Union



Die Anpassung auf Ebene der Bewässerungssysteme konzentriert sich auf (FAO 2007, FAO 2013):

**Modernisierung der Bewässerungssysteme:** Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Bewässerungssystemen müssen im Gesamtkontext der Modernisierung der Bewässerung betrachtet werden. Moderne Bewässerungssysteme erfordern bessere Mechanismen für die Wasserzuteilung, die klare Weitergabe von Warnungen über Wasserknappheit an die Landwirte und die Anpassung der Infrastruktur und des Managements für eine flexiblere und zuverlässigere Bereitstellung von Wasser (FAO, 2007).

**Zwischenspeicherung innerhalb des Bewässerungssystems und, wo möglich, Zugang zu Grundwasser:** Diese sind Teil der Optionen zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Wasserversorgung und müssen in den Anpassungsplänen für Bewässerungssysteme berücksichtigt werden.

**Wasserpreise und die Schaffung von Wassermärkten:** Sie werden häufig als Instrumente der Nachfragesteuerung zur Förderung einer besseren Wassernutzung und zur Verringerung der Wasserverschwendung befürwortet. Diese Optionen haben sich zwar mancherorts als wirksam erwiesen, sind aber aus einer Kombination von technischen, institutionellen und politischen Gründen oft schwierig anzuwenden. Es gibt andere Optionen, wie z.B. die Begrenzung der saisonalen Zuteilung an Nutzer oder Gruppen von Nutzern, die einfacher und effektiver sein können, um ein produktiveres Wassernutzungsverhalten zu erreichen.

### 7.3.5. Anpassung auf der Ebene von Wassereinzugsgebieten, Flusseinzugsgebieten und auf nationaler Ebene

Die Anpassung an den Klimawandel auf höherer Ebene wird eine Kombination aus politischen Anpassungen und Investitionen in Infrastruktur und Management erfordern. In Flusseinzugsgebieten wird die zunehmende Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse Anpassungen der Speicherkapazität und des Managements von Staudämmen und Flussschutzanlagen erfordern (FAO 2013).

**Hochwassermanagementpläne:** Hochwassermanagementpläne müssen Infrastrukturverbesserungen mit nicht-strukturellen, informationsreichen Ansätzen kombinieren, die die Auswirkungen von Überschwemmungen durch eine Kombination von **Landplanung, Frühwarnung** und **Versicherungssystemen** besser abmildern können (FAO 2013).

**Dürre-Management-Pläne:** In ähnlicher Weise wird es notwendig sein, von Dürre-Notfallplänen zu Dürre-Managementplänen überzugehen, die **Vorbeugung, Bereitschaft, Hilfe und Rehabilitation** sowie **langfristige Maßnahmen zur Abschwächung der Auswirkungen** von Dürren umfassen (FAO und NDMC, 2008, FAO 2013).

**Kulturpflanzenarten zur Anpassung an Überschwemmungen und Dürren:** Kulturpflanzen In all diesen Fällen sollten die von den Wasserbewirtschaftern und den Landwirten angewandten Ansätze zur Anpassung an Überschwemmungen und Dürren systematisch berücksichtigt werden. Um die Schwere der Auswirkungen von Überschwemmungen zu verringern und



Co-funded by  
the European Union



für Erosionsschutz, Nährstoffe, Schatten und Sauerstoff sorgen, werden auch Lebensraumgestaltung und -sanierung erforderlich sein. Dadurch wird auch ein geeignetes Umfeld für die Fischproduktion geschaffen (FAO 2013).

**Integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen in Flusseinzugsgebieten:** Die integrierte Bewirtschaftung von Wasserressourcen in Flusseinzugsgebieten wird immer wichtiger, da die Kombination aus erhöhter Wassernutzung und dem Auftreten von Extremereignissen die gegenseitige Abhängigkeit der Menschen und Gemeinschaften, die in Flusseinzugsgebieten leben, verstärken wird, und da Maßnahmen in einem Teil eines Einzugsgebiets Auswirkungen auf die Menschen weiter flussabwärts haben werden. An Orten, an denen der Klimawandel zu zunehmender Wasserknappheit beiträgt, muss das gesamte Paket der Optionen zur Verbesserung des Angebots und zur Steuerung der Nachfrage in Betracht gezogen werden (FAO, 2012). Eine bessere Steuerung der Land- und Wassernutzung wird erforderlich sein, um die Mehrfachnutzung von Wasser, auch für Vieh und Fisch, zu ermöglichen (FAO 2013).

**Verbesserte Wettervorhersage und hydrologische Überwachung:** Verbesserte Wettervorhersagen und hydrologische Überwachung werden ein entscheidendes Element moderner Anpassungsstrategien sein (Faurès et al., 2010). Die schrittweise Verbesserung des Zeitpunkts und der Zuverlässigkeit der saisonalen Vorhersagen bietet jedoch neue Möglichkeiten für landwirtschaftliche Gemeinschaften. Da sich die Bemühungen auf die Verbesserung der Genauigkeit dieser Vorhersagen konzentrieren, sollte nun mehr Gewicht auf die Verbesserung der Art und Weise gelegt werden, wie die Informationen an die Landwirte weitergegeben werden, und auf den Aufbau ihrer Fähigkeit, die Klimainformationen optimal zu nutzen (Gommes et al. 2010). Überwachung und Frühwarnung während der Anbausaison bleiben eine Priorität, um Landwirten zu helfen, fundierte Entscheidungen zu treffen (FAO 2013).

**Versicherungen:** Versicherungen sind eine mögliche Lösung, die ebenfalls systematisch als Teil von Anpassungsstrategien in Betracht gezogen werden sollte. Nationale Ernteversicherungssysteme sollten für Katastrophen, die durch extreme Klimaereignisse wie Überschwemmungen, Dürre, Hagelschäden usw. verursacht werden, kritisch überdacht werden. Die Rolle der nationalen Regierungen bei der Förderung von Ernteversicherungen muss die nationalen Interessen widerspiegeln und gleichzeitig das reibungslose Funktionieren privater Versicherungsunternehmen gewährleisten. Dies muss auf dem Konzept der Risikoteilung zwischen Erzeugern, Versicherungsunternehmen und Regierungen basieren (FAO 2013).

### 7.3.6. Bedingungen für eine erfolgreiche Anpassung

Die Anpassung an den Klimawandel muss sowohl in die Programme zur Entwicklung des ländlichen Raums als auch in die Programme zur Bekämpfung der Wasserknappheit einbezogen werden und darf nicht getrennt davon erfolgen. Die Wasser-, Boden- und Ernährungspolitik muss besser aufeinander abgestimmt und unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels betrachtet werden. Insbesondere müssen die Ziele der Landwirtschaft und der ländlichen Entwicklung in die Wasserplanung einfließen und folgende Aspekte berücksichtigen



Co-funded by  
the European Union



Berücksichtigung anderer Wassernutzungssektoren. Es müssen auch Verbindungen zu Strategien des Katastrophenrisikomanagements hergestellt werden, die zu einem großen Teil direkt mit dem Wassermanagement verbunden sind (FAO 2013).

### **7.3.7. Wasserbewirtschaftung zur Eindämmung des Klimawandels**

Die Bewässerungslandwirtschaft macht nur 20 Prozent der weltweiten Landwirtschaftsfläche aus, wird aber intensiver betrieben. Im Durchschnitt werden in der Bewässerungslandwirtschaft größere Mengen anorganischer Düngemittel und anderer Agrochemikalien eingesetzt als in den meisten Regenfeldbausystemen. Folglich dürften die Bemühungen um eine Verringerung der Treibhausgase durch verbesserte Anbaumethoden in Bewässerungsgebieten größere Auswirkungen haben als in Regenfeldbaugebieten (FAO 2013).

Auf 38 Prozent aller bewässerten Flächen wird Grundwasser zur Bewässerung genutzt. Die Nutzung von Grundwasser nimmt zu (Siebert et al. 2010), was den Einsatz von fossilen Brennstoffen erhöht und die Energiekosten für die Wasserversorgung in die Höhe treibt (FAO 2013).

Die landwirtschaftlichen Methanemissionen (CH<sub>4</sub>) machen mehr als 50 Prozent der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus menschlichen Tätigkeiten aus. Ein Drittel dieser Emissionen stammt aus der Bewässerungsreisproduktion. Wenn die bewässerte Reisanbaufläche relativ schnell wächst, dürfte der künftige Anstieg der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Reisfeldern gering sein (HLPE, 2012).

Die Emissionen während der Vegetationsperiode können durch verschiedene Wassermanagementpraktiken verringert werden, z. B. durch den Anbau von aerobem Reis und, sofern die Bedingungen es zulassen, durch abwechselndes Befeuchten und Trocknen. Die Vermeidung von Wassersättigung, wenn kein Reis angebaut wird, und die Verkürzung der Dauer der kontinuierlichen Überflutung während der Reisanbausaison sind wirksame Möglichkeiten zur Verringerung der CH<sub>4</sub>-Emissionen von Reisfeldern. Gegenwärtig sind die Erträge von aerobem Reis in der Regel gering (weniger als 2 Tonnen pro Hektar), was selbst bei günstigen natürlichen Entwässerungsbedingungen ein starkes Hindernis für die Einführung darstellt (Comprehensive Assessment 2007). Aerober Reis spart Wasser und kann möglicherweise die Lachgasemissionen verringern (HLPE 2012).

Eine der wirksamsten Methoden zur Verringerung der Kohlenstoffemissionen in Bewässerungsgebieten könnte darin bestehen, nachhaltige Energieressourcen wie Sonnen- oder Windenergie anstelle von fossilen Brennstoffen für den Energiebedarf der Pumpen zu nutzen.



Co-funded by  
the European Union



## KAPITEL 8

# NACHHALTIGES BEWÄSSERUNGSMANAGEMENT IM ZEICHEN DES KLIMAWANDELS

### 8.1. EINFÜHRUNG IN DIE BEWÄSSERUNG

Parallel zum raschen Anstieg der Weltbevölkerung wächst auch der Bedarf der Menschen an Nahrung. Man schätzt, dass die landwirtschaftliche Produktion bis 2050 um etwa 60 % steigen muss, wenn die Bevölkerung auf über 10 Milliarden Menschen anwächst. Um die pflanzliche Produktion zu steigern, müssen daher die Flächenerträge erhöht werden. In trockenen und halbtrockenen Regionen mit unzureichenden Niederschlägen wachsen jedoch viele Kulturpflanzen entweder gar nicht oder nur in sehr geringem . Dies schränkt den Umfang der pflanzlichen Erzeugung ein. Dieses Problem kann nur durch Bewässerungsmaßnahmen gelöst werden (FAO 2010).

Bewässerung: Im Allgemeinen handelt es sich um die Zufuhr von Wasser in den Boden durch bestimmte Methoden, wenn der Wasserbedarf für eine optimale Pflanzenentwicklung nicht durch Niederschläge gedeckt werden kann.

Wasser ist ein entscheidender Faktor für die landwirtschaftliche Produktion und spielt eine wichtige Rolle für die Ernährungssicherheit. Auf die Bewässerungslandwirtschaft entfallen 20 Prozent der gesamten Anbaufläche in der Welt. Darüber hinaus trägt die Bewässerungslandwirtschaft zu 40 Prozent der weltweit produzierten Nahrungsmittel bei. Die Bewässerungslandwirtschaft ist pro Flächeneinheit mindestens doppelt so produktiv wie die unbewässerte Landwirtschaft. Dadurch ist es möglich, eine größere Produktions- und Produktvielfalt anzubieten.

In der Pflanzenproduktion führt die Beseitigung des Feuchtigkeitsdefizits im Boden bei richtiger Planung zu einer erheblichen Steigerung der Produktivität der Pflanzen. Dies steigert den Wohlstand regionalen Erzeuger. Neben dieser Produktivitätssteigerung ist dank der Bewässerung auch die Auswaschung von überschüssigen Salzen im Boden und die Aufweichung des Grundgesteins möglich.

Es wird vorhergesagt, dass die landwirtschaftliche Produktion in den kommenden Jahren aufgrund des Klimawandels zurückgehen wird. Deshalb müssen Lebensmittel sicher sein. Ernährungssicherheit bedeutet, dass jeder Mensch jederzeit Zugang zu ausreichenden und hochwertigen Lebensmitteln hat. Eine nachhaltige Lebensmittelproduktion ist eines der wichtigsten Elemente der Ernährungssicherheit. Einer der wichtigsten Grundsätze der nachhaltigen Landwirtschaft ist die vernünftige Bewirtschaftung von Boden und Wasser.

Auf dem Welternährungsgipfel 1996 sagte die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) voraus, dass 60 Prozent der in Zukunft zusätzlich benötigten Nahrungsmittel aus der Bewässerungslandwirtschaft stammen sollten. Die Internationale Kommission für Be- und Entwässerung (ICID) schätzt, dass die derzeitige Nahrungsmittelproduktion in den nächsten 25 verdoppelt werden muss. Die Strategie der ICID zur Umsetzung des

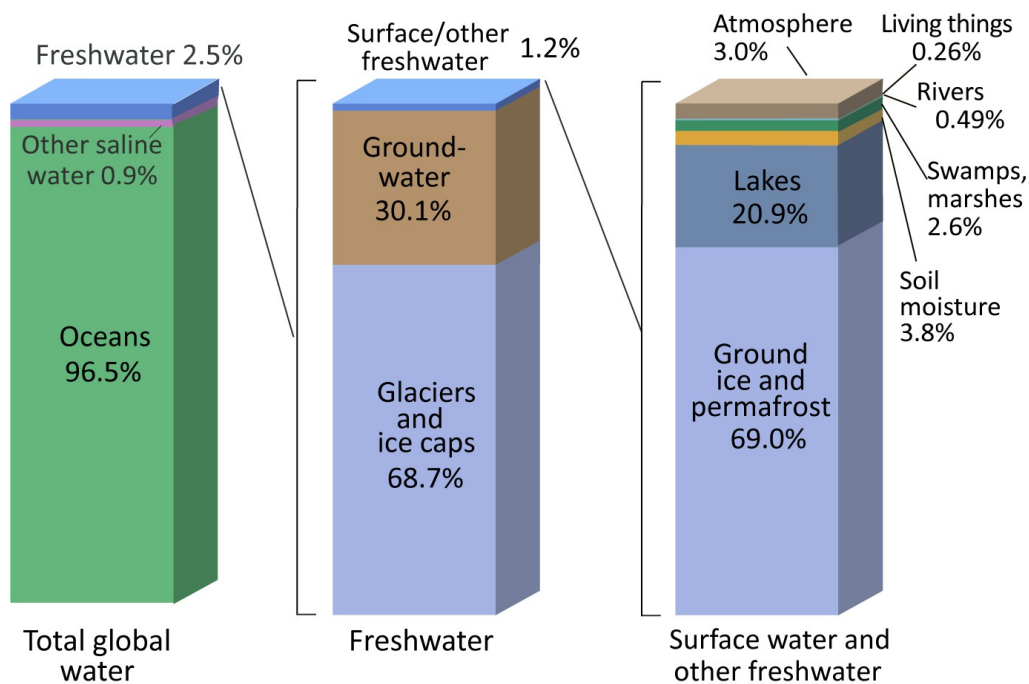
Water for Food Vision bezieht sich auf dieselbe FAO-Schätzung der Rolle der Bewässerungslandwirtschaft bei der Sicherung der künftigen Welternährung (FAO 2003).

Die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion durch Bewässerung ist sehr wichtig. Es ist notwendig, die bewässerten Flächen und die Wasserressourcen auszuweiten und die Effizienz der Nutzung der vorhandenen Wasserressourcen zu erhöhen. Gelingt es jedoch nicht, den Bedarf an Nahrungsmitteln durch eine effiziente Ausweitung und Intensivierung der Bewässerungslandwirtschaft zu decken, wird der Druck auf die Landressourcen zunehmen und der Prozess der Umweltzerstörung beschleunigt (Carruthers, 1997).

### 8.1.1. Bewässerung in der Welt, Europa und der Türkei

Etwa 97,5 % der Wassermenge auf der Welt besteht aus Salzwasser. Die restlichen 2,5 % sind Süßwasser. Ungefähr 68,7 % des Süßwassers befindet sich in Gletschern, 30,1 % im Untergrund und 1,2 % an der Oberfläche (Abbildung 3.1). Das Oberflächenwasser deckt fast den gesamten Wasserbedarf des Lebens.

## Where is Earth's Water?



Credit: U.S. Geological Survey, Water Science School. <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school>  
Data source: Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. (Numbers are rounded).

**Abbildung 8. 1.** Das weltweite Wasserpotenzial (Source: <https://www.usgs.gov/media/images/distribution-water-and-above-earth#:~:text=Über%2071%20Prozent%20der,in%20Ihnen%20und%20Ihr%20Hund>).



Co-funded by  
the European Union



Heute verbraucht die Landwirtschaft (im Durchschnitt) 70 % aller Süßwasserentnahmen weltweit. In den anderen Sektoren liegt der Anteil der häuslichen Nutzung bei 11 % und der industriellen Nutzung bei 19 %. Nach den Daten der FAO aus dem Jahr 2021 beträgt die für die Bewässerung geeignete Gesamtfläche weltweit 22 % der gesamten Anbaufläche, d. h. 352 Millionen Hektar, was einer Zunahme von etwa 20 % in den letzten 20 Jahren entspricht (FAO 2023a). Betrachtet man die Verteilung dieser 352 Millionen Hektar bewässerbarer Fläche auf die Kontinente, so steht Asien mit 248,2 Millionen Hektar an erster Stelle. Nord- und Mittelamerika liegt mit 36,3 Mio. ha auf Platz 2, Europa mit 27,2 Mio. ha auf Platz 3, Südamerika mit 19,3 Mio. ha auf Platz 4, Afrika mit 17 Mio. ha auf Platz 5 und Ozeanien mit 3,3 Mio. ha auf Platz 6 (FAO 2023a).

Auf dem europäischen Kontinent, auf dem die Türkei liegt, gibt es 273 Millionen Hektar Ackerland. Etwa 10 % dieser Fläche, d. h. 27,2 Mio. ha, sind bewässerbar (FAO 2023a). Betrachtet man die EU-28-Länder, so verfügen sie über 166 Millionen Hektar Ackerland. 11,3 % dieser Fläche, d. h. 18,6 Mio. ha, sind bewässerbare Flächen. 10,2 Millionen Hektar für die Bewässerung erschlossen. Betrachtet man die Länder, die ihre bewässerungsfähigen Flächen für die Bewässerung geöffnet haben, so steht Griechenland mit 77 % an erster Stelle. Italien, das über bedeutende landwirtschaftliche Flächen verfügt, hat 72 %, Frankreich 51 % und Spanien 43 % seiner bewässerbaren Flächen bewässert (EUROSTAT 2016). Betrachtet man die Länder, die wichtige Erzeuger von Baumobst auf diesen bewässerten Flächen sind, so liegt die Bewässerungsrate bei Obstbäumen bei etwa 80 % und bei Weinbergen bei etwa 30 %. Während dieser Wert bei Weizen bei etwa 10 % liegt, beträgt er bei Mais über 50 %.

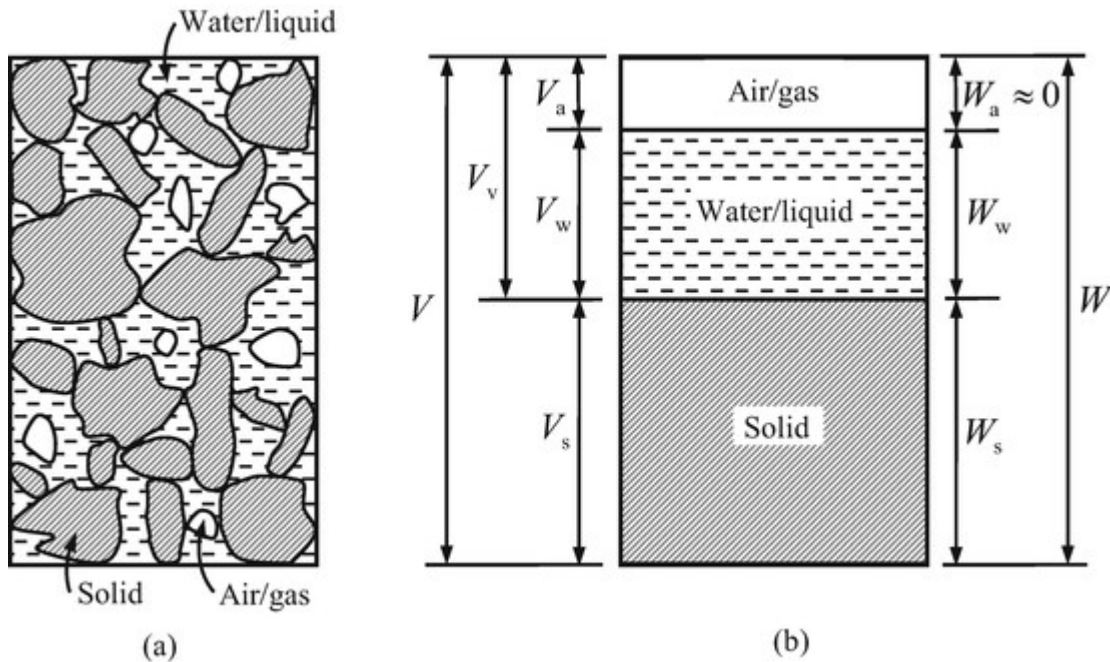
Die Türkei hat eine Fläche von 78 Millionen Hektar, davon sind 24 Millionen Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche. Den durchgeführten Studien zufolge beträgt die landwirtschaftliche Fläche, die mit dem derzeitigen Wasserpotenzial bewässert werden kann, 8,5 Millionen Hektar. Bis Ende 2019 wurden 6,65 Millionen Hektar Land für die Bewässerung erschlossen, und der Anteil der derzeit bewässerten Flächen an potenziell bewässerbaren Gesamtfläche erreichte 78 %. Für 1,85 Millionen Hektar Land laufen derzeit die Arbeiten (DSI 2023).

## **8.2. BODEN UND WASSER**

Ein angemessenes Luft-Feuchtigkeits-Gleichgewicht im Boden ist für eine gute Wurzelentwicklung unerlässlich. Ist dieses Gleichgewicht gut hergestellt, steigt die Produktionsmenge; ist das Gleichgewicht gestört, kommt es zu erheblichen Produktivitätseinbußen.

Der Boden ist eine Struktur, die aus drei Phasen besteht. Diese sind fest, flüssig und gasförmig. Die feste Phase besteht aus anorganischen und organischen Partikeln. Die flüssige Phase ist das Bodenwasser, und die

die gasförmige Phase stellt die Bodenluft dar. Die flüssige Phase und die Gasphase bilden das Hohlraumvolumen zwischen den festen Körnern (Abbildung 8. 2a-2b).



**Abbildung 8. 2.** a) Form der drei Phasen im Boden b) Bodenphasendiagramm (Quelle: Shukla 2017).

**Bodenbeschaffenheit:** Es handelt sich um den proportionalen Anteil von Bodengruppen unterschiedlicher Größe wie Ton, Schluff und Sand, die den anorganischen Teil des Bodens ausmachen. Die Durchmesser dieser Gruppen sind kleiner als 2 mm. Die Größe der Tonkörner ist kleiner als 0,002 mm. Die Größe der Schluffkörner liegt zwischen 0,002-0,05 mm. Die Größe der Sandkörner liegt zwischen 0,05-2 mm. Tonhaltige Böden werden als schwer strukturierte Böden, sandige Böden als leicht strukturierte Böden und lehmige Böden als mittel strukturierte Böden bezeichnet.

**Struktur des Bodens:** Sie ist die Anhäufung, Anordnung und Gruppierung von Bodenkörnern, die die feste Phase des Bodens bilden. Die hydraulische Leitfähigkeit und die Durchlässigkeit des Bodens, das Wasserrückhaltevermögen, die Durchlüftung, die Leichtigkeit der Bodenbearbeitung, die Eignung für Pflanzennährstoffe, die Aktivitäten der Mikroorganismen, die Entwicklung der Pflanzenwurzeln und damit die Produktivität des Bodens stehen in engem Zusammenhang mit der Struktur.

Die festen, flüssigen und gasförmigen Phasen einer Bodenprobe sind in Abbildung 4.2b schematisch dargestellt. Volumina werden mit dem Symbol  $V$  und Gewichte mit dem Symbol  $W$  dargestellt. Um die physikalischen Bedingungen und Eigenschaften des Bodens besser definieren zu können, es notwendig, die drei Phasen so zu betrachten, als ob sie voneinander getrennt wären, und einige grundlegende physikalische Eigenschaften und die Beziehungen zwischen ihnen zu erklären.



Co-funded by  
the European Union



**Dichte der Feststoffteilchen (spezifisches Gewicht des Bodens):** Sie ist das Verhältnis zwischen dem Gewicht der festen Bodenteilchen in einem bestimmten Volumen und dem Gewicht eines gleichen Volumens reinen Wassers. Sie ist ein Maß, das die Dichte des Bodens ausdrückt. Die spezifische Dichte kann in Abhängigkeit von Faktoren wie der mineralischen Zusammensetzung des Bodens und dem Vorhandensein von Kapillarwasser variieren.

**Volumengewicht des Bodens (Schüttdichte):** Es ist das Verhältnis zwischen dem Gewicht der getrockneten (ofengetrockneten) Bodenprobe und dem Volumen der Probe. Die Schüttdichte variiert in Abhängigkeit von Faktoren wie Bodenverdichtung, Feuchtigkeitsgehalt und Mineralzusammensetzung. Ein niedriges Schüttgewicht steht für leichte, brüchige Böden, ein hohes Volumengewicht für verdichtete, dichte Böden.

**Porosität:** Die Porosität bezieht sich auf den Anteil der Hohlräume im Boden und misst die Größe des Raums zwischen den Bodenpartikeln. Sie wird in der Regel in Prozent (%) angegeben. Die Porosität ist wichtig für die Speicherung und Bewegung von Bodenwasser. Eine hohe Porosität deutet auf eine lockerere Bodenstruktur hin, in der mehr Wasser- und Luftbewegungen möglich sind.

**Porenverhältnis:** Das Porenverhältnis ist das Verhältnis des Porenvolumens (Wasser + Luft) in einer bestimmten Bodenmasse zum Volumen des festen Teils der Masse.

**Sättigungsgrad:** Der Sättigungsgrad gibt an, wie stark die Bodenporosität mit Wasser gefüllt ist. Er wird in der Regel in Prozent (%) angegeben. Bei einem Sättigungsgrad von 100 Prozent ist der Boden vollständig mit Wasser gefüllt.

Die Messung und Quantifizierung der Bodenfeuchte ist sehr wichtig für die Planung der Bewässerungszeit und die Bestimmung der auszubringenden Wassermenge. Die Bodenfeuchtigkeit kann auf verschiedene Weise in Bezug auf die Bewässerung erklärt werden.

**Gravimetrische Feuchtigkeit:** Es handelt sich um die Masse des Wassers in einer bestimmten Bodenmasse.

**Volumenfeuchte:** Sie ist das Verhältnis zwischen dem Wasservolumen in einer bestimmten Bodenmasse und dem Gesamtvolumen der Probe.

**Feuchtigkeit in der Tiefe:** Sie bezieht sich auf die Wassertiefe pro Einheit Bodentiefe.

**Feuchtigkeitsspannung des Bodens:** Sie ist die Fähigkeit der Bodenteilchen, Wasser im Boden zu halten. Wenn die Feuchtigkeit im Boden abnimmt, nimmt die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu speichern, zu.

Für die Bewässerungspraxis ist es notwendig, die Fähigkeit des Bodens zu bestimmen, Wasser an bestimmten Punkten zurückzuhalten. Die Feuchtigkeit wird an diesen wissenschaftlich anerkannten Punkten in unterschiedlichen Spannungen gehalten, die als Bodenfeuchtigkeitskonstanten bezeichnet werden und vollständig mit den physikalischen Eigenschaften des Bodens zusammenhängen. In diesem Zusammenhang wird erklärt, dass das Bodenwasser in 4 verschiedenen Spannungszuständen gehalten wird, und zwar;



Co-funded by  
the European Union



- 1. Sättigungspunkt:** Der Sättigungspunkt ist die Obergrenze des Feuchtigkeitsgehalts des Bodens. Es ist der Punkt, an dem alle Porenräume des Bodens mit Wasser gefüllt sind und der Boden dieses nicht mehr aufnehmen kann. Das Wasserrückhaltevermögen des Bodens ist gleich Null.
- 2. Feldkapazität:** Die Feldkapazität ist die maximale Wassermenge, die der Boden gegen die Schwerkraft halten kann. Mit anderen Worten, es ist der Punkt, an dem der Boden unter 1/3 atm Spannung gegen die Schwerkraft Feuchtigkeit hält. Die Feldkapazität ist ein wichtiger Parameter, denn sie ist der höchste Feuchtigkeitspunkt für den Wasserverbrauch der Pflanzen.
- 3. Verwelkungspunkt:** Der Welkepunkt ist der Feuchtigkeitsgrad, bei dem der Boden Wasser mit einer durchschnittlichen Spannung von 15 atm hält und die Pflanzen kein Wasser über diesen Punkt hinaus aufnehmen können. Er stellt die untere Grenze des Wasserverbrauchs der Pflanzen dar. Dieser Zustand wird als der Punkt definiert, an dem die Pflanzen welken und physiologisch absterben, selbst wenn die Bodenfeuchtigkeit erhöht wird.
- 4. Im Ofen getrocknet:** Ofengetrocknet bezieht sich auf den Zustand des Bodens, wenn er durch Erhitzen in einem Ofen vollständig getrocknet wurde, um den gesamten Feuchtigkeitsgehalt zu entfernen. Die Trocknung erfolgt bei 105 °C für 24 Stunden, um sicherzustellen, dass das gesamte Wasser im Boden verdunstet. Ofengetrockneter Boden wird als Referenz für die Berechnung verschiedener Bodenfeuchtigkeitseigenschaften verwendet.

Nach den Bodenfeuchtigkeitskonstanten sind einige Definitionen erforderlich, die sich auf beziehen.

**Überschüssiges Wasser:** Das ist das Wasser, das zwischen der Feldkapazität und dem Sättigungspunkt liegt und unter der Kontrolle der Schwerkraft frei abfließt.

**Verfügbares Wasser für die Pflanzen:** Pflanzen können von Wasser zwischen Feldkapazität und Welkepunkt profitieren. Das verfügbare Wasser ist die Differenz zwischen der aktuellen Bodenfeuchtigkeit und dem Welkepunkt.

**Verfügbares Wasserhaltevermögen:** Die verfügbare Wasserspeicherkapazität ist die Feuchtigkeitslücke zwischen der Feldkapazität und dem Verwelkungspunkt.

**Hygroskopisches Wasser:** Dies ist der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, der vom Boden so fest gehalten wird, dass Pflanzen ihn nicht mit ihren Wurzeln aufnehmen können. Im Grunde kann es von den Pflanzen nicht genutzt werden. Hygroskopisches Wasser ist die Feuchtigkeit, die sich im Boden im Bereich zwischen dem Welkepunkt und der Ofentrockenheit befindet.

### 8.2.1. Bodenfeuchtigkeit und ihre Messung

Die Bodenfeuchtigkeit ist ein wichtiger Faktor für die Pflanzenentwicklung bei Bewässerungsarbeiten. Eine genaue Bestimmung der Feuchtigkeit ermöglicht die Planung der Bewässerungszeit und die genaue Bestimmung der Bewässerungswassermenge. Es gibt verschiedene Methoden und Instrumente zur Messung der Bodenfeuchtigkeit. Einige gängige Techniken zur Messung der Bodenfeuchtigkeit sind:

1. **Gravimetrische Methode:** Bei dieser Methode werden mit Hilfe eines Erdbohrers alle 30 cm Bodenproben entnommen (Abbildung 8.3), gewogen und in einem Ofen getrocknet, um die vorhandene Feuchtigkeit zu beseitigen. Der ofengetrocknete Boden wird dann erneut gewogen, um den Feuchtigkeitsgehalt zu bestimmen. Diese Methode liefert die genauesten Ergebnisse, ist aber zeit- und arbeitsaufwändig.



**Abbildung 8.3.** a) Entnahme der Probe mit einem Schneckenbohrer, b) Trocknen der Probe im Ofen (Foto: Erhan GOCMEN)

2. **Tensiometer:** Tensiometer sind Geräte, die das Matrixpotential des Bodens messen, d. h. die Energie, die eine Pflanze benötigt, um über ihre Wurzeln Wasser aus dem Boden aufzunehmen. Die Spitze des Geräts ist durchlässig. Von oben wird reines Wasser eingefüllt. Sie ist mit auslaufsicheren Stopfen fest verschlossen. Das Matrixpotential des Bodens wird in Centibar (cbar) oder Kilopascal (KPa) mit dem Monometer gemessen, das sich am oberen Ende des transparenten Rohrs befindet, das den Körper des Geräts bildet. Sie eignen sich zur Messung der Bodenfeuchtigkeit in dem Bereich, in dem Pflanzen Wasser aufnehmen können. Sie können bis zu etwa 85 cbar messen. Sie werden in verschiedenen Tiefen hergestellt (Abbildung 8.4).



**Abbildung 8.4.** Tensiometer (Foto: Erhan GOCMEN)

- 3. Elektrische Widerstandsblöcke (Watermark):** Während des Betriebs wird ständig Bodenfeuchtigkeit aufgenommen oder abgegeben, und der elektrische Widerstand zwischen den Elektroden ändert sich. Dieser Widerstand wird von einem Lesegerät abgelesen, und das Matrixpotential des Bodens wird in cbar oder Kpa bestimmt (Abbildung 8.5). Sein größter Vorteil gegenüber dem Tensiometer ist, dass es bis zu 200 cbar messen kann. Sie können in verschiedenen Tiefen angebracht werden.



**Abbildung 8.5.** Elektrische Widerstandsblöcke (Wasserzeichen) (Foto: Erhan GOCMEN)

4. **Zeitbereichs-Reflektometrie (TDR):** Bei TDR handelt es sich um Geräte, die elektromagnetische Wellen von einer im Boden platzierten Sonde aussenden und die Zeit messen, die die Wellen benötigen, um zurück zu reflektieren (Abbildung 8.6). Der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens wird durch Beeinflussung der Umlaufgeschwindigkeit dieser Wellen gemessen. Die Sonden werden in der gewünschten Tiefe angebracht.



**Abbildung 8.6.** TDR-Bodenfeuchtemessgerät. (Quelle: Foto von Maja Krzic, Universität von British Columbia, Vancouver BC. Zugriff: <https://labmodules.soilweb.ca/time-domain-reflectometry/> 13.10.2023)

5. **Frequenzbereichs-Reflektometrie (FDR):** FDR ist dem TDR ähnlich, arbeitet aber mit anderen Frequenzen. Es misst die Dielektrizitätskonstante des Bodens. Sie werden in den zu messenden Tiefen angebracht.
6. **Neutronenmessgerät:** Diese Geräte nutzen die Neutronenstreuung, um den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens zu bestimmen. Das Gerät besteht aus einem radioaktiven Material und einem Kontrollschirm, der mit einem Kabelende verbunden ist (Abbildung 8.7). In den Boden werden Löcher mit einem Durchmesser von etwa 6 cm gebohrt und Aluminiumröhrchen der gewünschten Länge mit hoher Neutronendurchlässigkeit hineingelegt. Dank der radioaktiven Substanz, die mit Hilfe des Kabels in die gewünschte Tiefe abgesenkt wird, wird sie über den Kontrollschirm aktiviert und Neutronenemission ausgelöst. Die Neutronen werden verlangsamt, wenn sie auf die Wasserstoffatome im Wasser des Bodens treffen. Diese verlangsamteten Neutronen werden zurückreflektiert und vom Detektor gezählt. Das Gerät, das in einem mit Wasser gefüllten Tank kalibriert wird, ohne Messungen vorzunehmen, wertet die eingehenden Daten entsprechend aus und gibt den Feuchtigkeitsgehalt an. Es ist extrem empfindlich und im Vergleich zu anderen Feuchtigkeitsmessgeräten

Sensoren liefern genauere Ergebnisse, da sie einen größeren Bereich im Boden messen. Aufgrund des Einsatzes von Strahlung erfordern sie jedoch in der Regel eine spezielle Ausbildung und Zulassung.

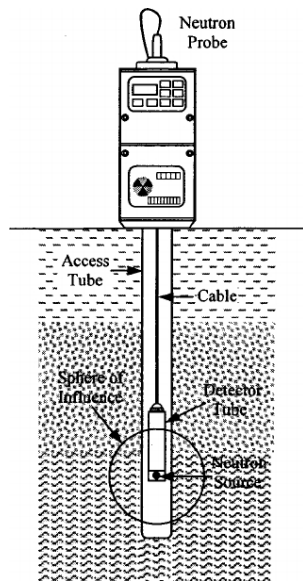


Abbildung 8.7. Schematische Darstellung eines Neutronenmessgeräts (Quelle: Li et al. 2003).

- 7. Fernerkundung:** Mit Hilfe von Fernerkundungstechnologien wie Satelliten und Luftbildern lässt sich die Bodenfeuchtigkeit in großen Gebieten abschätzen. Die Luftfeuchtigkeit in großen Gebieten kann in kürzerer Zeit und zu geringeren Kosten ermittelt werden.

### 8.2.2. Bewegung von Wasser im Boden

Der Zustand, in dem die Räume im Boden vollständig mit Wasser gefüllt sind, wird als gesättigter Zustand bezeichnet. Es ist jedoch nicht möglich, dass das Bodenprofil vollständig mit Wasser gefüllt ist. Denn es kommt zu einer gewissen Luftverdichtung. Im Oberbodenprofil wird jedoch ein vollständig gesättigter Zustand erreicht. Die Fließrichtung ist von einem Bereich mit höherem Matrixpotential zu einem Bereich mit niedrigerem Matrixfeuchtigkeitspotential.

Der Zustand, in dem die Hohlräume im Boden nicht vollständig mit Wasser gefüllt sind, wird als ungesättigter Zustand bezeichnet. Unter diesen Bedingungen fließt das Wasser von einem Bereich mit niedrigerem Matrixpotential zu einem Bereich mit höherem Matrixfeuchtigkeitspotential.

Während der Bewässerung dringt das Wasser durch Infiltration in den Boden ein und bewegt sich durch Schwerkraft und Kapillarität nach unten. Nach Abschluss der Bewässerung beginnt die Verdunstung aus der oberen Bodenschicht. Die Pflanzen nutzen das Wasser im Bereich unterhalb dieser oberen Schicht (etwa 15-45 cm) über ihre Wurzeln. In diesem Bereich bewegt sich das Wasser in Richtung der Wurzeln und nur ein sehr geringer Teil in Richtung der oberen Verdunstungszone. Der größte Teil der Feuchtigkeit im Bereich von 45-90 cm



Co-funded by  
the European Union



wo sich die sekundäre Wurzelzone befindet, in Richtung der Wurzeln und nach unten. In die untere Schicht kann nur sehr wenig Wasser eindringen. Die Bedingung, unter der die Pflanzen Wasser aufnehmen können, ist eine hohe osmotische Spannung. Wenn die hohe osmotische Spannung größer ist als die Bodenspannung, nimmt die Pflanze Wasser über ihre Kapillarwurzeln auf. Umgekehrt beginnt die Pflanze zu welken, wenn die Bodenspannung größer ist als der osmotische Druck.

**Versickerung:** Es handelt sich um die Bewegung von Wasser von der Bodenoberfläche in den Boden. Die Menge an Wasser, die pro Zeiteinheit in den Boden eindringt, wird als Infiltrationsrate bezeichnet.

Faktoren, die die Infiltrationsrate beeinflussen:

- Textur des Bodens,
- Struktur des Bodens,
- Porengrößenverteilung und -geometrie,
- Gehalt an organischer Substanz des Bodens,
- Vegetation,
- Quellungsgrad von Ton und anderen Kolloiden,
- Ursprünglicher Feuchtigkeitszustand des Bodens,
- Topografische Situation (Form der Bodenoberfläche).

Die Infiltrationsrate ist bei leicht strukturierten Böden hoch und bei schwer strukturierten Böden niedrig.

Die Versickerungsrate wird mit Hilfe von Doppelzylinder-Infiltrometer tests bestimmt. Das für den Test zu verwendende Material besteht aus zwei ineinander geschachtelten Zylindern (Abbildung 8.8). Der äußere Zylinder hat einen Durchmesser von 40 cm und der innere Zylinder einen Durchmesser von 20-25 cm. Ihre Höhe beträgt 40 cm. Die Zylinder werden um etwa 15-20 cm verschoben. Dann wird er mit Wasser gefüllt. Die Wassermenge, die in einer bestimmten Zeit abnimmt, wird von einer Stoppuhr am inneren Zylinder erfasst und aufgezeichnet. In dem Maße, wie sie abnimmt, wird ständig Wasser in die Zylinder gefüllt und aufgezeichnet. Diese Messung dauert mindestens 5 Stunden. Eine Wasseraufnahmerate von 10 mm/h bedeutet beispielsweise, dass es eine Stunde dauert, bis eine Wassermenge von 10 mm über der Bodenoberfläche infiltriert ist.



**Abbildung 8.8** Durchführung der Versickerungsprüfung (Quelle: <https://americangeoservices.com/soil-infiltration-testing.html>, Zugriff: 29.09.2023)

### 8.3. WASSERBEDARF DER PFLANZEN

Wenn der Wasserbedarf der Pflanzen nicht durch Niederschläge gedeckt werden kann, die verbleibende Menge durch Bewässerung bereitgestellt.

Bestimmung des Bewässerungswasserbedarfs von Pflanzen;

- Wasserverbrauch der Anlage,
- Effektive Niederschlagsmenge, und
- Die Effizienz der Bewässerung muss ermittelt werden.

**Wasserverbrauch der Pflanzen (Evapotranspiration):** Sie ist die Summe der Verdunstung von der Bodenoberfläche und der Transpiration von den Pflanzenblättern, ausgedrückt in mm.

Die von der Pflanze verbrauchte Wassermenge variiert je nach Boden, Pflanzentyp und klimatischen Bedingungen. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen einigen Klimaparametern und dem Wasserverbrauch der Pflanzen:

- Mit Temperatur steigt auch der Wasserverbrauch der Pflanzen.
- Mit zunehmender Windgeschwindigkeit steigt auch Wasserverbrauch der Pflanzen.
- Mit zunehmender Sonnenscheindauer steigt der Wasserverbrauch der Pflanzen.
- Mit steigender relativer Luftfeuchtigkeit sinkt der Wasserverbrauch der Pflanzen.

Bei der Bewertung der Bodeneigenschaften steigt der Wasserverbrauch der Pflanzen mit zunehmender Verdunstung, insbesondere bei Feuchtigkeitswerten oberhalb der Feldkapazität. Ebenso wird bei Feuchtigkeitswerten unterhalb der Feldkapazität die Verdunstungsmenge abnehmen, wenn die



die Saugfähigkeit der Bodenmatrix nimmt zu. Die Kultivierung des Bodens erhöht den Wasserverbrauch der Pflanzen. Eine Begrünung des Bodens sorgt für Schatten und verringert die Verdunstung.

So beeinflussen beispielsweise die Blattgröße und die Anzahl der Poren den Wasserverbrauch der Pflanzen. Auch die Entwicklungsstadien der Pflanzen spielen eine wichtige Rolle für den Wasserverbrauch der Pflanzen. Wenn die Pflanze wächst, nimmt die Transpiration von den Blättern zu. Mit zunehmender Entwicklung der Pflanze nimmt jedoch die Verdunstungsmenge von der Bodenoberfläche ab, da die Beschattung zunimmt. In den frühen Entwicklungsstadien der Pflanze ist die Verdunstung wesentlich höher als die Transpiration. Mit der Entwicklung der Vegetation nimmt die Transpirationsrate zu, und wenn sie den höchsten Wert erreicht, übersteigt die Transpiration die Verdunstungswerte. Die Länge der Vegetationsperiode wirkt sich auf den Wasserverbrauch der Pflanzen aus: je länger die Entwicklungsperiode, desto länger die Evapotranspiration. Die Verdunstung kann mit verschiedenen Methoden bestimmt werden.

### **Direkte Messmethoden**

Direkte Messmethoden liefern zwar bessere Ergebnisse, sind aber sowohl recht teuer als auch zeitaufwändig. Aus diesem Grund werden direkte Messungen des Wasserverbrauchs von Pflanzen nur zum Zweck der Kalibrierung von Vorhersagegleichungen anhand von Klimadaten und zur Ermittlung lokaler Pflanzenkoeffizienten durchgeführt (Gungor et al. 2004).

- Tanks und Lysimeter
- Feldversuchspartellen
- Überwachung der Feuchtigkeitsabnahme im Boden, und
- Messung des Durchflusses in und aus dem Becken.

### **Vorhersagemethoden aus Klimadaten**

Die Tatsache, dass direkte Messmethoden teuer und zeitaufwendig sind, hat zur Entwicklung von Schätzmethoden geführt. Es gibt Methoden, die den Wasserverbrauch von Pflanzen anhand einiger weniger Klimadaten schätzen, aber auch komplexe Methoden, die genauer sind und viele Klimadaten verwenden.

Bei der Schätzung des Wasserverbrauchs von Pflanzen wird zunächst der Wasserverbrauch einer Referenzanlage ermittelt. Dann wird der Wasserverbrauch der Referenzanlage korrigiert, indem er mit den Werten des Anlagenkoeffizienten ( $k_c$ ) multipliziert wird, die unter Berücksichtigung der Anlagenmerkmale ermittelt wurden.

$$ET = k_c \times ET_0 \quad 8.1$$

Wo,

ET : Wasserverbrauch der Pflanze, mm/Tag



$k_c$  = experimentell ermittelter Erntekoeffizient,

$ET_0$  = Referenzwasserverbrauch der Pflanze, mm/Tag.

Wasserverbrauch der Referenzpflanzen: Er bezieht sich auf den Wasserverbrauch der Referenzpflanze, der bei einer gut bewässerten, aktiv wachsenden Referenzpflanze (Graspflanzen) auftreten kann.

Obwohl es in der Praxis viele Methoden und empirische Gleichungen gibt, sind eine der am häufigsten verwendeten die Klasse-A-Pfannenverdunstungsmethode und die Penman-Monteith-Methode.

Der Wasserverbrauch von Referenzpflanzen kann auch anhand von Verdunstungsbehältern auf dem Feld bestimmt werden. Es wird davon ausgegangen, dass alle klimatischen Parameter, die eine Verdunstung aus dem Behälter verursachen, auch den Wasserverbrauch der Pflanzen beeinflussen. Die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse sind recht gut. Die erhaltenen täglichen Verdunstungswerte werden mit einem Verdunstungsbecherkoeffizienten korrigiert, der entsprechend den örtlichen Bedingungen ermittelt wird, und man erhält den Wasserverbrauch der Pflanzen.

$$ET = k_p \times E_p \quad 8.2$$

$W_o$ ,

$ET$  : Wasserverbrauch der Pflanze, mm/Tag

$K_p$  = Pfannenkoeffizient entsprechend den örtlichen Bedingungen,

$E_p$  = Tagesverdunstung aus der Pfanne, mm/Tag.

Die Verdunstungswanne der Klasse A besteht aus einem oben offenen Zylinder mit einem Durchmesser von 121 cm und einer Höhe von 25,5 cm, der aus 2 mm starkem verzinktem Blech gefertigt ist. Auf dem Behälter ist ein Drahtkäfig angebracht, um zu verhindern, dass die Tiere das Wasser in der Wanne trinken. Die Veränderung des Wasserstands im Behälter wird täglich mit einem Tiefenmessgerät gemessen. Abbildung 8.9 zeigt die Verdunstungswanne der Klasse A in diesem Gebiet.



**Abbildung 8.9.** Verdunstungsbehälter der Klasse A (Foto: Erhan GOCMEN).

Zur Schätzung des Wasserverbrauchs von Referenzpflanzen anhand der Klimadaten wird die als FAO-56-PM definierte Methode verwendet, die durch Überarbeitung der Penman-Monteith-Methode von Allen et al. (1998) gewonnen wurde:

8.3

$W_o$ ;

$ET_0$ : Referenzwasserverbrauch der Pflanze (mm/Tag),  $R_n$ :

Nettostrahlung auf der Pflanzenoberfläche (MJ/m<sup>2</sup>/Tag),

$G$ : Wärmestrom im Boden (MJ/m<sup>2</sup>/Tag),

$T$ : Durchschnittliche Temperatur (°C),

$u_2$ : Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (m s<sup>-1</sup>),

$e_a$ : Sättigungsdampfdruck (kPa),

$e_d$ : Tatsächlicher Dampfdruck (kPa),

$\Delta$ : Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve (kPa/°C),



Co-funded by  
the European Union



$\gamma$ : die Werte der psychometrischen Konstante (kPa/°C).

### **Bewässerungsmodelle und -technologien**

Ein Beispiel für ein Bewässerungsmodell ist die kostenlose Software CROPWAT 8.0, die von der Abteilung Land- und Wasserentwicklung der FAO entwickelt wurde. Das Modell ist ein Computerprogramm zur Berechnung des Wasser- und Bewässerungsbedarfs von Pflanzen auf der Grundlage von Boden-, Klima- und Kulturdaten.

Alle in CROPWAT verwendeten Berechnungsverfahren beruhen auf zwei Veröffentlichungen der FAO Irrigation and Drainage Series, nämlich Nr. 56 "Plant Evapotranspiration - Guidelines for calculating plant water requirements" und Nr. 33 "Water yield response".

CROPWAT 8.0 enthält Pflanzen-, Boden- und meteorologische Daten. Wenn keine Klimadaten verfügbar sind, können sie von CLIMWAT, der entsprechenden Klimadatenbank für mehr als 5 000 Stationen weltweit, bezogen werden. Die Gleichung 8.3 wird zur Berechnung des Wasserverbrauchs der Pflanzen verwendet. Mit dem Programm lassen sich die Ergebnisse zum Wasserverbrauch der Pflanzen sehr schnell auswerten (FAO 2023b).

Darüber hinaus können intelligente Wetterstationen, die meteorologische Daten wie Temperatur, Strahlung, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Niederschlag im Untersuchungsgebiet überwachen, den Wasserverbrauch der Referenzanlage anhand der Penman-Monteith-Gleichung sofort berechnen und alle Ergebnisse sofort über das Internet übertragen. Diese Daten können leicht über einen Computer, ein Tablet oder ein Mobiltelefon überwacht werden. Die erwähnte meteorologische Station ist in Abbildung 8.10 dargestellt.

**Effektiver Niederschlag:** Er ist definiert als die Niederschlagsmenge, die Pflanzen nutzen, um einen Teil ihres Wasserbedarfs während der Wachstumsperiode zu decken. Er berücksichtigt die Niederschlagsmenge, die im Boden gespeichert und von den Pflanzen effektiv genutzt werden kann, ohne dass es zu einer Infiltration unterhalb der Wurzelzone und zu Abfluss kommt. Die effektive Niederschlagsmenge ist ein wichtiger Faktor, der bei der landwirtschaftlichen Bewässerungsplanung berücksichtigt werden sollte, um die Menge des ausgebrachten Bewässerungswassers zu bestimmen.

**Effizienz der Bewässerung:** Die Bewässerungseffizienz bezieht sich darauf, wie effektiv das Wasser in der Landwirtschaft zur Aufrechterhaltung des Pflanzenwachstums genutzt wird. Sie ist ein Maß dafür, wie gut ein Bewässerungssystem Wasser an die Pflanzen liefert und wie effizient die Pflanzen dieses Wasser nutzen. Im Folgenden werden alle Wirkungsgrade, die die Bewässerungsleistung beeinflussen, erläutert. Diese sind:

**Effizienz des Übertragungs- und Verteilungssystems:** Sie steht im Zusammenhang mit dem Zustand der Bewässerungsinfrastruktur. Die Effizienz des Übertragungs- und Verteilungssystems ist hoch in einem gut gewarteten

und ein entsprechend ausgelegtes Bewässerungssystem, wenn das Wasser an der Quelle entnommen und zum Feld transportiert wird.

**Effizienz der Wasseranwendung:** Sie bezieht sich darauf, wie gleichmäßig und effektiv das Wasser auf der Fläche verteilt wird. Sie ist das Verhältnis zwischen dem in der Wurzelzone gespeicherten Wasser und dem an das Feld abgegebenen Wasser. Eine ungleichmäßige Verteilung kann zu einer Überbewässerung in einigen Bereichen und einer Unterbewässerung in anderen führen. Bewässerungsmethoden unter Druck erhöhen die Effizienz der Wasseranwendung.



**Abbildung 8.10.** Automatische intelligente Wetterstation (Foto: Erhan GOCMEN).

**Effizienz der Wassernutzung:** Die Wassernutzungseffizienz drückt aus, wie effektiv die Pflanzen das ihnen zur Verfügung gestellte Wasser nutzen. Mit anderen Worten, sie ist definiert als das Verhältnis zwischen von der verbrauchten Wasser und der auf die Wurzelzone aufgebrauchten Wassermenge. Eine Verbesserung der Bodenqualität durch die Auswahl trockenheitstoleranter Pflanzen oder die Zugabe organischer Stoffe kann die Wassernutzungseffizienz erhöhen.

**Gesamtwirkungsgrad der Bewässerung:** Sie ist der Ausdruck für alle Effizienzen zusammen. Sie wird ausgedrückt als das Verhältnis zwischen dem Wasserverbrauch der Pflanze und dem von der Quelle abgeleiteten Wasser.

### Strategien für die Bewässerung

Durch die wachsende Bevölkerung steigt auch der Bedarf an Nahrungsmitteln. Die Steigerung der pflanzlichen Produktion wird durch landwirtschaftliche Bewässerung erreicht. Es ist jedoch klar, dass die Wasserressourcen unter großem Druck stehen. Die Bewässerungslandwirtschaft wird neues Bewirtschaftungsparadigma einführen müssen, das auf dem wirtschaftlichen Ziel der Maximierung des Nettonutzens und nicht auf dem biologischen Ziel basiert.



Co-funded by  
the European Union



Ziel der Ertragsmaximierung (English et al. 2002). Daher haben sich einige Bewässerungsstrategien herausgebildet.

**Vollbewässerung:** Vollbewässerung ist eine Strategie, die den gesamten Wasserbedarf der Pflanze deckt, ohne die Pflanze zu belasten. Das Ziel der Vollbewässerung ist es, die Bodenfeuchtigkeit auf oder nahe der Feldkapazität zu halten, um eine angemessene Bodenfeuchtigkeit für die Pflanzen zu gewährleisten. Das bedeutet, dass ausreichend Wasser bereitgestellt wird, um das Pflanzenwachstum und das Ertragspotenzial zu maximieren. Sie wird in Gebieten angewandt, in denen die Wassermenge reichlich vorhanden ist.

Hauptmerkmale der Vollbewässerung:

- Das Wasser wird in Mengen bereitgestellt, die den gesamten Wasserbedarf der Pflanzen decken.
- Optimale Wachstumsbedingungen sind gegeben, wenn die Bodenfeuchtigkeit auf oder nahe der Feldkapazität gehalten wird.
- Die Vollbewässerung wird häufig für hochwertige Kulturen eingesetzt, bei denen die Maximierung des Ertrags entscheidend ist.
- Der Wasser- und Energieverbrauch ist auf dem höchsten Stand

Die Vollbewässerung wurde sehr umfassend untersucht, und in der Literatur finden sich ausreichend detaillierte Informationen. So wurde beispielsweise bei Weizen unter Vollbewässerungsbedingungen der höchste durchschnittliche Kornenertrag mit 830 kg/da erzielt, während der niedrigste Ertrag mit 290 kg/da aus der nicht bewässerten (nur mit Regen bewässerten) Anwendung resultierte. Die Effizienz stieg etwa um das Dreifache (Sezen und Autor 2006). Al-Ghobari und Dewidar (2018) erklärten, dass der maximale Tomatenertrag bei der Vollbewässerung sowohl bei der Oberflächen- als auch bei der unterirdischen Tropfbewässerung in ihrer Untersuchung erzielt wurde, die unter verschiedenen Vollbewässerungsniveaus in zwei verschiedenen Methoden durchgeführt wurde. Bei allen Anwendungen wurde festgestellt, dass die Wassereinsparungen bei der unterirdischen Tröpfchenbewässerung höher sind als bei der oberirdischen Tröpfchenbewässerung.

**Defizitbewässerung:** Sie kann als eine Bewässerungsstrategie definiert werden, die in Fällen knapper Wasserressourcen den Wasserbedarf einer Pflanze nicht vollständig deckt, aber eine akzeptable Ertragsminderung verursacht. Um Wasser zu sparen, kann ein Defizit in der vollen Bewässerungsmenge der Pflanze geschaffen werden. Dabei geht es darum, eine Beziehung zwischen der Menge des ausgebrachten Bewässerungswassers und dem erzielten Ertrag herzustellen und den Zustand zu finden, bei dem die Wassernutzungseffizienz am höchsten ist. Auf diese Weise werden sowohl Wassereinsparungen als auch ein optimaler Wirkungsgrad bei geringen Ertragseinbußen erreicht.

Hauptmerkmale der eingeschränkten Bewässerung:

- Sie wird im Allgemeinen in Gebieten mit Wasserknappheit oder begrenzten Wasserressourcen eingesetzt.



Co-funded by  
the European Union



- Die Bewässerung erfolgt bewusst unterhalb der vollen Bewässerungsmenge, wodurch ein kontrolliertes Wasserdefizit entsteht.
- Eine sorgfältige Überwachung und Entscheidungsfindung ist erforderlich, um übermäßige Belastungen zu vermeiden, die das Produkt beschädigen könnten.

Wissenschaftliche Studien zeigen die Defizitbewässerung deutlicher auf. So stellten Tejero et al. (2011) in ihrer Studie über Zitrusplantagen, die unter voller und begrenzter Bewässerung angebaut wurden, fest, dass die am stärksten belastende begrenzte Bewässerung nicht während der Blüte- oder Fruchtwachstumszeit angewendet werden sollte, um ähnliche Erträge wie bei voll bewässerten Pflanzen zu erzielen. Sie stellten fest, dass mit Teilbewässerungsstrategien, die bis zu 1000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> Wasser (100 mm/ha) einsparen, Erträge erzielt werden, die der Vollbewässerung sehr nahe kommen. Karam et al. (2011) untersuchten die Reaktion von Auberginen, die mit Tropfbewässerung in einem halbtrockenen Klima bewässert wurden, auf Wasserstress. Sie stellten fest, dass der Rückgang des Frischertrags aufgrund unzureichender Bewässerung durch den Anstieg des durchschnittlichen Fruchtgewichts und der Wassereffizienz kompensiert wurde. Sie wiesen ferner darauf hin, dass in Fällen, in denen die Wasserressourcen begrenzt sind, eine Defizitbewässerung vor der Blüte und nach Abschluss der Blattentwicklung der Pflanze zu den geringsten Ertragseinbußen führt.

**Ergänzende Bewässerung:** In Fällen, in denen die Niederschläge nicht genügend Feuchtigkeit für ein normales Pflanzenwachstum liefern, sollte eine begrenzte Menge an Bewässerungswasser auf die Pflanzen aufgebracht werden, um den Ertrag zu steigern und auszugleichen. Da Wasserknappheit vor allem Pflanzen betrifft, die im Frühjahr gepflanzt werden, und Pflanzen, die in flachen Böden wachsen, kann in beiden Fällen eine zusätzliche Bewässerung erforderlich sein (Debaeke und Aboudrare 2004). Eine zusätzliche Bewässerung, insbesondere in kritischen Wachstumsstadien, kann den Pflanzenertrag und die Wassereffizienz erhöhen.

Hauptmerkmale der zusätzlichen Bewässerung:

- Sie ergänzt den natürlichen Niederschlag und wird bei Bedarf eingesetzt und an die jahreszeitlichen und wetterbedingten Veränderungen angepasst.
- Hilft, Trockenstress und Ernteauffälle in Trockenperioden zu vermeiden.
- Durch zusätzliche Bewässerung kann im Vergleich zur Vollbewässerung Wasser gespart werden, da eine Überbewässerung in Regenperioden vermieden wird.
- Sie wird häufig in Regionen mit schwankenden Niederschlagsverhältnissen oder begrenzten Wasserressourcen eingesetzt.

Unter Berücksichtigung der Studien, die mit zusätzlicher Bewässerung durchgeführt wurden, steigerte die zusätzliche Bewässerung von Pfirsich- (Oweis und Hachum 2012) und Olivenbäumen (Razouk et al. 2013), die unter regengespeisten Bedingungen angebaut wurden, den Fruchtertrag und die Fruchtqualität. Außerdem wirkte sich die zusätzliche Bewässerung nicht auf den Ölgehalt der Olivenbäume aus und die Wassernutzungseffizienz stieg. In ihrer Studie



Co-funded by  
the European Union



Zegbe und Servin-Palestina (2021) stellten in einer dreijährigen Studie an verschiedenen Kaktusbirnensorten fest, dass der Fruchtertrag, die durchschnittliche Fruchtmasse, die vermarktbar Früchte, die Wassernutzungseffizienz, die Bewässerungswassernutzungseffizienz und die Wassereffizienz bei Pflanzen, die mit zusätzlicher Bewässerung und Vollbewässerung bewässert wurden, ähnlich waren. Daher berichteten sie, dass die zusätzliche Bewässerung im Vergleich zur Vollbewässerung bei allen Sorten im Durchschnitt 51-52 % Wassereinsparungen brachte. Oweis et al. (2020) bauten Linsen unter mediterranen Bedingungen mit 3 verschiedenen Raten von Zusatzbewässerung und ohne Bewässerung an. Die Ergebnisse zeigten, dass der Korn- und Biomassertrag von Linsen mit zunehmender Menge an zusätzlichem Bewässerungswasser anstieg. Der durchschnittliche Kornertrag betrug  $1,42 \text{ t ha}^{-1}$  bei  $1/3$  Zusatzbewässerung,  $1,69 \text{ t ha}^{-1}$  bei  $2/3$  Zusatzbewässerung und  $1,81 \text{ t ha}^{-1}$  bei voller Zusatzbewässerung, verglichen mit  $1,04 \text{ t ha}^{-1}$  unter Regenbedingungen. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die  $2/3$ -Zusatzbewässerung eine maximale Wassernutzungseffizienz sowohl für Getreide als auch für Biomasse bietet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vollbewässerung darauf abzielt, den Pflanzen das gesamte benötigte Wasser zur Verfügung zu stellen, die Defizitbewässerung darauf abzielt, die Wasserversorgung strategisch zu reduzieren, um bestimmte Ziele zu erreichen, und die Zusatzbewässerung darauf abzielt, die natürlichen Niederschläge zu ergänzen, um eine optimale Bodenfeuchtigkeit zu erhalten. Die Wahl des Bewässerungsansatzes hängt von Faktoren wie Pflanzenarten, lokalem Klima, Wasserverfügbarkeit und spezifischen Zielen für die Pflanzenproduktion und -qualität ab.

## **8.4. LANDWIRTSCHAFTLICHE WASSERVERTEILUNG UND TECHNOLOGIE**

### **8.4.1. Beförderung und Verteilung von Bewässerungswasser in dem Gebiet**

Bauwerke, die es ermöglichen, Wasser aus Bauwerken wie Bächen, Dämmen, Teichen und Brunnen zu sammeln und an die erforderlichen Stellen weiterzuleiten und zu verteilen, werden als Wasserleitungs- und Verteilungssysteme bezeichnet.

Wassertransport- und -verteilungssysteme können in offene Kanalsysteme, Kanalnetze und Rohrsysteme unterteilt werden.

Das System muss eine Wassermenge ausbringen, die den Bedarf der Pflanzen vollständig deckt, ohne Erosion zu verursachen und mit hoher Effizienz.

**Offene Kanalsysteme:** Sie werden als mit Erde oder Beton ausgekleidete Kanäle hergestellt. Sie werden im Allgemeinen mit trapezförmigem Querschnitt hergestellt.

In diesen Systemen, in denen das Wasser durch die Schwerkraft weitergeleitet wird, besteht es aus den folgenden Komponenten:



Co-funded by  
the European Union



- Übertragungskanal,
- Hauptkanal,
- Sekundärkanal,
- Tertiärkanal und
- im Feld befindlicher Wasserübertragungskanal.

**Übertragungskanal:** Es handelt sich um den Kanal, der das Bewässerungswasser aus der Speicherstruktur aufnimmt und an den Hauptkanal weiterleitet. Von diesem Kanal aus erfolgt keine Bewässerung.

**Hauptkanal:** Es ist der Kanal, der das Bewässerungswasser innerhalb des Bewässerungsgebiets transportiert und es an den Nebenanal weiterleitet (Abbildung 8.11). Er verläuft parallel zu den Gegenleitungen. Die Geschwindigkeit des im Hauptkanal fließenden Wassers sollte nicht unter 0,30 m/s liegen, um Verstopfungen und Ablagerungen zu vermeiden, und nicht höher als 2,4 m/s sein, um Erosion zu vermeiden. Die Länge des Hauptkanals kann bis zu 100 km betragen. Das Gefälle des Hauptkanals ist sehr gering und schwankt zwischen 0,0002-0,0005.

**Sekundärkanal:** Er entnimmt das Wasser aus dem Hauptkanal und leitet es an die tertiären Einheiten weiter. Er verläuft senkrecht zu den Höhenlinien im Bewässerungsgebiet. Der Abstand zwischen den Kanälen kann etwa 5-6 km betragen. Das Gefälle des Kanals sollte unter 0,0007 liegen.

**Tertiär-Kanal:** Es handelt sich um den Kanal, der das vom Sekundärkanal erhaltene Wasser in das Bewässerungsgebiet weiterleitet. Er verläuft parallel zu den Umrisslinien. Sein Gefälle schwankt zwischen 0,0002-0,0005. Der Abstand zwischen den Tertiärkanälen beträgt 300-400 m. Die Tertiärkanäle können bis zu 2-3 km lang sein. Ein Tertiärkanal versorgt eine Bewässerungsfläche von maximal 120 ha. Alle 200-250 m oberhalb des Tertiärkanals befindet sich ein Stutzen. Das am Auslass entnommene Wasser wird in den Feld- oder Feldhauptkanal geleitet.



Abbildung 8. 11. Hauptkanal (Quelle: <https://www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/6932> Zugriff am 20.10.2023).

**Feldinterne Wasserverteilungs- und -übertragungsstrukturen:** Das sind Kanäle, die das Wasser aus der Tertiärfassung entnehmen und auf dem Feld verteilen. Sie werden von den Landwirten gebaut. Sie sind höchstens 500 m lang. Ihre Reichweite beträgt bis zu 200 m.

**Canalet-Bewässerungssysteme:** Hierbei handelt es sich um vorgefertigte Bewässerungskanäle mit einem elliptischen oder halbkreisförmigen Querschnitt (Abbildung 8.12).



**Abbildung 8.12.** Canalet-System (Quelle: ?).

**Verrohrte Bewässerungssysteme:** Rohrleitungsbewässerungssysteme sind unterirdisch verlegte Niederdrucksysteme. Das Bewässerungswasser wird über eine erdverlegte Hauptleitung von der Quelle zum Feld gebracht und über erdverlegte Seitenleitungen auf die Feldparzellen verteilt. Am Anfang des Feldes wird das Wasser über sogenannte Schornsteine an die Bodenoberfläche gehoben. Bei diesem System gibt es keine Bodenverluste. Da das System unter Druck steht, wird das Wasser auch bergauf geleitet. Leckagen und Verdunstungsverluste in den Rohrleitungen sind vernachlässigbar. Der Wirkungsgrad der Wasserübertragung liegt bei nahezu 100 %. Abbildung 8.13 zeigt die Konstruktion der Bewässerungswasserleitung.

Der Sickerverlust in Bodenkanälen kann je nach Bodenart über 50 % betragen. Bei Kanälen mit Betonauskleidung ist dieser Wert geringer. Obwohl in Bewässerungsnetzen ein durchschnittlicher Übertragungsverlust von 10 % angegeben wird, heißt es, dass diese Verluste in der Praxis viel größer sind (Çakmak et al. 2008).



**Abbildung 8. 13.** Geschlossene Bewässerungswassertransportleitung.

(Quelle :<https://www.dsi.gov.tr/Galeri/ResimgaleriDetay/2863> Zugriff:21.10.2023).

Die Gesamtfläche der von DSI (Türkische Staatliche Wasserwerke) entwickelten Bewässerungssysteme beträgt 2.623.908 ha, davon entfallen 34,2 % ha auf das klassische System, 35,3 % auf das Kanalsystem und 30,5 % auf das Rohrleitungssystem. Das Rohrsystem hat im Laufe der Jahre zugenommen. Während die Effizienz der von DSI betriebenen und übertragenen Bewässerungsanlagen im Jahr 2015 bei 43 % lag, wird sie im Jahr 2020 bei 48 % liegen (DSI 2021). Diesen Zahlen zufolge könnte die Bewässerungseffizienz auf mindestens 80 % steigen, was 40 % des gesamten in das Gebiet umgeleiteten Wassers entspricht, wenn die Bedingungen, unter denen das Wasser für die Oberflächenbewässerung über offene Kanäle übertragen und verteilt und auf das Land aufgebracht wird, durch Rohrleitungen und Druckbewässerungsmethoden ersetzt werden (DSI 2021).

#### **8.4.2. Bewässerungsmethoden**

Um den Feuchtigkeitsmangel im Boden zu beheben, werden verschiedene Methoden zur Bewässerung des Bodens eingesetzt. Diese Methoden werden in zwei unterteilt: Oberflächenbewässerung und Druckbewässerung.

Bei der Oberflächenbewässerung bewegt sich das Wasser in Richtung eines Hanges und dringt durch die Schwerkraft in das Bodenprofil ein und wird dort gespeichert. Zu den Oberflächenbewässerungsmethoden gehören die Beckenbewässerung, die Grenzbewässerung und die Furchenbewässerung. Bei der Druckbewässerung wird das Wasser mit einer Pumpe auf das Feld gefördert und je nach Bedarf in den Boden abgegeben. Da das System unter Druck steht, wird es von den topografischen Bedingungen nicht beeinflusst. Zu den Druckbewässerungsmethoden gehören Sprinkler- und Tropfbewässerungsmethoden. Von den insgesamt 1 843 125 ha Bewässerungssystemen, die von DSI entwickelt wurden, werden 61 % mit Oberflächenbewässerung, 21,6 % mit Sprinklerbewässerung und 17,3 % mit Tropfbewässerung bewässert (DSI 2021).

**Beckenbewässerungsmethode:** Bei dieser Methode werden die Becken von Dämmen mit einer bestimmten Höhe um das Feld herum umgeben, um zu verhindern, dass das Wasser in die angrenzenden Felder fließt. Sie wird im Allgemeinen für Pflanzen in Reihen und häufig angewandt, insbesondere für Pflanzen, die nicht von stehendem Wasser betroffen sind, wie z. B. Reis. Eine Ansicht der Beckenbewässerung ist in Abbildung 8.14 dargestellt.

**Grenzbewässerungsmethode:** Die Bewässerung des Bodens durch Unterteilung in mehrere Streifen, die durch Abgrenzungen entlang des Feldes getrennt sind, wird als Grenzbewässerungsmethode bezeichnet (Abbildung 8.15). Bei dieser Methode das aus dem Feldkanal kommende Bewässerungswasser zwischen den Rändern entnommen, indem einfach ein Feldauslass geschaffen wird oder indem Siphons oder Abdeckungen verwendet werden. Dank des beidseitigen Dammes fließt es bis zu den Grenzen und erreicht das Ende des Feldes, so dass das Land bewässert wird. Überschüssiges Wasser fließt aufgrund des offenen Endes des Grundstücks in die Entwässerungsgräben ab.



**Abbildung 8.14.** Ein Blick auf die Reisfelder, auf denen die Beckenbewässerungsmethode angewendet wird. (Quelle: Anadolu Agency, 2023. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/bafra-ovasinda-bereketli-yaz-sezonu-icin-hazirlik-yapilerini/2601033>. Zugriff: 12.10.2023).



**Abbildung 8.15.** Methode der Grenzberengung. (Quelle: Stadtverwaltung Ankara, 2023. ([https://www.ankara.bel.tr/files/7814/3893/6464/SULAMA\\_SEZA-OKCU.pdf](https://www.ankara.bel.tr/files/7814/3893/6464/SULAMA_SEZA-OKCU.pdf). Zugriff: 12.10.2023).

**Furchenbewässerungsmethode:** Diese Bewässerungsmethode wird in der Regel für Reihenkulturen verwendet, die eine ausreichende Drainage und Feuchtigkeit benötigen. Furchen sind kleine Kanäle, die entlang der Feldböschung angelegt werden, um Wasser zwischen den Pflanzenreihen zu leiten (Abbildung 8.16). Die Pflanzen werden oft auf den Dämmen zwischen den Furchen angebaut. Diese Methode eignet sich für Pflanzen, die nicht lange im Wasser stehen können, da sie den Kontakt der Pflanze mit dem Wasser reduziert.



**Abbildung 8.16.** Methode der Furchenbewässerung (Quelle: Jeff Vanuga, USDA. <https://www.usgs.gov/media/images/irrigation-methods-furrow-or-flood-irrigation>. Zugriff: 10.12.2023).

**Sprinklerbewässerung:** Bei der Sprinklerbewässerung werden die Pflanzen kontrolliert bewässert, ähnlich wie bei Regen (Abbildung 8. 17). Das Wasser wird über eine Vielzahl von Geräten, bestehend aus Pumpen, Ventilen, Rohren und Sprinklern, auf der Fläche verteilt. Im Allgemeinen ist die Sprinklerbewässerung eine Methode, die zur Bewässerung aller Pflanzenarten verwendet werden kann, mit Ausnahme einiger weniger Pflanzen, die empfindlich auf die Benetzung ihrer Blätter und Stängel reagieren.

In einer in den USA durchgeführten Studie wurden Furchen-, Sprinkler- und Tropfbewässerungsmethoden für die Bewässerung von Zwiebeln verglichen. Die höchste Bewässerungseffizienz wurde mit der Beregnungsmethode erzielt und diese Methode wurde zur Wassereinsparung bei der Bewässerung von Zwiebeln empfohlen (Al-Jamal et al. 2001). Uygan et al. (2021) bauten Zuckerrüben unter Voll- und Defizitbewässerungsbedingungen an und verwendeten dabei eine Beregnungsmethode mit linearer Wirkung. Die Vollbewässerung lieferte den höchsten Zuckerrübenenertrag, aber nicht den höchsten Nettogewinn. Sie erklärten, dass der Hauptgrund dafür darin liegt, dass der Verkaufspreis von Zuckerrüben nach ihrem Zuckergehalt bestimmt wird. In dem Versuch wurde erklärt, dass der Zuckergehalt der Zuckerrüben mit zunehmendem Bewässerungswasser abnimmt. Der höchste Nettogewinn wurde bei dem Versuch erzielt, bei dem 80 % der vollen Bewässerung angewendet wurde. Dies führte auch zu einer um 20 % geringeren Einsparung an Bewässerungswasser im Vergleich zur Vollbewässerung. Sie berichteten auch, dass im Falle eines ernsthaften Mangels an Bewässerungswasser eine Wassereinsparung von 40 % in Betracht gezogen werden sollte, wobei der Nettogewinn nur sehr geringfügig abnimmt.

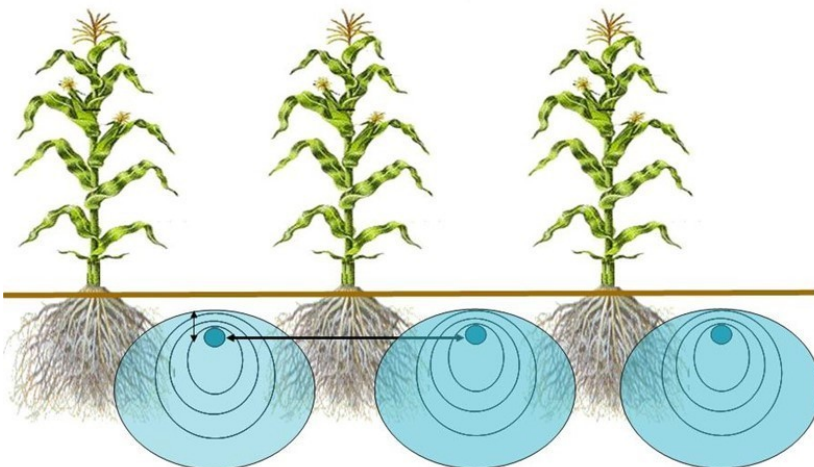


**Abbildung 8.17.** Beregnungsanlage Bewässerungsmethode. (Quelle: Anadolu Agentur 2020. <https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/enerji/dicle-elektrikten-elektrik-tasarrufu-icin-tarimsal-sulama-arastirmasi/658755>. Zugriff: 10.12.2023).

**Tropfbewässerungsmethode:** Bei der Tröpfchenbewässerung wird das Wasser in Form von Tropfen mit einem bestimmten Druck über dünne Rohre auf den Boden gegeben. Nur der Wurzelbereich der einzelnen Pflanzen wird benetzt. Daher handelt es sich um eine effektive Bewässerungsmethode mit hoher Bewässerungseffizienz (Abbildung 8.18). Eine höhere Effizienz wird mit der unterirdischen Tröpfchenbewässerung erreicht. Die Verdunstungsverluste sind geringer. Ein Diagramm der Unterbodentropfbewässerungsmethode ist in Abbildung 8.19 dargestellt. In einer Studie über die Bewässerung von Olivengärten wurden die Methoden der oberflächlichen und der unterirdischen miteinander verglichen. Beim Vergleich des Olivenertrags und des Olivenölertrags wurden höhere Ergebnisse bei Bäumen erzielt, die mit der unterirdischen Tröpfchenbewässerung bewässert wurden. Den Ergebnissen zufolge konnten mit der unterirdischen Tropfbewässerung bis zu 20 % Wasser eingespart werden (Martinez und Reca 2014). Diese Methode kann zur Bewässerung aller Pflanzen und aller Bodenbedingungen verwendet werden.



**Abbildung 8.18.** Tropfbewässerungsmethode (Quelle: Erhan GÖÇMEN).



**Abbildung 8.19.** Unterirdische Tröpfchenbewässerung. (Quelle Abbildung: Roberto Bartolini.

<https://www.ilnuovoagricoltore.it/i-sistemi-a-goccia-su-mais-e-soia-unirrigazione-a-regola-darte/> Zugriff: 13.10.2023)



Co-funded by  
the European Union



## 8.5. LANDWIRTSCHAFTLICHE WASSERWIRTSCHAFT UND GOVERNANCE

Ziel der Wasserbewirtschaftung ist es, die Wasserressourcen planvoll zu erschließen, gerecht zu verteilen und effizient zu nutzen. Das Bewässerungsmanagement ist ein System, das die Verteilung und Nutzung von Wasser für landwirtschaftliche Bewässerungszwecke organisiert. Die Untersuchungsbereiche des landwirtschaftlichen Bewässerungsmanagements in der Türkei umfassen die Vorbereitung, Durchführung und Überwachung von Wasserverteilungsprogrammen während der Bewässerungssaison und ihre Bewertung am Ende der Bewässerungssaison (Çakmak et al., 2008).

Die Bewässerung ist eine wichtige landwirtschaftliche Praxis, um den Nahrungsmittelbedarf der wachsenden Bevölkerung zu decken. Es ist jedoch sehr wichtig, wie dieses Wasser, das eine knappe Ressource ist, von der Quelle bis zur Pflanze verwaltet wird.

### 8.5.1. Wasserwirtschaft in der Türkei

In der Türkei sind die Generaldirektion für staatliche Wasserbauwerke (DSI) und die Generaldirektion für Wasserwirtschaft für die Wasserwirtschaft zuständig. Spezielle Provinzverwaltungen und Großstadtgemeinden sind in gewissem Umfang auch zur Wasserwirtschaft befugt. Darüber hinaus sind die Generaldirektion für Umweltmanagement, die Generaldirektion für Naturschutz und Nationalparks, die Generaldirektion für erneuerbare Energien, die Regulierungsbehörde für den Energiemarkt, das Gesundheitsministerium, das Ministerium für Land- und Forstwirtschaft, die Bank der Provinzen, die Bewässerungsverbände, das Ministerium für Kultur und Tourismus und das Ministerium für Entwicklung direkt oder indirekt für die Bewirtschaftung, die Entwicklung und den Schutz der Wasserressourcen der Türkei zuständig.

Die Generaldirektion der DSI wurde am 18. Dezember 1953 durch das Gesetz Nr. 6200 gegründet und 1954 organisiert.

Um als öffentliche Einrichtung die Ziele des Hochwasserschutzes, der Förderung der Bewässerungslandwirtschaft, der Erzeugung von Energie aus Wasserkraft und der Trinkwasserversorgung von Großstädten und Siedlungen mit kommunalen Einrichtungen wirksam zu erfüllen, liegt der Schwerpunkt ihrer Tätigkeit auf dem Bau von Staudämmen, die den gemeinsamen Punkt dieser vier Ziele bilden. Aus diesem Grund ist die DSI-Generaldirektion als eine Organisation bekannt, die in der Türkei Staudämme baut. Gleichzeitig ist sie die Behörde für die Zuteilung von Wasserressourcen für verschiedene Nutzungszwecke.

Die Generaldirektion der DSI übt ihre Tätigkeit in Übereinstimmung mit den Gesetzen Nr. 6200, 167 und 1053 aus. Diese Gesetze sind im Folgenden zusammengefasst:



Co-funded by  
the European Union



**Mit dem Gesetz über Organisation und Aufgaben Nr. 6200 vom 28/02/1954:**

- Bohrung von Brunnen für Grundwasseruntersuchungen und Forschung,
- Zuweisung von Grundwasser,
- Schutz und Erfassung des Grundwassers,
- Ausstellung von Aufsuchungs-, Nutzungs- und Erneuerungszertifikaten,

**Mit dem Gesetz Nr. 1053 vom 03/07/1968 über die Trinkwasserversorgung von Ankara, Istanbul und Städten mit mehr als 100 000 Einwohnern;**

- Bau von Dämmen und Wassertransportanlagen
- Bau von Bauwerken zur Wasserableitung,
- Bau von Wasserspeicherstrukturen,

Infolge der Änderung von Artikel 10 des Gesetzes Nr. 1053 durch das Gesetz Nr. 5625 vom 18.04.2007 wurde das Bevölkerungskriterium jedoch abgeschafft und DSI wurde für den Bau von Trink- und Brauchwasser- und, falls erforderlich, Abwasseranlagen in allen Siedlungen mit einer Gemeinde autorisiert, und der Name des Gesetzes Nr. 1053 wurde in "Gesetz über die Versorgung von Siedlungen mit Gemeindeorganisationen mit Trink-, Brauch- und Brauchwasser" geändert.

Die Aufgaben und Befugnisse der 2011 gegründeten Generaldirektion für Wasserwirtschaft, die in Artikel 421 des "Präsidialerlasses über die Präsidialorganisation" Nr. 1 vom 10.7.2018 beschrieben sind, sind wie folgt:

- Durchführung von Studien zur Festlegung von Strategien für den Schutz, die Verbesserung und die Nutzung der Wasserressourcen,
- Erstellung von Bewirtschaftungsplänen für Flusseinzugsgebiete auf der Grundlage von Einzugsgebieten, um den Schutz und die Entwicklung ökologischen und chemischen Qualität aquatischen Umwelt unter Berücksichtigung des Gleichgewichts zwischen Schutz und Nutzung der Wasserressourcen, einschließlich der Küstengewässer, zu gewährleisten, sowie Durchführung von Gesetzesstudien zur ganzheitlichen Bewirtschaftung von Flusseinzugsgebieten,
- Verfolgung der Prozesse, die sich aus internationalen Abkommen und anderen Rechtsvorschriften zum Schutz und zur Bewirtschaftung von Wasserressourcen ergeben, Durchführung von Arbeiten im Zusammenhang mit grenzüberschreitenden und grenzbildenden Gewässern in Zusammenarbeit mit den zuständigen Institutionen,
- Schaffung einer nationalen Wasserdatenbank,



Co-funded by  
the European Union



- Ermittlung und Überwachung empfindlicher Gebiete im Hinblick auf Wasserverschmutzung und nitratempfindliche Gebiete,
- Festlegung der Konstruktionsprinzipien, Normen und Kriterien für Trink- und Brauchwasseraufbereitungsanlagen, Bestimmung der Institutionen und Organisationen, die zur Genehmigung der Projekte befugt sind, Ausbildung des Personals, das die Anlagen betreiben wird, und Ausstellung der entsprechenden Zertifikate,
- Durchführung von Studien über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen,
- Festlegung, Bewertung und Aktualisierung der Maßnahmen zur Verhütung von Umweltverschmutzungen auf Ebene des Einzugsgebiets in Zusammenarbeit mit den zuständigen Institutionen und Organisationen sowie Überwachung der Praktiken,
- Festlegung von Zielen, Grundsätzen und Umweltstandards für den Schutz der Qualität und Quantität von ober- und unterirdischen Gewässern in Zusammenarbeit mit den zuständigen Institutionen und Organisationen sowie Überwachung oder Überwachung der Wasserqualität,
- Durchführung von Studien zur Festlegung von Strategien und Politiken in Bezug auf Hochwasser und Ausarbeitung einschlägiger Rechtsvorschriften und Hochwasserschutzpläne,
- Zuweisung von Wasserressourcen auf sektoraler Basis in Übereinstimmung mit den Bewirtschaftungsplänen für die Einzugsgebiete.

### **8.5.2. Wassermanagement auf der ganzen Welt**

Viele Institutionen und Organisationen, insbesondere die Vereinten Nationen (UN), die UN-Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO), der Weltwasserrat (WWC), der Rat für Wirtschaft und nachhaltige Entwicklung, die Europäische Union (EU) und die Weltnaturschutzunion, haben ein Mitspracherecht bei der Wasserbewirtschaftung in der Welt.

Die Wasserrahmenrichtlinie, deren Grundlagen in Europa 1975 gelegt wurden, ist am 22. November 2000 in Kraft getreten. Der wichtigste Grundsatz der Richtlinie definiert Wasser als "... kein kommerzielles Produkt, sondern ein Erbe, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss". Die Richtlinie sieht einen neuen, ganzheitlichen Ansatz vor, der auf diesem Grundprinzip basiert. Ziel es, alle Gewässer in Europa zu schützen und ihren Zustand zu verbessern (Kibaroğlu et al. 2006).

### **Probleme beim Bewässerungsmanagement und Lösungsvorschläge**



Co-funded by  
the European Union



Man kann sagen, dass Probleme in der Wasserwirtschaft in allen Phasen auftreten, angefangen bei der Erschließung von Wasserressourcen bis hin zur Bereitstellung von Wasser vor Ort.

### **Probleme im Zusammenhang mit dem Mangel an physischer Infrastruktur**

- Im Bereich der Bewässerung ist eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung nicht möglich, weil die Erschließungsmaßnahmen im Betrieb (wie Flurbereinigung, Nivellierung und Entwässerung) nicht abgeschlossen werden können.
- Bewässerungskanäle, Rinnen usw. - alles Kunstbauten, die nicht effizient genutzt werden können, weil sie sowohl dem Klima als auch den Nutzern ausgesetzt sind.
- Wenn bei der Bewässerung mehr Wasser als der Bedarf des Bewässerungsgebiets weitergeleitet wird, kommt es zu einer Verschwendung von Wasser und Energie.
- Die Bewässerung mit unzureichenden Wasserressourcen führt dazu, dass die Landwirte vermehrt auf illegale Grundwasserbrunnen zurückgreifen, wodurch die Bewässerungseffizienz sinkt.
- Da es in den meisten Kanalnetzen keine Zwischenspeicherung gibt und keine nächtliche Bewässerung stattfindet, wird das in das Netz eingeleitete Wasser insbesondere in Spitzenzeiten abgeleitet.
- In den Kanälen kommt es zu übermäßiger Sedimentation oder zu Schäden. Dies führt zu hohen Wartungs- und Reparaturkosten.

### **Probleme im Zusammenhang mit dem Betrieb von Bewässerungssystemen:**

- Die niedrigen Preise für Bewässerungswasser in der Türkei beispielsweise führen zu einem übermäßigen Wasserverbrauch in der Landwirtschaft. Die derzeitigen Wassergebühren reichen nicht aus, um die Betriebs- und Wartungskosten zu decken.
- Unbewusste Bewässerungspraktiken und die Tatsache, dass die meisten Bewässerungsnetze alt sind, führen zu einem übermäßigen Wasserverbrauch in der Landwirtschaft. Ein übermäßiger Wasserverbrauch verringert die Effizienz der Bewässerung und führt zu Umweltproblemen wie Versalzung, Anstieg des Grundwassers, Staunässe und Verschmutzung, und die gesamte Bewässerungsfläche kann nicht bewässert werden.
- Die Landwirte nutzen nach wie vor Methoden der Oberflächenbewässerung.
- Während die Pflanzen zu dem Zeitpunkt und in der Menge bewässert werden sollten, die sie für eine optimale Entwicklung benötigen, wird zu viel Wasser verwendet. Dieser Wert kann das 2-3fache des Bedarfs betragen.

### **Probleme mit der Umweltverschmutzung**



Co-funded by  
the European Union



- In der Türkei nimmt die Wasserverschmutzung in Flüssen, Seen und Meeren aufgrund von Bevölkerungswachstum, Verstädterung, Industrialisierung und landwirtschaftlichen Pestiziden und Düngemitteln rapide zu.
- Es ist zu bedenken, dass auch das Grundwasser dieser Gefahr ausgesetzt sein kann.

### **Administrative Probleme**

- Die für die integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen in der Türkei erforderliche institutionelle Struktur existiert nur auf der Ebene der Zentralregierung. Bei der Bewirtschaftung der Wasserqualität gibt es keine vergleichbare Koordination zwischen den relevanten Organisationen.
- Es gibt erhebliche Überschneidungen in den Zuständigkeitsbereichen und Kompetenzabgrenzungen zwischen den Organisationen, was zu Koordinationsmängeln und Störungen der Dienstleistungen führt.
- Trotz einschlägiger Studien ist die Ausbildung von Bewässerungsingenieuren und Technikern für die Wasserverteilung in Bewässerungsverbänden unzureichend.

### **Lösung bietet:**

- Um ein nachhaltiges Wassermanagement in der Landwirtschaft zu gewährleisten, sollten Feldentwicklungsarbeiten wie Nivellierung, Flurbereinigung und Entwässerung zusammen mit Bewässerungssystemen durchgeführt werden. Es sollte nicht vergessen werden, dass der Erfolg von Bewässerungsprojekten von der Regulierung der Beziehungen zwischen Boden, Wasser und Mensch im Projektgebiet der physischen Infrastruktur abhängt.
- Geschlossene Rohrsysteme sollten anstelle von offenen Kanalsystemen für die Wasserübertragung verwendet werden. Sprinkler- und Tropfbewässerungsmethoden sollten anstelle von Oberflächenbewässerungsmethoden für die Wasserzufuhr zu den Pflanzen verwendet werden. Auf diese Weise lässt sich eine Wassereinsparung von 20 bis 30 % erzielen.
- Die missbräuchliche Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen sollte verhindert werden.
- Es sollten Instrumente und Techniken eingesetzt werden, die eine effektive Wassernutzung in der Landwirtschaft gewährleisten. Darüber hinaus ist es mit fortschrittlichen Bewässerungstechnologien möglich, die gleiche Menge oder mehr Produkte mit weniger Bewässerungswasser und weniger Arbeit zu erzeugen, ohne die Umwelt zu schädigen.
- Gesetze, Verordnungen und Vorschriften über die Entwicklung der Boden- und Wasserressourcen entsprechen nicht den heutigen Bedingungen. Für die effektive Nutzung von Boden



Co-funded by  
the European Union



Ressourcen sollten gesetzliche Regelungen getroffen werden, um die nicht-landwirtschaftliche Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen sowie die Verschmutzung und den Verlust von Boden- und Wasserressourcen zu verhindern.

- Um eine effektive Wassernutzung zu gewährleisten, sollte den notwendigen Strukturierungs- und Schulungsmaßnahmen zur Information der Landwirte, zur Gewährleistung der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit der Landwirtschaftsorganisationen und zur Bereitstellung einer soliden Finanzstruktur Priorität eingeräumt werden (Çakmak und Aküzüm, 2006).

## **8.6. MASSGESCHNEIDERTES GESCHÄFTSMODELL FÜR DIE LANDWIRTSCHAFTLICHE WASSERWIRTSCHAFT**

Wie im ersten Kapitel erörtert, wird die Weltbevölkerung bis 2050 auf etwa 9,1 Milliarden Menschen anwachsen, was die globale Nachfrage nach Nahrungsmitteln erheblich steigern wird. Es wird erwartet, dass die Nahrungsmittelproduktion weltweit um 60 % steigen wird, und wenn nur die Entwicklungsländer berücksichtigt werden, könnte sie um bis zu 100 % steigen (FAO 2011, 2021). Derzeit werden 70 % des aus Grundwasserleitern, Flüssen und Seen entnommenen Süßwassers für die Bewässerung von Nutzpflanzen verwendet (FAO 2011, 2017, 2021), und dieser Prozentsatz müsste noch steigen, um den erwarteten Anstieg der Nahrungsmittelproduktion zu bewältigen. Die Verknappung von Land, verfügbarem Wasser und biologischer Vielfalt in Verbindung mit dem Klimawandel beeinträchtigen bereits das Wachstum der landwirtschaftlichen Produktivität, was zu Befürchtungen führt, dass die landwirtschaftliche Produktivität in Zukunft nicht ausreichen wird, um die weltweite Nahrungsmittelnachfrage zu decken (FAO, 2011, 2017, 2021).

Um eine solche Krise zu vermeiden und voraussichtliche Wasserknappheit zu erkennen, muss dringend ein intelligentes Wassermanagement eingeführt werden. Die meisten bestehenden Wasserwerke werden durch veraltete SCADA-Modelle (Supervisory Control and Data Acquisition) gesteuert. Diese Industrieanlagen sind ineffizient und aufgrund praktischer Beschränkungen kaum in der Lage, die Wasserverteilung zu überwachen, zu erkennen oder zu steuern.

Hier werden neue Technologien zur Bereitstellung effizienter und effektiver Anbaumethoden identifiziert und ein Smart IoT-basiertes Wassermanagement untersucht.

Ein intelligentes Wassermanagement mit sensorbasierten Technologien ermöglicht einen effizienten und effektiven Betrieb mit einem Minimum an menschlichen Eingriffen. Ein intelligentes Wassermanagement kann bei der Optimierung des Wasserverbrauchs helfen und Probleme mit Bewässerungssystemen aus der Ferne durch Fernüberwachung und den Einsatz von IoT-Sensoren und vernetzten Feldknoten beseitigen, die eine schnelle Reaktion entsprechend den Landschafts- und Wetterbedingungen in Echtzeit ermöglichen. Die wichtigsten Vorteile der intelligenten Wasserwirtschaft in Wasserwerken sind die Optimierung des Ressourcenverbrauchs und die Überwachung der Komponenten. Von der Erkennung von Leckagen, Wasserverschwendung und Qualität, Komponenten und Geräten



Co-funded by  
the European Union



Die besten Umsetzungsmöglichkeiten bietet die Anpassung der Betriebszeiten an den Wasserbedarf des intelligenten Wassermanagements (Bhardwaj 2022).

Um Bewässerungswasser effizient nutzen zu können, müssen wir die Dynamik des Wasserverbrauchs der Pflanzen in Verbindung mit dem Wetter, der Pflanzenphysiologie und den Bodeneigenschaften verstehen. Unter den verschiedenen entwickelten und vorgeschlagenen Methoden zur Bewässerungsplanung sind drei Arten am wichtigsten: wetterbasierte, bodenfeuchtebasierte und auf dem Wasserstatus der Pflanzen basierende traditionelle Ansätze (Ahmad et al. 2023).

Ein innovatives intelligentes Bewässerungssystem besteht aus Firmware, Software und Hardware, die über verschiedene Computertechniken miteinander verbunden sind, darunter künstliche Intelligenz (KI) und Deep Learning (DL) usw., und sorgt für die richtige Wassermenge zum richtigen Zeitpunkt in den Kulturen, um die WUE zu verbessern, den Ertrag zu steigern, den Düngemiteleinsatz zu verringern, die Arbeitskosten zu senken und Energie zu sparen. Zur Verbesserung der Effizienz des Bewässerungssystems werden verschiedene Steuerungsmethoden eingesetzt, indem Variablen wie die Temperatur der Baumkronen und der Luft, die Evapotranspiration, der Niederschlag und die Sonneneinstrahlung überwacht werden. Durch die Integration von Informationen aus verschiedenen Quellen können intelligente Bewässerungssysteme die Pflanzenproduktion und das Ressourcenmanagement erheblich verbessern. Im folgenden Abschnitt werden verschiedene aktuelle Techniken im Zusammenhang mit intelligenten Bewässerungssystemen in der Landwirtschaft vorgestellt (Ahmad et al. 2023).

### **Künstliche Intelligenz (AI) und Deep Learning (DL)**

KI ist die Fähigkeit einer Maschine, zu lernen und Aufgaben auszuführen, die denen des menschlichen Gehirns ähneln, und sie wird von Computern betrieben. Bei der Anwendung auf ein bestimmtes Problemfeld können KI-Algorithmen die menschliche Entscheidungsfindung imitieren. Bewässerungssysteme wurden mit Hilfe von Fuzzy-Logik, Expertensystemen und künstlichen neuronalen Netzen (ANNs) in die KI integriert, um adaptive Entscheidungen zu treffen (Ahmad et al. 2023).

Ein ANN ist ein Algorithmus zur Informationsverarbeitung, der sich an der Funktionsweise des menschlichen Gehirns orientiert. Wie die Neuronen des menschlichen Gehirns enthält auch ein ANN ein neuronales Netz, doch werden die Synapsen durch vorgespannte Verbindungen und Gewichte ersetzt. Dies erleichtert die Abbildung von Eingabe- und Ausgabebeziehungen. ANN-basierte Steuersysteme können lernen und sich an die variable Dynamik anpassen, was sie ideal für Bewässerungssysteme macht. Darüber hinaus wurden ANNs als intelligente Strategien im Umgang mit dem Problem der Formulierung mathematischer Modelle auf der Grundlage erster Prinzipien eingesetzt. In letzter Zeit haben viele Forscher ANN-Methoden für die Bewässerungsplanung eingesetzt. Unter Verwendung des AQUACROP-Modells, das mit einem dynamischen neuronalen Netz integriert ist, simulierten Adeyemi et al. (2018) die Bodenfeuchtigkeit für eine Kartoffelkultur. Karasekreter et al. (2013)



Co-funded by  
the European Union



wiesen Energie- und Wassereinsparungen von bis zu 23,9 % bzw. 20,5 % nach, indem sie ein ANN mit integrierten bodenphysikalischen Eigenschaften und Feuchtigkeitsgehalt in einem Erdbeerfeld einsetzten. Umair und Muhammad entwarfen (2010) ein ANN-basiertes Steuerungsmodell in MATLAB unter Verwendung von Klimavariablen als Input.

Tsang et al. (2016) verwendeten sieben verschiedene Algorithmen des maschinellen Lernens, die als hybride KI bekannt sind, um die Bodenfeuchtigkeit anhand von Luftbildern landwirtschaftlicher Felder zu bewerten und die Bewässerung zu steuern. Die Ergebnisse zeigten eine Reduzierung des Wasserverbrauchs um 52 % durch die Verringerung von Fehlern in Bezug auf Zeitpunkt, Bewässerungshöhe und Standort.

Die Deep-Learning-Methode hingegen wird heute angewandt, um Millionen von Gewichten zwischen den Neuronen zu verarbeiten und so das Verhalten besser zu verstehen, dank der jüngsten Entwicklungen in der Computertechnologie bei Parallelverarbeitung, Software und Hardware. DL hat sich zu einer revolutionären Epoche entwickelt, da es die Probleme lösen kann, mit denen die künstliche Intelligenz seit langem konfrontiert ist. Deep Learning wurde in den Bereichen Landwirtschaft und Hydrologie eingesetzt, da die Verfügbarkeit von Softwaredaten, das Budget und die Komplexität schwierig sind, z. B. bei der Modellierung und Annäherung der Evapotranspiration von Pflanzen (Ahmad et al. 2023).

### **Model Predictive Control (MPC) System**

MPC bezieht sich auf eine Kategorie fortschrittlicher computergesteuerter Algorithmen, die ein explizites Prozessmodell verwenden, um die zukünftige Reaktion einer Anlage vorherzusagen. Die in den 1960er Jahren entwickelte modellprädiktive Steuerung ist aus der optimalen Steuerung hervorgegangen. Das Grundprinzip der MPC besteht darin, ein dynamisches Modell zur Vorhersage des Systemverhaltens zu verwenden und die Vorhersage zu optimieren, um den Steuerungsschritt zum aktuellen Zeitpunkt zu bestimmen. Zusätzlich zu ihrer Flexibilität löst die modellprädiktive Steuerung wiederholt eingeschränkte Probleme der optimalen Steuerung online.

Das modellprädiktive System wurde bei der Bewässerungsplanung, der Steuerung von Bewässerungskanälen, der Bodenfeuchtigkeit und der Regulierung des Stammwasserpotenzials eingesetzt. Die modellprädiktive Steuerung (MPC) hat ihre Anwendbarkeit für den Betrieb von Schranken und die Steuerung des Kanalfusses bewiesen. Das Managementziel der modellprädiktiven Steuerung von Kanälen besteht darin, den Wasserstand so nahe wie möglich an den Sollwerten zu halten. Daher ein geeignetes Modell erforderlich, das die Dynamik der Wasserstände in den Kanälen regelt. Ein modellprädiktives Steuerungssystem wurde eingesetzt, um die Wasserbewegung in den Kanälen zu modellieren, wobei ein bestimmter Wasserstand an verschiedenen Stellen und der Wasserfluss, der diese Wasserstände beeinflusst, beibehalten werden. Die Kontrollinstrumente halten den Wasserfluss aufrecht, wodurch die Regulierungsbehörde die Bewirtschaftungsziele erreichen kann. Dieses Ziel ist jedoch nicht einfach zu erreichen, da Schwankungen der Zu- und Abflüsse das gesamte Wassersystem stören. Unter



Co-funded by  
the European Union



Um künftige Wassermengen und -stände als Reaktion auf Steuerungsmaßnahmen und Störungen abschätzen zu können, muss das Wassersystem (Steuerung, Kanalstrecken, Störungen und Strukturen) modelliert werden. Mehrere Autoren haben MPC bei der Steuerung der Bewässerungsströme von Kanälen eingesetzt. So haben Puig et al. MPC angewandt, um Ansätze zur Durchflussregelung von der Wasserquelle bis zum Nutzer und dem Bewässerungsgebiet des Guadiana-Flusses zu entwickeln. Die Ergebnisse zeigten die Nützlichkeit der MPC-Anwendung (Ahmad et al. 2023).

### **Bewässerung mit variabler Rate (VRI)**

VRI ist eine Methode, bei der die Bewässerung mit variablen Mengen in verschiedenen Bewässerungsmanagementzonen auf dem gesamten Feld optimiert wird. Normalerweise ist die Ausbringung von Bewässerungswasser auf dem gesamten Feld gleichmäßig. Aufgrund der räumlichen Variabilität der Bodentopografie, der hydraulischen Eigenschaften und der Vegetationsbedingungen ist der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens jedoch nicht einheitlich. Wenn diese räumliche Variabilität des Bodens signifikant wird, wird das Feld in verschiedene Bewirtschaftungszonen aufgeteilt, die aus Feldbereichen mit denselben Bodeneigenschaften und Anbaubedingungen bestehen. Dann wird die Bewässerung in den verschiedenen Bewirtschaftungszonen mit unterschiedlichen Mengen durchgeführt. Ein solches variables Bewässerungsmanagement kann den wirtschaftlichen Wert der Bewässerung durch Verbesserung der WUE, Steigerung der Produktivität und Verringerung der Nährstoffauswaschung erhöhen. Dies ermöglicht eine genaue und rechtzeitige Wasseranwendung auf der Grundlage der räumlich-zeitlichen Bodeneigenschaften und des Pflanzenbedarfs (Ahmad et al. 2023).

Mit anderen Worten: Die VRI-Technologie gewährleistet die Ausbringung der richtigen Wassermenge zur richtigen Zeit in der richtigen Feldzone, was zu erheblichen Wassereinsparungen führt. Zu den Hauptbestandteilen der VRI-Technologie gehören Sensoren, Rezeptkarten, räumliche Informationen und ein System zur Ausbringung von VRI-Rezepten (Seitenbewässerung) auf dem Feld. Die Optimierung der VRI-Vorschriften wird in der Regel mit Hilfe von Fernerkundung, Ertragskarten, Topografie, scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit des Bodens und Bodenkarten ermittelt. Die VRI unterstützt auch die Ausbringung von Düngemitteln mit variablen Raten, was sich positiv auf die Variabilität des Nährstoffbedarfs der Pflanzen auswirken würde (Ahmad et al. 2023).

Neben ihren zahlreichen Vorteilen hat die VRI auch einige Nachteile, darunter höhere Kosten, die Komplexität bei der Erstellung von Bodenkarten und die Wartung des Systems. Insgesamt ist die VRI-Technologie eine gute Möglichkeit, kostbare Wasserressourcen präzise zu nutzen, aber es sind erhebliche Anstrengungen erforderlich, um diese Technologie erschwinglich und benutzerfreundlicher zu machen (Ahmad et al. 2023).

### **Unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) für das Bewässerungsmanagement**



Co-funded by  
the European Union



UAVs, auch Drohnen genannt, werden häufig mit militärischen Operationen in Verbindung gebracht, da sie als Waffen für das Zielen von Flugzeugen eingesetzt werden und an Nachrichtendiensten beteiligt sind. Drohnen sind auch für die Überwachung der Bewässerung nützlich, da sie Infrarot- oder Wärmebildkameras im IOT-Netz verwenden

Kürzlich wurden UAVs mit IoT-basierten Sensornetzwerken für intelligente Bewässerungszwecke eingesetzt, wodurch die Produktivität der Ernte erheblich gesteigert werden konnte. Die Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass die UAV-basierten Multiband-Bilder nützlich sind und sich für ein präzises Bewässerungs- und als wesentlich erweisen. RGB-Kameras (rot, grün und blau) können mit einer Drohne verwendet werden, um die Biomasse von Pflanzen anhand der sichtbaren Reflexion zu bestimmen und Vegetationsindizes zu ermitteln (Ahmad et al. 2023).

### **Vorhersage von intelligenter Bewässerungstechnologie mit Entscheidungsunterstützungssystemen (DSS)**

Ein Entscheidungshilfesystem (DSS) ist ein interaktives, softwarebasiertes System, das dazu dient, Entscheidungen auf der Grundlage von Rohdaten, Dokumenten und persönlichem Wissen zu ermitteln, zu analysieren und zu verbessern. Verschiedene Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS) wurden für die Verwaltung von Bewässerungswasser zur Verbesserung der WUE entwickelt. Ein intelligentes und effizientes DSS muss mehrere Faktoren berücksichtigen, wie z. B. den Wasserzustand des Bodens, die Kulturart, die Bewässerungsmethode, Wetterinformationen und die Anwendung, um eine Bewässerungsplanung zu entwickeln. Zur Erleichterung einer präzisen Bewässerungsplanung durch Minimierung von Fehlern bei der Schätzung der Bodenfeuchte auf dem Feld liefern DSS nicht nur Bewässerungspläne für den aktuellen Tag, sondern auch Prognosen für Bewässerungsereignisse an zukünftigen Tagen (Ahmad et al. 2023).

Basierend auf der Idee der Vorhersage der Bewässerung wurde kürzlich ein Prototyp eines DSS für die Bewässerungsplanung mit der Bezeichnung Decision Support System for Irrigation Scheduling (DSSIS) für Trockengebiete entwickelt. Dieses DSSIS ist in der Lage, Bewässerungsereignisse für den aktuellen Tag vorherzusagen und die Bewässerung für die Zukunft zu prognostizieren, indem es die Wetterdaten der nächsten vier Tage nutzt (Chen et al. 2019).

Dieses System (DSSIS) wurde für die Planung der Baumwollbewässerung bei Voll-, Defizit-, Erfahrungs- und sensorgestützter Bewässerung in einer Trockenregion getestet. Bei der Defizitbewässerung sparte DSSIS 50 % des Bewässerungswassers bei einer Ertragssteigerung von 4 % und einer Steigerung der Wasserproduktivität um bis zu 80 % gegenüber der erfahrungsbasierten Bewässerung (Chen et al. 2022).

### **Herausforderungen bei der Gestaltung intelligenter, nachhaltiger und benutzerfreundlicher Bewässerungssysteme**

Bei der Entwicklung intelligenter, nachhaltiger und benutzerfreundlicher Bewässerungssysteme sind einige Herausforderungen zu berücksichtigen. Diese sind:



Co-funded by  
the European Union



- Die Variabilität der Bodentextur ist eine wesentliche Quelle der Unsicherheit, da sie die Schätzungen der aktuellen und potenziellen Wasserspeicherung im Boden sowohl in der Vertikalen als auch in der Lateralen auf einem Feld beeinflusst. Daher ist eine standortspezifische Bodenanalyse eine Möglichkeit, dieses Problem zu beheben und die genauen Bodenparameter zu ermitteln, die für eine genaue Bewässerungsplanung erforderlich sind.
- meisten Experimente im Zusammenhang mit intelligenten Bewässerungssystemen wurden in kleinem Maßstab auf Forschungsfeldern oder unter kontrollierten Umweltbedingungen durchgeführt, die nicht der kommerziellen landwirtschaftlichen Praxis entsprechen. Studien auf großen Feldern sind notwendig
- Erschwingliche und benutzerfreundliche Geräte sollten auf lokaler hergestellt werden.
- Die meisten Landwirte in Trockengebieten sind nicht gut ausgebildet und sollten durch praktische Demonstration intelligenter Bewässerungssysteme von fachkundigen Beratern geschult werden.
- Darüber hinaus sollten die Regierungen den Landwirten Subventionen für die Verbreitung solcher Technologien in großem Maßstab gewähren.



Co-funded by  
the European Union



## REFERENZEN

- Adeyemi, O.; Grove, I.; Peets, S.; Domun, Y.; Norton, T. Dynamic neural network modelling of soil moisture content for predictive irrigation scheduling. *Sensors* 2018, 18, 3408.
- Al-Ghobari, HM ve Dewidar, AZ (2018). Kurak bölgelerde su tasarrufuna yönelik bir strateji olarak açık sulamanın yüzey ve yüzey altı damla sulamaya entegre edilmesi. *Tarımsal Su Yönetimi*, 209, 55-61.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rom, 300(9), D05109.
- Ahmed, Z.; Gui, D.; Murtaza, G.; Yunfei, L.; Ali, S. An Overview of Smart Irrigation Management for Improving Water Productivity under Climate Change in Drylands. *Agronomy* 2023, 13, 2113.
- Akinngbe .M und Irohibe I. J (2014). Landwirtschaftliche Anpassungsstrategien an die Auswirkungen des Klimawandels in Afrika: ein Überblick. *Bangladesh J. Agril. Res.* 39(3): 407-418.
- Alberto Boretti A, Rosa L. (2019). Reassessment the projections of the World Water Development Report. *Clean Water* (2019) 2:15 ; <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>.
- Al-Jamal, M. S., Ball, S., & Sammis, T. W. (2001). Vergleich der Effizienz von Sprinkler-, Riesel- und Furchenbewässerung im Zwiebelanbau. *Landwirtschaftliche Wasserwirtschaft*, 46(3), 253-266.
- Allen R, Pereira L. S, Raes D ve Smith M (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Be- und Entwässerungspapier. No: 56. Rom. Amare, T. (2016). Review on Impact of Climate Change on Weed and Their Management. *American Journal of Biological and Environmental Statistics*. Vol. 2, No. 3, pp. 21-27. doi: 10.11648/j.ajbes.20160203.12.
- Anderson, W. K. und Siddique K. H. M. (2015). Die Rolle und der Wert von Ernterückständen in der Trockenlandwirtschaft. *Indian Journal of Agronomy* 60 (3): 332-340.
- Barnett T, Adam J, Lettenmaier D. Potentielle Auswirkungen einer Klimaerwärmung auf die Wasserverfügbarkeit in schneedominierten Regionen. *Nature* 2005, 438:303-309.



Co-funded by  
the European Union



- Bates B, Kundzewicz Z, Wu S, Palutikof J. Climate change and water. Technisches Papier der Zwischenstaatlichen Sachverständigengruppe für Klimaänderungen. Genf, Schweiz: IPCC-Sekretariat; 2008.
- Beniston M. Linking extreme climate events and economic impacts: examples from the Swiss Alps. *Energiepolitik* 2007, 35:5384-5392.
- Bhardwaj A, Kumar M, Alshehri M, Keshta I, Abugabah A und Sharma SK (2022) Smart water management framework for irrigation in agriculture, *Environmental Technology*, DOI: 10.1080/09593330.2022.2039783.
- Bisselink B., Bernhard J., Gelati E., Adamovic M., Guenther S., Mentaschi L., Feyen L., und de Roo, A, Climate change and Europe's water resources, EUR 29951 DE, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, 2020, ISBN 978-92-76-10398-1, doi:10.2760/15553, GFS118586.
- Bruinsma, J. 2009. Der Ressourcenausblick bis 2050. Expertentreffen zum Thema "Wie ernähren wir die Welt im Jahr 2050? FAO, Rom.
- Bozkurt, Deniz & Sen, Omer. (2012). Auswirkungen des Klimawandels im Euphrat-Tigris-Becken auf der Grundlage verschiedener Modell- und Szenariosimulationen. *Journal of Hydrology*. 480. 10.1016/j.jhydrol.2012.12.021.
- Burek, P. et al. Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper (International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Österreich, 2016).
- Calanca P. Climate change and drought occurrence in the Alpine region: how severe are becoming the extremes? *Glob Planet Change* 2007, 57:151-160.
- Carruthers, I., Rosegrant, M. W., & Seckler, D. (1997). Bewässerung und Ernährungssicherheit im 21. Jahrhundert. *Bewässerung und Entwässerungssysteme*, 11, 83-101.
- Ciais P, Reichstein M, Viovy N, Granier A, Ogée J, Allard V, Aubinet M, Buchmann N, Bernhofer C, Carrara A, et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Natur* 2005, 437:529-533.
- Chen, X.; Qi, Z.; Gui, D.; Gu, Z.; Ma, L.; Zeng, F.; Sima, M.W. A model-based real-time decision support system for irrigation scheduling to improve water productivity. *Agronomy* 2019, 9, 686.
- Chen, X.; Feng, S.; Qi, Z.; Sima, M.W.; Zeng, F.; Li, L.; Wu, H. Optimizing Irrigation Strategies to Improve Water Use Efficiency of Cotton in Northwest China Using RZWQM2. *Landwirtschaft* 2022, 12, 383.



Co-funded by  
the European Union



- Umfassende Bewertung. 2007. Water for food, water for life: the comprehensive assessment of water management in agriculture, D. Molden, ed. London, Earthscan und Colombo, International Water Management Institute.
- Çakmak B, Tanrıvermiş H, Benli B (1999). Türkiye'de Sulama ve Tarımsal Kalkınma. VII. Kültürteknik Kongresi, 17-25. Kapodakya.
- Çakmak B, Yıldırım M, Aküzüm T (2008). Türkiye'de Tarımsal Sulama Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, 215-224, Ankara.
- Çakmak, B., Yıldırım, M., & Aküzüm, T. (2008). Türkiye'de tarımsal sulama yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi.
- Davidson, N. C. Wie viel Feuchtgebiet hat die Welt verloren? Langfristige und aktuelle Trends bei der globalen Feuchtgebietsfläche. *Mar. Freshw. Res.* 65, 934-941 (2014).
- Dellal, I., McCarl, B.A., Butt, T. (2011). The Economic Assessment of Climate Change on Turkish Agriculture, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, Vol: 12, No: 1, 376-385.
- Deveci, H. (2015). Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf Oberflächenwasserressourcen, Bodenfeuchte und Pflanzenenertrag in der Region Thrakien. Dissertation Tekirdag Namık Kemal Universität.
- Debaeke P, Aboudrare A. Adaptation of crop management to water-limited environments, *European Journal of Agronomy*, 2004, vol. 21 (pg. 433-446).
- DSİ 2021. DSİ 2020 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1499>  
[Erişim 13.01.2023](#)
- DS023. Toprak Su Kaynakları. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>.
- Eitzinger J, Trnka M, Semerádová D, Thaler S, Svobodová E, Hlavinka P, Šiška B, Takáč J, Malatinská L, Nováková M, et al. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe-hotspots, regional differences and common trends. *J Agric Sci* 2013, 151:787-812.
- English, M. J., Solomon, K. H., & Hoffman, G. J. (2002). Ein Paradigmenwechsel im Bewässerungsmanagement. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 128(5), 267-277.
- Eurostat (2016): Landwirtschafts-, Forstwirtschafts- und Fischereistatistik. Eurostat-Website Eurostat, Luxemburg. Available at <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7777899/KS-FK-16-001-EN-N.pdf/cae3c56f-53e2-404a-9e9e-fb5f57ab49e3> (19.09.2023).



Co-funded by  
the European Union



- Falkenmark M, Rockström J. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. *J Water Resour Plann Manage* 2006, 132:129-132.
- Falkenmark, 1986 M. Falkenmark Fresh water-time for a modified approach *Ambio*, 15 (4) (1986), S. 192-200.
- Farooq, M. und Siddique, K.H.M. (2015). Conservation Agriculture: Concepts, brief history, and impacts on agricultural systems. (In) *Conservation Agriculture*, Farooq, M., Siddique, K.H.M. (Eds.), S. 3-17, Springer International Publishing Switzerland.
- FAO, 2003. Die Herausforderung der Bewässerung. Issues Paper 4. Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation Vereinten Nationen, Rom.
- FAO,2023a.FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL> Erişim:10.10.2023
- FAO,2023b.CropWat.<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/> Erişim 20.10.2023
- FAO & Nationales Zentrum für Dürrebekämpfung (NDMC). 2008. Handbuch für die Dürreplanung im Nahen Osten: Leitlinien für die Planung von Dürrebekämpfung und -vorsorge. Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen, Regionalbüro für den Nahen Osten, Kairo und University of Nebraska-Lincoln, National Drought Mitigation Center.
- FAO. 2010. "Klimagerechte Landwirtschaft: Politiken, Praktiken und Finanzierung für Ernährungssicherheit, Anpassung und Abschwächung. Rom.
- FAO. (2013). *Climate Smart Agriculture Sourcebook*. Rome. <https://www.fao.org/climatechange/37491-0c425f2caa2f5e6f3b9162d39c8507fa3.pdf>.
- FAO Global Forest Resources Assessment 2015: Wie verändern sich die Wälder der Welt? Zweite Ausgabe (FAO, Rom, 2016). [www.fao.org/3/a-i4793e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i4793e.pdf).
- FAO/Intergovernmental Technical Panel on Soils (AO/ITPS). Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. (FAO, Rom, 2015). [www.fao.org/3/a-i5199e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf).
- FAO (UN-Organ für Ernährung und Landwirtschaft). **2020**. AQUASTAT - Das globale Informationssystem der FAO über Wasser und Landwirtschaft. *Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen*. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.
- FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture- Managing Systems at Risk; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rom, Italien, 2011. United Nations: Rom, Italien, 2012.



Co-funded by  
the European Union



- FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture-Systems at Breaking Point (SOLAW 2021); Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen: Rom, Italien, 2021.
- FAO. The State of Food and Agriculture 2017. Leveraging Food Systems for Inclusive Rural Transformation; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rom, Italien, 2017.
- Faurès, J.M., Bernardi, M. & Gommès, R. 2010. Es gibt keinen Durchschnitt: Wie Landwirte mit klimabedingter Unsicherheit und anderen Faktoren umgehen. Internationale Zeitschrift für die Entwicklung von Wasserressourcen, 26: 4, 523-542.
- Bundesministerium Republik Österreich - Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. Umweltbundesamt: Helga Lindinger, Johannes Grath, Heike Brielmann, Arnulf Schönbauer, Ingrid Gattringer, Christina Formanek, Martine Broer, Thomas Rosmann; Ingenieurbüro Holler: Christian Holler, Manfred Szerencsits; BOKU: Roman Neunteufel, Nadine Sinemus, Maximilian Grunert, Verena Germann. Projektleitung: Günter Liebel, Ernst Überreiter. Bildnachweis: Ernst Formann (Coverfoto: Kläfferquelle S.1). (2021). Österreichs Wasserschatz. Stubenring 1, 1010 Wien.
- Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, et al. 2014. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. CB Field, VR Barros, DJ Dokken, KJ Mach, MD Mastrandrea, et al., S. 1-32. Cambridge, UK/New York: Cambridge Univ. Press.
- Fischhendler I, Zilberman D. **2005**. Packaging policies to reform the water sector: the case of the Central Valley Project Improvement Act. *Water Resour. Res.* 41:W07024.
- Gampe D, Nikulin G, Ludwig R. 2016. Using an ensemble of regional climate models to assess climate change impacts on water scarcity in European river basins. *Sci. Total Environ.* 573:1503-18.
- García-Herrera R, Díaz J, Trigo R, Luterbacher J, Fischer E. A review of the European summer heat wave of 2003. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2010, 40:267-306.
- Gosling SN, Arnell NW. 2016. Eine globale Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserknappheit. *Clim. Change* 134:371-8510.
- Gleick PH, Coley H 2021. Annual Review of Environment and Resources. Vol. 46:319-348 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>.



Co-funded by  
the European Union



- Gommes, R., Acunzo, M., Baas, S., Bernardi, M., Jost, S., Mukhala, E. & Ramasamy, S. 2010. Kommunikationsansätze in der angewandten Agrometeorologie, In K. Stigter, ed. Angewandte Agrarmeteorologie, S. 263-287, Heidelberg, Springer.
- Güngör, Y., Erözel, Z., ve Yıldırım, O. 2004 Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1540, Ankara.
- Hagg W, Braun L, Kuhn M, Nesgaard T. Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments. J Hydrol 2007, 332:40-53.
- Hochrangige Expertengruppe für Ernährungssicherheit und Ernährung (HLPE). 2012. Klimawandel und Ernährungssicherheit. Ein Bericht der HLPE des Ausschusses für Welternährungssicherheit, Rom.
- Zwischenstaatliche Sachverständigengruppe für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge, Vereinigtes Königreich und New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC, 2007: Klimawandel 2007: Synthesis Report. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change) [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Genf, Schweiz, 104 Seiten.
- IPCC. Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel: Sonderbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen. Cambridge und New York: Cambridge University Press; 2012.
- IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge und New York: Cambridge University Press; 2013.
- IPCC. Climate Change 2014: Auswirkungen, Anpassung und Anfälligkeit, Teil A: Globale und sektorale Aspekte. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen. Cambridge und New York: Cambridge University Press; 2014.
- IPCC. Klimawandel 2014: Auswirkungen, Anpassung und Anfälligkeit, Teil B: Regionale Aspekte. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen. Cambridge und New York: Cambridge University Press; 2014.
- Kadioglu, M., Unal, Y, Ilhan, A. und Yuruk, C. (2017). Türkiye'de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik. Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekler Federasyonu Yayını.



Co-funded by  
the European Union



<https://www.tgdf.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/iklim-degisikligi-rapor-elma.compressed.pdf>.

- Karasekreter, N.; Basciftci, F.; Fidan, U. A new suggestion for an irrigation schedule with an artificial neural network. *J. Exp. Theor. Artif. Intell.* 2013, 25, 93-104.
- Karam, F., Saliba, R., Skaf, S., Breidy, J., Rouphael, Y., & Balendonck, J. (2011). Ertrag und Wasserverbrauch von Auberginen (*Solanum melongena* L.) unter Voll- und Defizitbewässerung. *Agricultural Water Management*, 98(8), 1307-1316.
- Kibaroglu, A., Sağsen, İ., Kaplan, Ö., Sümer, V., 2006. Türkiye' nin Su Kaynakları Politikasına kapsamlı bir bakış: Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve örneği. TMMOB Su Politikaları Kongresi, 21-23 Mart 2006, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, Ankara, s.184-194.
- Knutson T, Tuleya R. Impact of CO<sub>2</sub>-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization. *J Clim* 2004, 17:3477-3495.
- Konukcu, F., Albut, S. Ve Altürk A. (2019). TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Estratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 46-60.
- Kundzewicz ZW, Mata LJ, ArnellNW, Döll P, Jimenez B, Miller K, Oki T, Sen Z, Shiklomanov I. Freshwater resources and their management. In: Parry M, Canziani O, Palutikof J, van der Linden P, Hanson C, eds. *Klimawandel 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (Auswirkungen, Anpassung und Anfälligkeit)*, Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.
- Lakhran, H., Kumar, S., und Bajjiya, R., (2017). Crop Diversification: An Option for Climate Change Resilience. *Trends in Biosciences* 10(2), 516-518, 2017.
- Lal, R. (2010). Eine doppelte Antwort der konservierenden Landwirtschaft auf den Klimawandel: Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Verbesserung der Kohlenstoffsенke im Boden. (In) *Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture-Towards Agro-environmental Climate and Energetic Sustainability*, Madrid, Spain, 4-7 October 2010. pp. 3-18.
- Li, J., Smith, D. W., Fityus, S. G., & Sheng, D. (2003). Numerische Analyse von Neutronen-Feuchtigkeitssondenmessungen. *Internationale Zeitschrift für Geomechanik*, 3(1), 11-20.



Co-funded by  
the European Union



- Lobell D, Hammer G, McLean G, Messina C, Roberts M, Schlenker W. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nat Clim Change* 2013, 3:497- 501.
- Loss, S., Haddad, A., Khalil, Y., Alrijabo, A., Feindel, D. und Piggan, C. (2015). Entwicklung und Anpassung der konservierenden Landwirtschaft im Nahen Osten. (In) Farooq, M., Siddique, K. H.M. (Eds.) *Conservation Agriculture*. Springer International Publishing Schweiz. pp. 197-224.
- Martínez, J., & Reça, J. (2014). Wassernutzungseffizienz der Oberflächen-Tropfbewässerung im Vergleich zu einer alternativen unterirdischen Tropfbewässerungsmethode. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(10), 04014030.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. Vier Milliarden Menschen stehen vor ernsthafter Wasserknappheit. *Sci Adv*. 2, e1500323 (2016).
- Mann ME, Gleick PH. 2015. Klimawandel und kalifornische Dürre im 21. Jahrhundert. *PNAS* 112:3858-59.
- Meehl G, Tebaldi C. Stärkere, häufigere und länger anhaltende Hitzewellen im 21. Wissenschaft 2004, 305:994-997.
- Mínguez M, Ruiz-Ramos M, Díaz-Ambrona C, Quemada M, Sau F. Auswirkungen erster Ordnung auf Winter- und Sommerkulturen, bewertet mit verschiedenen hochauflösenden Klimamodellen auf der Iberischen Halbinsel. *Clim Change* 2007, 81:343-355.
- Mishra A, Singh V. A review of drought concepts. *J Hydrol* 2010, 391:202-216.
- Mueller Schmied H, Adam L, Eisner S, Fink G, Flörke M, et al. 2016. Variationen globaler und kontinentaler Wasserhaushaltskomponenten unter dem Einfluss von Klimaerwärmungsunsicherheit und menschlicher Wassernutzung. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20:2877-9811.
- Muluk., Kurt B., Turak A., Türker A., Çalışkan MA., Balkız Ö., Gümrükçü S., Sarıgül G., Zeydanlı U. Türkiye'de Suyun Durumu Ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi. 2013.
- Murdoch P, Baron J, Miller T. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Qualität des Oberflächenwassers in Nordamerika. *J Am Water Resour Assoc* 2000, 36:347-366.
- Molle F, Mollinga P. 2003. Indikatoren für Wasserarmut: konzeptionelle Probleme und politische Fragen. *Wasserpolitik* 5:529-44.
- Nelson GC, Rosegrant MW, Koo J, Robertson R, Sulser T, Zhu T, Ringler C, Msangi S, Palazzo A, Batka M, et al. *Climate Change Impacts on Agriculture and Costs of Adaptation*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute; 2009.



Co-funded by  
the European Union



- Ohmura A, Wild M. Beschleunigt sich der hydrologische Zyklus? *Wissenschaft* 2002, 298:1345-1346.
- Oweis, T. und Hachum, A. (2012) Ergänzende Bewässerung. In: A highly efficient water-use practice. Aleppo, Syrien: International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Oweis, T., Hachum, A., & Pala, M. (2004). Linsenproduktion unter zusätzlicher Bewässerung in einer mediterranen Umgebung. *Landwirtschaftliche Wasserwirtschaft*, 68(3), 251-265.
- Razouk, R., Ibjibjen, J., & Kajji, A. (2013). Optimal time of supplemental irrigation during fruit development of rainfed olive tree (*Olea europaea*, cv. Picholine Marocaine) in Morocco. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(4), 685-697.
- Rodell M, Beaudoin HK, L'Ecuyer T, Olson WS, Famiglietti JS, et al. 2015. Der beobachtete Zustand des Wasserkreislaufs im frühen einundzwanzigsten Jahrhundert. *J. Climate* 28:8289-318.
- Rasheed, M. W., Tang, J., Sarwar, A., Shah, S., Saddique, N., Khan, M. U., ... & Sultan, M. (2022). Techniken zur Messung der Bodenfeuchte und Faktoren, die die Feuchtigkeitsdynamik beeinflussen: A comprehensive review. *Nachhaltigkeit*, 14(18), 11538.
- Rosegrant M, Cai X, Cline S. *World Water and Food to 2025: Der Umgang mit Knappheit*. International Food Policy Research Institute & International Water Management Institute: Washington, DC und Colombo; 2002
- Rosenzweig C, Iglesias A, Yang X, Epstein P, Chivian E. Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. *Glob Change Hum Health* 2001, 2:90-104.
- Schewe J, Heinke J, Gerten D, Haddeland I, Arnell NW, Clark DB, Dankers R, Eisner S, Fekete BM, Colón-González FJ, et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proc Natl Acad Sci USA* 2014, 111:3245-3250.
- Schwilch, G., Laouina, A., Chaker, M., Machouri, N., Sfa, M. und Stroosnijder, L. (2013). Eine Herausforderung für die konservierende Landwirtschaft an marginalen Hängen in Sehoul, Marokko. *Renewable Agriculture and Food Systems*: verfügbar unter <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=9095422>.
- Schmidhuber J, Tubiello F. Globale Ernährungssicherheit unter dem Klimawandel. *Proc Natl Acad Sci USA* 2007, 104:19703-19708.
- Seneviratne SI, Corti T, Davin EL, Hirschi M, Jaeger EB, Lehner I, Orlowsky B, Teuling AJ. Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Bodenfeuchte und Klima in einem sich ändernden Klima: ein Überblick. *Earth-Sci Rev* 2010, 99:125-161.



Co-funded by  
the European Union



- Sheffield J, Wood E, Roderick M. Geringe Veränderung der weltweiten Trockenheit in den letzten 60 Jahren. Nature 2012, 491:435-438.
- Shiklomanov IA, Balonishnikova JA. 2003. Weltweiter Wasserverbrauch und Wasserverfügbarkeit: Trends, Szenarien, Konsequenzen. Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ. 281:358-64.
- Shukla, S.K. (2017). Basic Description of Soil and Soil Reinforcement. In: Fundamentals of Fibre-Reinforced Soil Engineering. Developments in Geotechnical Engineering. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3063-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3063-5_1).
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P. & Portmann, F. T. 2010. Grundwassernutzung zur Bewässerung - eine globale Bestandsaufnahme. Hydrologie und Erdsystemwissenschaften, 14: 1863-1880.
- Sommer, R., Piggitt, C., Haddad, A., Hajdibo, P., Hayek, P. und Khalil, Y. (2012). Simulation der Auswirkungen von Null-Bodenbearbeitung und Rückhaltung von Ernterückständen auf den Wasserhaushalt und den Ertrag von Weizen unter semiariden mediterranen Regenwetterbedingungen. Field Crops Research 132: 40- 52.
- Taylor RG, Scanlon B, Döll P, Rodell M, van Beek R, Wada Y, Longuevergne L, Leblanc M, Famiglietti JS, Edmunds M, et al. Ground water and climate change. Nat Clim Change 2013, 3:322-329.
- Tejero, I. G., Zuazo, V. H. D., Bocanegra, J. A. J., & Fernández, J. L. M. (2011). Verbesserte Wassernutzungseffizienz durch Defizit-Bewässerungsprogramme: Implications for saving water in citrus orchards. Scientia Horticulturae, 128(3), 274-282.
- Trenberth, K. E. et al. in Climate Change 2007: The Physical Science Basis (eds Solomon, S. et al.) 235-336 (IPCC, Cambridge Univ. Press, 2007).
- Trout T.J, und Martin D.L. (2020). Deficit Irrigation Strategies for the Western U.S. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 63(6): 1813-1825.
- Turrall H, Burke J, Faurès J. Climate Change, Water and Food Security. Rome: Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen; 2011.
- Tsang, S.W.; Jim, C.Y. Applying artificial intelligence modeling to optimize green roof irrigation. Energy Build. 2016, 127, 360-369.
- Umair, S.; Muhammad, R.U. Automatisierung eines Bewässerungssystems mit einem ANN-basierten Steuergerät. Int. J. Elec. Comp. Sci. 2010, 10, 41-47.



Co-funded by  
the European Union



- Uygan, D., Cetin, O., Alveroglu, V., & Sofuoglu, A. (2021). Verbesserung der Wassereinsparung und der wirtschaftlichen Produktivität auf der Grundlage der Zitierung des Zuckergehalts von Zuckerrüben durch lineare Beregnung mit Regnern. *Landwirtschaftliche Wasserwirtschaft*, 255, 106989.
- Wada Y, Bierkens MF. 2014. Nachhaltigkeit der globalen Wassernutzung: Rekonstruktion der Vergangenheit und Zukunftsprojektionen. *Environ. Res. Lett.* 9:104003.
- Wada, Y. et al. Modellierung der globalen Wassernutzung für das 21. Jahrhundert: Die Initiative Water Futures and Solutions (WFaS) und ihre Ansätze. *Geosci. Model Dev.* 9, 175-222 (2016).
- Wang D, Hejazi M, Cai X, Valocchi A. Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois. *Water Resour Res* 2011, 47.
- Wilhite DA, Glantz MH. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water Int.* 10:111-20.
- Wisser D, Fekete BM, Vörösmarty C, Schumann A. 2010. Rekonstruktion der globalen Hydrographie des 20. Jahrhunderts: ein Beitrag zum Global Terrestrial Network-Hydrology (GTN-H). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14:1-24.
- WDR, 2003: Weltkatastrophenbericht: Schwerpunkt Ethik in der Hilfe. Internationale Föderation der Rotkreuz- und Rothalbmond-Gesellschaften, Genf, 240 Seiten.
- WDR, 2004: Weltkatastrophenbericht: Focus on Community Resilience. Internationale Föderation der Rotkreuz- und Rothalbmond-Gesellschaften, Genf, 240 Seiten.
- Ximing Cai, Xiao Zhang, Paul H. Noël und Majid Shafiee-Jood Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Wasserwirtschaft: ein Überblick. *WIREs Water* 2015, 2:439-455. doi: 10.1002/wat2.1089.
- Zegbe, J. A., & Servín-Palestina, M. (2021). Zusätzliche Bewässerung zur Wassereinsparung beim Anbau von Kaktusbirnen in halbtrockenen Regionen. *Bewässerung und Entwässerung*, 70(2), 269-280.
- Zhang X, Cai X. Auswirkungen des Klimawandels auf das globale Wasserdefizit in der Landwirtschaft. *Geophys Res Lett* 2013, 40:1111-1117.