Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Leibniz-Institut für Agrarentwicklung
in Transformationsökonomien

GFA CONSULTING GROUP
Generalbeauftragter BMEL
Büro Berlin

# Überblicksstudie zu landwirtschaftlichen Maßnahmen für den Klimaschutz und die Klimaanpassung sowie Empfehlungen für zukünftige Projekte in Usbekistan

Dr. Daniel Müller

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Transformationsökonomien

GFA CONSULTING GROUP
Generalbeauftragter BMEL
Büro Berlin

## Anmerkungen

Dieser Bericht wurde für das von der GFA Consulting Group GmbH durchgeführte bilaterale Kooperationsprogramm (BKP) des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) erstellt. Um den aktuellen Stand des Wissens darzustellen, stützte ich mich vorwiegend auf unabhängig begutachtete wissenschaftliche Studien aus den letzten zehn Jahren. Da jedoch nur wenige Studien in ausreichender Qualität für Usbekistan zur Verfügung stehen, verwendete ich zusätzlich nicht unabhängig begutachtete Berichte der Weltbank, der FAO sowie den Nationalen Beitrag (NDC) Usbekistans zur Implementierung des Pariser Abkommens. Außerdem fokussierte ich mich vorwiegend auf den Ackerbau, da es meines Wissens nur wenig Literatur zu Klimaschutz und Klimaanpassung in der Tierproduktion Usbekistans gibt.

14. Januar 2022

# Autor

Dr. Daniel Müller

Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Transformationsökonomien (IAMO),

Theodor-Lieser-Str. 2, 06120 Halle (Saale)

**Korrespondenzadresse:**

Daniel Müller

Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Transformationsökonomien (IAMO)

mueller@iamo.de

# Inhaltsangabe

**Einleitung** ..... **5**
**Klimatische Bedingungen und deren historische Veränderungen** ..... **6**
Die Wassertürme Zentralasiens (und deren Effekt auf die Bewässerungslandwirtschaft) ..... 6
Historische Klimaänderungen in den Gebirgen ..... 8
Unzureichende Datenverfügbarkeit von meteorologischen Messstationen ..... 9
Effizienz der Wassernutzung ..... 10
**Zukünftige klimatische Bedingungen und Herausforderungen durch den Klimawandel** ..... **11**
Temperatur ..... 11
Niederschlag ..... 11
Dürren ..... 12
Extremwetterereignisse ..... 12
Auswirkungen auf die Gebirgsregionen ..... 13
Erhöhter Wasserbedarf der Landwirtschaft ..... 13
**Klimaschutz: Forschungsstand** ..... **14**
THG-Emissionen der usbekischen Landwirtschaft ..... 14
Aufforstung und Agroforstsysteme ..... 16
Klimaschutz: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte ..... 16
**Klimaanpassung: Forschungsstand** ..... **17**
Ackerbauliche Maßnahmen ..... 17
Verbesserung der Wassernutzung ..... 17
Resilienz ..... 19
Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit ..... 20
Empfehlungen für zukünftige Projekte ..... 20
**Literatur** ..... **22**

# Einleitung

Die Republik Usbekistan ist ein Binnenstaat im Herzen Zentralasiens mit einer Gesamtfläche von 447.400 Quadratkilometern. Im Jahr 2020 betrug die Einwohnerzahl 33,5 Millionen bei einem Medianalter von 28 Jahren (United Nations 2019). Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf betrug im Jahr 2020 USD 1.751 und wuchs von 2010 bis 2019 im Mittel um 6,6 % pro Jahr. In 2020, dem ersten Jahr der Corona-Pandemie, sank das Wachstum auf 1.7 %. Ein Viertel der Bevölkerung sind im Agrarsektor tätig, der auch ein Viertel zum BIP beiträgt (World Bank 2021).

Die meisten Exporte des Landes entfallen auf Produkte des Primärsektors, vor allem auf Metalle, Erdgas, sowie Baumwolle. Usbekistan exportierte Agrarprodukte im Wert von 1.7 Milliarden USD in 2020. Mehr als eine Milliarde dieser Erlöse wurden mit dem Export von Obst und Gemüse erzielt (FAO 2021).

Die Landwirtschaft Usbekistans hängt größtenteils von der Bewässerung ab und verfügt über 4,3 Mha bewässerte landwirtschaftliche Fläche (Brody and Eshchanov 2021). Die flächenmäßig wichtigsten Anbauprodukte sind Weizen (1,31 Million Hektar, Mha, in 2019) und Baumwolle (1,05 Mha). Weitere wichtige Anbauprodukte sind laut FAO (2021) Trauben (100.000 Hektar, ha), Äpfel (99.000 ha), Gerste (92.000 ha) und Kartoffeln (89,000 ha). Obst und Gemüse werden vor allem im fruchtbaren und intensiv genutzten Ferghanatal angebaut.

Baumwolle wurde 1992 auf 1.7 Mha angebaut, aber reduzierte sich bis 2019 um fast 40 % auf 1,05 Mha. Im selben Zeitraum stieg die Weizenanbaufläche um mehr als das Doppelte von 0,6 Mha auf 1,3 Mha an (FAO 2021). Die Baumwollerträge haben sich seit 1992 nur geringfügig verändert und schwanken um die 2,5 Tonnen pro Hektar. Die Weizenerträge lagen in den letzten Jahre im Bewässerungslandbau um die 4 bis 5 Tonnen pro Hektar und stiegen seit den 1990er Jahren um das Dreifache an (FAO 2021).

Tierproduktion ist ein weiteres wichtiges Standbein der Landwirtschaft, vor allem für Kleinbauern. Für 2019 schätzt die FAO (2021) die Anzahl von Rinder auf 13 Millionen, Schafe auf 18 Millionen und Ziegen auf 3.7 Millionen. Auch die Tierproduktion legte zu: Die Anzahl der Rinder stieg um 153 %, die der Schafe um 98 % und die der Ziegen um mehr als 300 % seit 1992 (FAO 2021).

## Klimatische Bedingungen und deren historische Veränderungen

Usbekistan hat ein sehr kontinentales Klima, das durch große Schwankungen der Tagestemperatur und durch große Temperaturunterschiede zwischen den Jahreszeiten und hohe Sonneinstrahlung gekennzeichnet ist. Die Sommer sind heiß und trocken mit einer Durchschnittstemperatur von 29°C im Juli (Republic of Uzbekistan 2021). Die höchsten Temperaturen gibt es im Süden, entlang der Grenze zu Turkmenistan und Afghanistan. Viele Gebiete sind semiaride und aride Steppen oder Wüstenzonen mit Niederschlägen unter 100 Millimeter (mm) pro Jahr. Ackerbau ist in diesen Gebieten nur mittels Bewässerung möglich. Der Jahresniederschlag im Osten und Südosten kann hingegen bis zu 800 bis 900 mm betragen (The World Bank Group and Asian Development Bank 2021).

Zentralasien, und somit auch Usbekistan, ist aufgrund der kontinentalen Lage ein Hotspot der globalen Erwärmung und die Region erwärmte sich doppelt so schnell wie im globalen Durchschnitt (Jiang et al. 2020). Seit den 1950 stieg die Lufttemperatur um durchschnittlich 0,29°C all zehn Jahre an, insgesamt bereits um ungefähr 2°C (Republic of Uzbekistan 2021). Besonders stark war die Erwärmung in den Frühlingsmonaten in denen der Temperaturanstieg zwischen 0,6°C und 1°C lag, während die historischen Temperaturänderungen im Winter keine signifikanten Trends aufweisen (IPCC 2021, p. 3515, Khaydarov and Gerlitz 2019). Der höchste Anstieg wurde mit zwischen 0,3°C bis 0,43°C pro Dekade im Norden Usbekistans und in den Großstädten verzeichnet; in den Bergregionen war die Erwärmung mit 0,10°C bis 0,14°C pro Dekade hingegen geringer (Khaydarov and Gerlitz 2019).

Meteorologische Messdaten zeigen, dass die Anzahl der Tage mit einer Temperatur von 40°C und mehr im ganzen Land zunehmen. Diese Temperaturerhöhungen führen lokal bereits zu positiven Rückkopplungen. So hat das Schrumpfen des Aralsees zu einem Anstieg der Oberflächentemperatur in der Aralseeregion um 2°C bis 6°C geführt (McDermid and Winter 2017).

Dürren sind charakteristisch für die Region. Vor allem im Sommer und Herbst werden die Dürren jedoch bereits häufiger, insbesondere in den Gebieten des unteren Amudarya und um den Aralsee. Im Vergleich zu den 1980er und 1990er Jahren waren extreme meteorologische Dürren (definiert durch das Ausmaß eines Niederschlagsdefizits und die Dauer dieses Defizits über einen bestimmten Zeitraum) zwischen 2000 und 2012 doppelt so häufig vergliche mit den 1980ern und 1990ern, mit teilweise schwerwiegenden Auswirkungen für die Landwirtschaft (FAO 2017).

### Die Wassertürme Zentralasiens (und deren Effekt auf die Bewässerungslandwirtschaft)

Ackerbau ist in weiten Teilen Zentralasiens abhängig von Bewässerung mit Wasserressourcen aus den großen asiatischen Flüssen. Die beiden größten dieser Flüsse sind der Amudarja (*Amu Darya*), der im Pamir entspringt, und der Syrdarja (*Syr Darya*) aus dem

Tienschan (*Tian-Shan*) Gebirge. Beide Wassereinzugsgebiete sind fast ausschließlich von Oberflächenwasser abhängig und haben geringe Grundwasserressourcen sowie niedrige Grundwasserneubildungsraten. Somit ist die Erschließung von Grundwasserressourcen in der Region mit hohen Kosten verbunden und nicht nachhaltig (Qin et al. 2020).

Die dominierenden Gebirgszüge Zentralasiens werden auch die „Wassertürme“ (*water towers*) der Region genannt (Shahgedanova et al. 2020). Saisonal höhere Niederschläge in den Bergregionen führen zu hohem Abfluss von Regenwasser. Außerdem werden aufgrund der niedrigen Temperaturen in den Höhenlagen riesige Mengen an Wasser als Schnee und als Eis in den Gletschern gespeichert (Immerzeel et al. 2020). Somit sind die Gebirgsketten als Wasserspeicher entscheidend, um den Wasserbedarf von Menschen und Umwelt flussabwärts zu gewährleisten. Änderungen in dieser Wasserspeicherkapazität in den Gebirgsregionen, beispielsweise verursacht vom Klimawandel, werden somit massive Auswirkungen nicht nur auf die Bewässerung und damit die Landwirtschaft, sondern auch auf den Trinkwasserbedarf und die Ökosysteme flussabwärts haben.

Das meiste Abflusswasser, das für die Bewässerung verwendet wird, stammt aus der Schneeschmelze, während geschmolzenes Gletscherwasser nur einen vergleichsweise kleinen Teil zum Wasserabfluss beiträgt; in Kirgistan sind das bspw. 15 % (Kraaijenbrink et al. 2021, Sorg et al. 2012). Im Frühjahr, wenn die Schneespeicher weitgehend abgeschmolzen sind, stellen die Frühjahrsniederschläge zusätzliches Wasser bereit.

Die Gletscherschmelze hinkt in der Regel der Schneeschmelze zeitlich hinterher und hält bis in den Sommer an, wenn das Schmelzwasser der Gletscher wichtig für die Bewässerung wird (Sorg et al. 2012). Insbesondere beim Auftreten einer Dürre im Frühjahr oder Frühsommer, wenn der Schnee bereits geschmolzen und der Wasserbedarf der Pflanzen hoch ist, ist das Schmelzwasser aus den Gletschern daher von entscheidender Bedeutung für die Bewässerungslandwirtschaft (Kraaijenbrink et al. 2021).

Im Jahr 2018 wurden in Usbekistan 82 % der Ackerflächen bewässert (FAO 2021) und der größte Teil der landwirtschaftlichen Wertschöpfung stammt von diesen Bewässerungsflächen. Ungefähr 80 % der zur Bewässerung verwendeten Wasserressourcen Usbekistans stammen aus den großen Flüssen Zentralasiens, dem Amudarja und dem Syrdarja, sowie dem Serafschan (*Zeravshan*). Diese Wasserressourcen kommen somit ausschließlich aus den Nachbarländern (FAO 2017), was Usbekistan abhängig von der Flussregulierung der flussaufwärts gelegenen Länder macht. Beispielsweise besitzt Tadschikistan große Wasserkraftwerke an den Flüssen Wachsch (*Vaksh*) und Serafschan; weitere Wasserkraftwerke befinden sich im Bau bzw. sind in der Planung (Mukhabbatov, Zhiltsov and Markova 2020). Da der Wasserstand am Unterlauf abhängig vom Staudammmanagement am Oberlauf ist, bestimmt Tadschikistan damit das Ausmaß der ankommenden Wassermenge aus diesen Flüssen. Auch flussabwärts nehmen die Konflikte um Wasser zu. Turkmenistan zweigt verstärkt Wasser aus dem Amudarya für Bewässerungszwecke ab, einschließlich riesiger Großprojekte wie dem seit 2000 im Bau

befindlichen „Turkmenischen See des Goldenen Zeitalters“ (*Turkmen Golden Age Lake* oder Altyn Asyr) in der Karakum-Wüste, der Wasser aus dem Amudarya in zwei über 3.000 km langen Kanälen durch die Karakum-Wüste abzweigt. Nach der Fertigstellung ist geplant, dass der See über 3.000 $km^2$ groß wird (mehr als fünfmal so groß als der Bodensee) und bis zu 150 $km^3$ Wasser fasst, vergleichbar mit dem Restvolumen des Aralsees (Varis 2014, Zhiltsov et al. 2020). Sowohl flussaufwärts wie flussabwärts sind somit Zugang und Verteilung von Wasserressourcen bereits heute ein drängendes geopolitisches Problem für Usbekistan (Soliev and Theesfeld 2020).

In Zukunft wird sich der Kampf um Wasserressourcen voraussichtlich verschärfen. Zum einen steigt die Nachfrage nach Wasser aufgrund des Bevölkerungswachstums und der höheren Nachfrage nach Bewässerungswasser. Auch der Klimawandel wird den Wasserhaushalt nachhaltig verändern. Die Bedeutung einer besseren internationalen Koordinierung der Wassernutzung, die sie sich bislang als sehr schwierig gestaltete, wird daher zunehmend wichtig, vor allem für Länder wie Usbekistan, deren Wasserressourcen in anderen Ländern entspringen.

## Historische Klimaänderungen in den Gebirgen

Der starke Erwärmungstrend in den Gebirgsregionen hat von 1979 bis 2019 bereits zu einem signifikanten Verlust der jährlichen Wassermenge, die als Schnee gespeichert wird, geführt (Kraaijenbrink et al. 2021). Auch die in manchen Jahren leicht angestiegenen Niederschläge können diesen Verlust nicht auffangen, da diese Niederschläge aufgrund der hohen Temperaturen nur zu einem kleineren Teil als Schnee gespeichert werden und somit sofort abfließen bzw. versickern. Weiterhin wurden bereits negativen Rückkopplungseffekte nachgewiesen, da die geringere und kürzere Schneebedeckung zu niedrigerer Albedo (Rückstrahlung) und dadurch zu zusätzlicher lokaler Erwärmung führt (Kraaijenbrink et al. 2021).

Durch die Erwärmung verkürzt sich auch die Dauer der Schneeschmelze; so trat der Zeitpunkt des höchsten Abflusses im Zeitraum von 1999 bis 2019 um fünf Tage früher auf im Zeitraum zwischen 1979 und 1999. Und die Schneedecke schmilzt nicht nur früher ab, sondern sie beginnt auch später, was die Länge der Schneeschmelze bereits um bis zu einem Monat verringerte (Kraaijenbrink et al. 2021).

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat die maximale Schneedeckendicke und auch die Dauer der Schneebedeckung in allen Höhenlagen im westlichen und zentralen Tienschan abgenommen; nur in Gebieten über 2.000 Meter Höhe und im östlichen Tienschan, der Teil von Russland und China ist und in das Tarimbecken abfließt, wurden keine Abnahmen festgestellt (Sorg et al. 2012).

Die Gletscher in den Gebirgen Zentralasiens ziehen sich größtenteils zurück. Der Tienschan verringert seine Eismasse bereits seit den 1960er Jahren (Farinotti et al. 2015). Die sich beschleunigende Gletscherschmelze erhöht den Wasserabfluss und somit das Wasseraufkommen flussabwärts, vor allem im späten Frühling und im Sommer. Allerdings

wird irgendwann „peak water“ des Gletscherabfluss erreicht, das heißt der Zeitpunkt ab dem der Abfluss von Schmelzwasser aus den Gletschern zurückgehen wird (Sorg et al. 2014). Wann peak water erreicht wird, hängt entscheidend von der Entwicklung der zukünftigen Treibhausgasmissionen und damit der Erwärmung in den Gebirgszügen Zentralasiens ab.

## Unzureichende Datenverfügbarkeit von meteorologischen Messstationen

Die oben beschriebenen historischen Trends sind insbesondere in Zentralasien mit großen Unsicherheiten behaftet. Ein Grund dafür ist, dass nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion zahlreiche meteorologische Stationen aufgegeben wurden, was zu einem rapiden Rückgang der Dichte an Messpunkten führte (Abbildung 1). Heutzutage ist Zentralasien, zusammen mit Teilen Zentral- und Ostafrikas, eine der Regionen mit der geringsten meteorologischen Datendichte weltweit (Dunn et al. 2020). Fehlende Messdaten erhöhen die Unsicherheiten der Schätzung historischer Veränderungen und beeinträchtigen die Qualität der globalen Datensätze (da diese die frei zur Verfügung gestellten Daten aus lokalen Messstationen nutzen). Auch zahlreiche Messungen der Schneedeckendichte und der Gletschermasse in den höher gelegenen Teilen der Wassereinzugsgebiete (vor allem in Kirgistan und Tadschikistan) wurden in den 1990er Jahren aufgegeben. Diese Daten treiben jedoch die regionalen und globalen Klimamodelle an, und weniger Daten erhöhen somit auch die Unsicherheit der Abschätzung zukünftiger Änderungen in Temperatur, Niederschlag, der Schneedecke und der Änderungen in den Gletschermassen. Nicht nur die Information zu historischen Klimaänderungen daher mit Vorsicht zu genießen, sondern auch die zukünftigen Vorhersagen sin vermutlich erheblich ungenauer als für die meisten anderen Weltregionen. (Sorg et al. 2012).

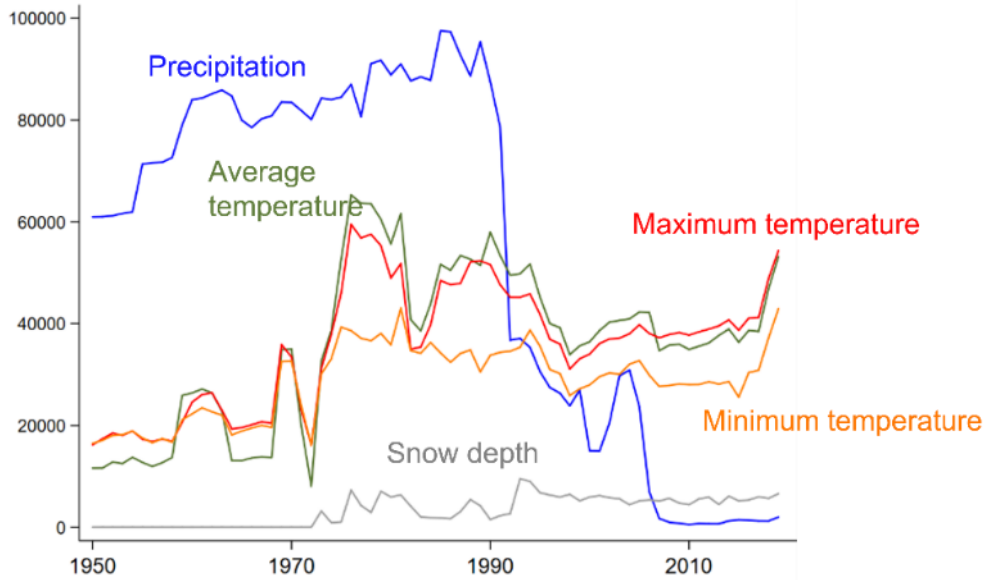


*Abbildung 1: Anzahl der meteorologischen Messungen in ganz Zentralasien (Usbekistan, Kirgistan, Tadschikistan, Kasachstan und Turkmenistan). Deutlich zu sehen ist der rapide Rückgang nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion in 1991. Eigene Darstellung mit Daten von Menne et al. (2012).*

## Effizienz der Wassernutzung

Die Landwirtschaft stellt eine der Haupteinnahmequelle Usbekistans dar und wird vom Staat massiv gefördert, inklusive des Bewässerungslandbaus (Bekchanov and Lamers 2016). Allerdings ist die Effizienz der Wassernutzung in Zentralasien eine der geringsten weltweit (Abbildung 2). Mehr als 90 % des Wasserverbrauchs geht auf Kosten der Bewässerung von Weizen und Baumwolle (Dukhovny and de Schutter 2011, Varis 2014). Steigerung der Bewässerungseffizient ist somit ein entscheidender Hebel, um zukünftiger Wasserknappheit zu begegnen.

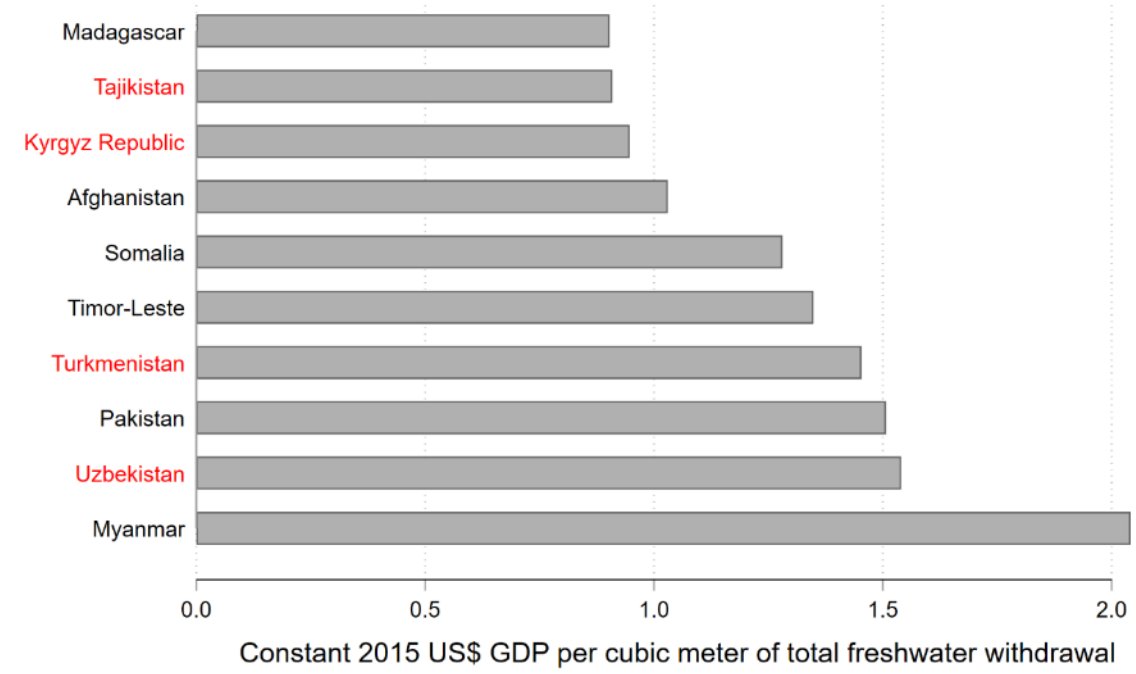


*Abbildung 2: Abgebildet sind die zehn Länder mit der weltweit geringsten Effizienz der Süßwassernutzung pro Einheit BIP im Jahr 2017. Die zentralasiatischen Länder sind rot markiert. Auch das Nachbarland Afghanistan und Pakistan weiter südlich befinden sich in diesen Top-Ten. Eigene Darstellung mit Daten der Weltbank (2021) nach der Idee von Varis (2014). Zum Vergleich: Die Effizienz der Süßwassernutzung liegt in Russland bei 22 US$/m$^3$ und in Deutschland bei 144 US$/m$^3$.*

Aufgrund er hohen Evapotranspirationsraten in Usbekistan und der in vielen Regionen des Landes relativ sandigen Böden hat die Landwirtschaft einen hohen Wasserverbrauch. Insbesondere für die Bewässerung der Baumwolle wird in Usbekistan der weitaus größte Anteil des Bewässerungswassers aufgewendet (Aldaya, Muñoz and Hoekstra 2010). Die Wasserproduktivität der Landwirtschaft ist jedoch niedrig und liegt in der Baumwollproduktion nur bei 60 % des globalen Durschnitts (Devkota et al. 2015). Während Baumwolle einen Wasserbedarf von ungefähr 800 bis 900 mm pro Jahr hat, ist dieser bei Weizen mit 400 bis 500 mm pro Jahr erheblich niedriger. Reis, Alfalfa und Gemüse haben

ebenfalls einen Wasserbedarf über 700 mm, während der Bedarf von Sorghum und Kartoffeln mit 600 mm etwas darunter liegt (Khaydar et al. 2021, Li et al. 2020). Dies sind jedoch jährliche Mittelwerte und die Verteilung des Wasserbedarf der Pflanzen variiert im Jahresverlauf je nach Wachstumsphase und Dichte der Pflanzungen.

## Zukünftige klimatische Bedingungen und Herausforderungen durch den Klimawandel

### Temperatur

Die Durchschnittstemperatur ist in Usbekistan seit 1850 bereits um 2°C gestiegen und wird im Jahr 2100 voraussichtlich bei +5°C liegen, mit einer Variation von +/- 2°C je nach Emissionspfad (Abbildung 3). Die Temperaturerhöhung wird zentrale Auswirklungen auf die Landwirtschaft haben vor allem aufgrund des sich dadurch verändernden Wasserkreislaufs, der Auswirkungen auf die Gebirgsregionen und damit der Wasserabflussmengen, sowie durch das vermehrte Auftreten von Extremwetterereignissen, wie Dürren, Extremhitze, und Starkregen.

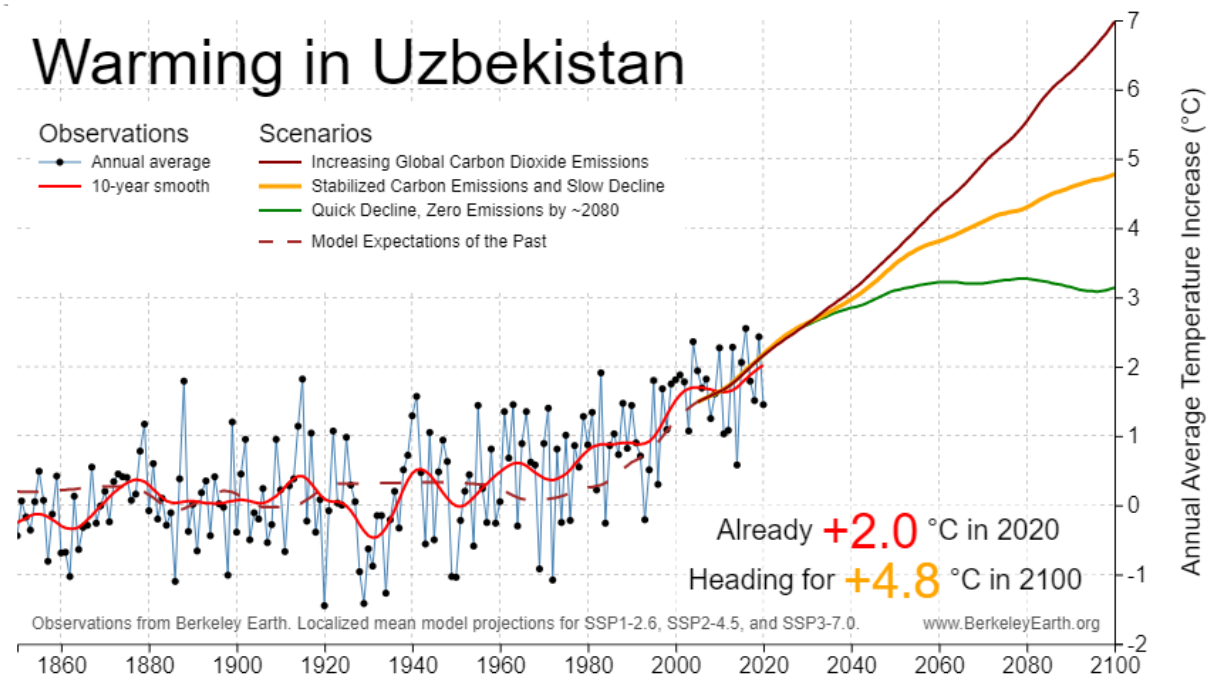


*Abbildung 3: Historische Temperaturmessungen und zukünftige Temperaturentwicklungspfade für drei zukünftige Emissionspfade für Usbekistan.*

### Niederschlag

Zentralasien ist gekennzeichnet von einer hohen räumlichen Temperatur- und Niederschlagsvariabilität. Niederschlagsvorhersagen sind daher mit großer Unsicherheit behaftet, und werden zusätzlich verkompliziert durch die große topographische Variabilität der Region mit hohen Gebirgszügen und flachen Ebenen. Einige Autoren sagen für

Zentralasien einen Anstieg des mittleren jährlichen Niederschlags in allen Klimaszenarien voraus, aber auch stärkere Schwankungen innerhalb des Jahresverlaufs, mit zunehmenden Niederschlagsmengen im Frühjahr und abnehmenden Niederschlägen im Sommer (Jiang et al. 2020). Es gibt jedoch auch Studien, die keine signifikanten Trends für die zukünftigen Frühjahrniederschläge in Usbekistan finden (IPCC 2021, p. 3515). Bei einer globalen Erwärmung von 4°C wird allerdings vermutlich vor allem für die südlichen Landesteile ein Rückgang des mittleren Jahresniederschlags um ungefähr 20 % projiziert, wobei dieser relative Rückgang im Sommer etwas stärker ausfallen wird (Reyer et al. 2017).

## Dürren

Ansteigende Häufigkeit und Intensität von extremen Trockenperioden werden vermutlich die zentrale Zukunftsherausforderung für die Landwirtschaft Usbekistans werden. Insbesondere für kleinere und mittlere Betriebe sowie für Semisubsistenzbetriebe können durch Extremereignisse versursachten Produktionsausfälle existenzgefährdende Auswirkungen haben.

Selbst wenn die Niederschlagsmengen in Zukunft zunehmen würden, würde das nicht bedeuten, dass sich die Dürrebedingungen entspannen werden (Li et al. 2017, Guo et al. 2018). Im Gegenteil wird die Trockenheit sich vermutlich verstärken und vermehrt und stärkere Dürren auftreten. Leider sind meines Wissens keine überzeugenden räumlich und zeitlich expliziten Zukunftsvorhersagen für die Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Dürren für die Region verfügbar.

## Extremwetterereignisse

Mehr und intensivere Wetterextreme stellen vermutlich die größte Herausforderung für die Landwirtschaft Usbekistans dar. Zum einen sind solche Extreme, per definitionem, selten sind und somit schwer vorhersagbar, was die vorausschauende Planung und somit Anpassungsreaktionen erschwert und das Produktionsrisiko erhöht. Zum anderen können Wetterextreme stark negative Auswirkungen auf die Erträge haben.

Für Usbekistan, wie auch für ganz Zentralasien, wird eine Zunahme von extremen Wetterereignisse vorhergesagt, auch wenn die empirische Evidenz des Ausmaßes der Veränderung mit hohen Unsicherheiten verbunden ist (Bobojonov and Aw-Hassan 2014, IPCC 2012). Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden Hitzeextreme zunehmen (IPCC 2021, Schlubach 2021). Die Anzahl der Tage mit Temperaturen sowohl über aber auch unter dem maximalen Schwellenwert für Weizen- und Baumwollanbau werden sich voraussichtlich erhöhen und zu Verschiebungen in der Wachstumsperiode und dem Erntezeitpunkt sowie zu geringerer Widerstandsfähigkeit der Kulturen führen (Schlubach 2021).

Auch die Gefahr von Feuerereignisse wird aufgrund zukünftiger Klimaänderungen voraussichtlich zunehmen. Der IPCC schätz in seinem 6. Sachstandbericht, dass in den zentralasiatischen Ländern eine globale Erwärmung von 2°C sowohl die Intensität als auch die Häufigkeit von Feuern bis 2030er um 2 % bis 8 % und bis zu den 2080er Jahren um 3 % bis 13 % verglichen mit der Periode 1971 bis 2000 erhöhen wird (IPCC 2021, S. 3186).

## Auswirkungen auf die Gebirgsregionen

In den asiatischen Gebirgsregionen führte der Klimawandel in den letzten Jahrzehnten bereits zu einer deutlichen Erwärmung mit massiven Auswirkungen auf die Eis- und Schneebedeckung in den Wassertürmen der Region, und somit auch auf Menge und Zeitpunkt des Wasserabflusses (Shahgedanova et al. 2020, Siegfried et al. 2012, Sorg et al. 2012).

Durch die Erwärmung wird sich die Dauer der Schneeschmelze verkürzen. So trat der Zeitpunkt des höchsten Abflusses im Zeitraum von 1999 bis 2019 fünf Tage früher ein als zwischen 1979 und 1999. Die Schneedecke schmilzt jedoch nicht nur früher ab, sondern die Schneebedeckung beginnt auch später, was die Länge der Schneeschmelze verringert, bisher bereits um bis zu einem Monat (Kraaijenbrink et al. 2021). Die Wassereinzugsgebiete der Region weisen daher einige der weltweit höchsten Indices der Schneeschmelzgefahr (*snowmelt hazard index*) auf (Qin et al. 2020).

Auch die Gletschersysteme in der Region verlieren kontinuierlich an Masse. Ihr Rückgang wird vermutlich die Wasserdefizite während der heißen und trockenen Sommer verschärfen. Weiterhin steigt das Risiko für extreme Abflussereignisse durch Gletscherabbrüche, insbesondere im Frühjahr, was zu häufigeren Überschwemmungen führen könnte. Eine weitere Gefahr in Verbindung mit dem Gletscherrückzug stellen Gletscherseeausbrüche dar (Sorg et al. 2012).

Insgesamt könnten die Flusssysteme Zentralasiens durch den Klimawandel ihre wichtige Pufferfunktion für die Bewässerung flussabwärts verlieren, mit der sie bisher die saisonale Wasserknappheit zum Teil ausgeglichen haben. Diese Pufferfunktion gegen Niederschlagsschwankungen ist insbesondere in den Trockenzeiten wichtig, die vermutlich häufiger auftreten werden. Vieles deutet auch darauf hin, dass die Wasserverfügbarkeit im Jahresverlauf variabler wird, was das Produktionsrisiko in der Landwirtschaft zusätzlich erhöhen wird.

## Erhöhter Wasserbedarf der Landwirtschaft

Der Klimawandel wird nicht nur die Wasserverfügbarkeit in der Region verringern, sondern zu einem höheren Wasserbedarf der Pflanzen aufgrund höherer Evapotranspirationsraten führen (Nikanorova et al. 2016, Ruan et al. 2020). Dies wird vor allem für die ariden und semiariden Teile der Region voraussichtlich schwerwiegende Folgen haben, da die pflanzliche Erzeugung in diesen Region fast ausschließlich von der Bewässerungslandwirtschaft abhängt (Didovets et al. 2021). Die Kombination von höherer Wassernachfrage durch die Pflanzen und geringerem Zufluss die Wasserknappheit verstärken stellt somit wohl einer der zentralen Zukunftsherausforderungen dar.

## Klimaschutz: Forschungsstand

Der Anteil Usbekistans an den weltweiten Treibhausgasemissionen beträgt 0.3 % und der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen Usbekistans liegt bei trägt 18 % (Republic of Uzbekistan 2021).

### THG-Emissionen der usbekischen Landwirtschaft

Fast 90% der landwirtschaftlichen Emissionen Usbekistans stammen aus der Tierhaltung, vor durch die Emission von Methan aus der Wiederkäuerverdauung (Abbildung 4). Die Emissionen aus der Wiederkäuerverdauung stiegen von 1992 bis 2019 um 140% an, vor allem wegen der ähnlich hohen Wachstumsrate an Wiederkäuern, vor allem dem starken Anstieg der absoluten Zahl an Schafen und Rindern.

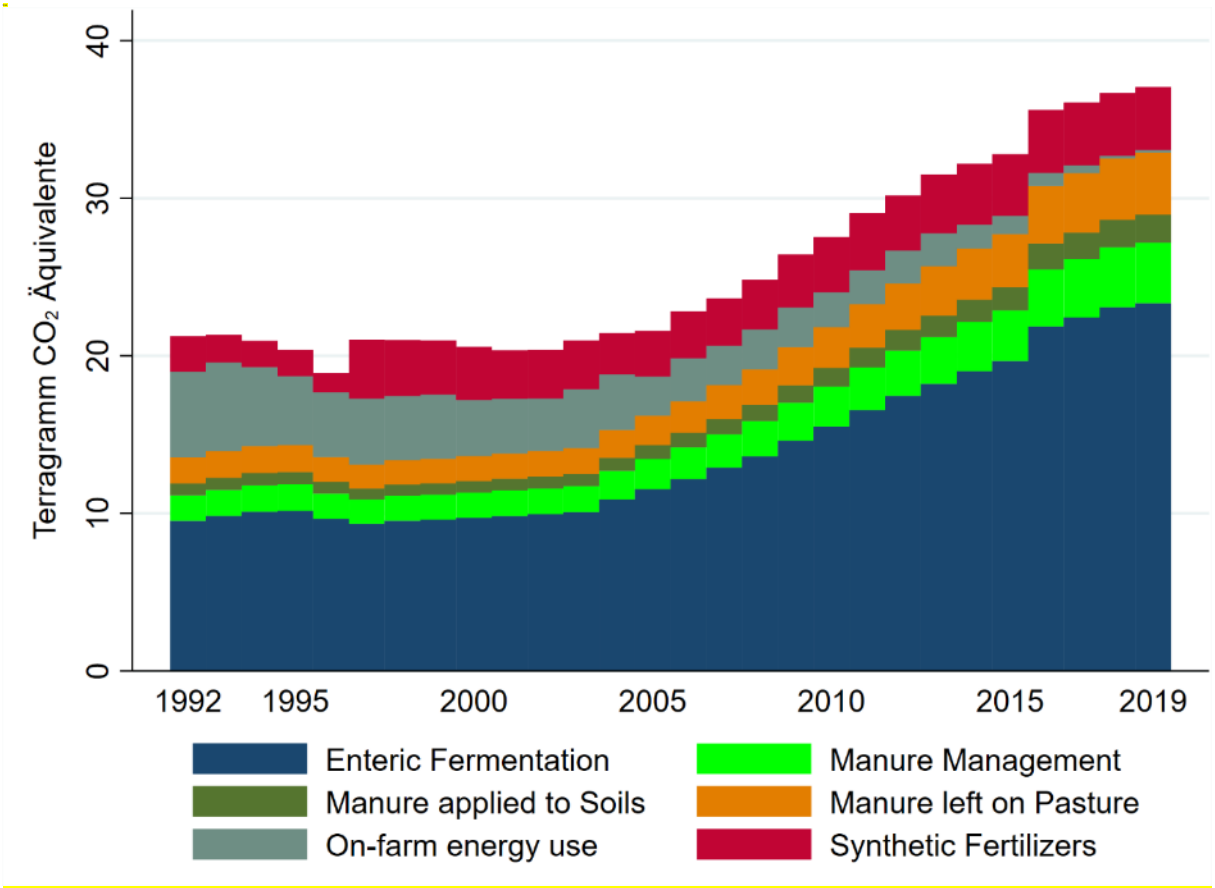


*Abbildung 4: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft (ohne Landnutzungsänderungen) in Usbekistan von 1992 bis 2019. Emissionsquellen, die im Mittel aller Jahre kleiner als 1 Terragramm $CO_2$-Äquivalente waren, wurden der Übersichtlichkeit halber nicht abgebildet. Eigene Darstellung mit Daten der FAO (2021).*

Die Menge an landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen pro Wertschöpfungseinheit in der landwirtschaftlichen Produktion ging seit Anfang der 1990er Jahre um 22 % zurück verglichen mit den Jahren 2015 bis 2019 (Abbildung 5).

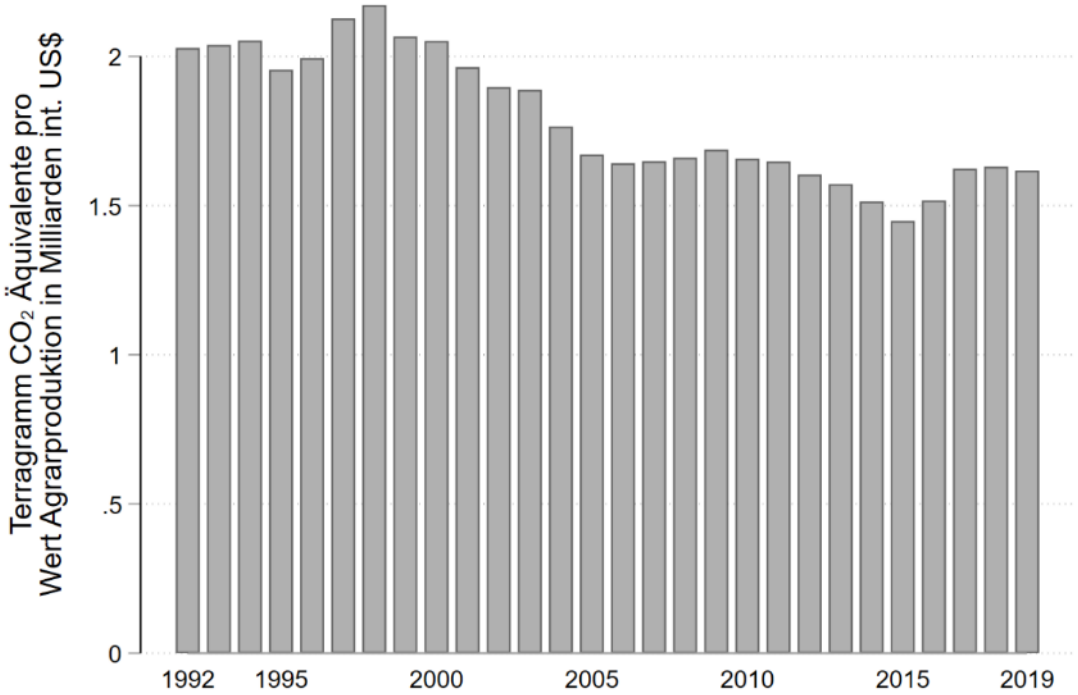


*Abbildung 5: Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft (ohne Landnutzungsänderungen) pro Wertschöpfung in der landwirtschaftlichen Produktion in Usbekistan von 1992 bis 2019. Emissionsquellen, die im Mittel der Jahre kleiner als 1 Terragramm $CO_2$-Äquivalente waren, wurden der Übersichtlichkeit halber nicht abgebildet. Eigene Darstellung mit Daten der FAO (2021).*

Der Energiesektor Usbekistans war 2017 für 76% der nationalen Emissionen verantwortlich und in diesem Sektor liegt auch das größte Einsparungspotenzial, vor allem im Hinblick auf die Umstellung auf nicht-fossile Energieträger (Republic of Uzbekistan 2021). Das Potenzial Usbekistans zur Emissionsminderung in der Landwirtschaft ist insgesamt nicht als hoch einzuschätzen, da unter anderem sowohl die Regierung als auch die ländliche Bevölkerung über wenig Ressourcen und Kapital verfügen, um einen starken Fokus auf klimaschonende Anbaualternativen zu legen. So sind im Nationalen Beitrag (*nationally determined contributions*, NDC) Usbekistans zwar Maßnahmen zur Emissionsreduzierung aufgelistet, jedoch bleiben die Pläne zur Umsetzung von Klimaschutz in der Landwirtschaft vage und unkonkret. So stehen im NDC als Emissionsminderungsmaßnahmen die Verbesserung der Produktivität landwirtschaftlicher Flächen und die Verbesserung des Wassernutzung im Zuständigkeitsbereich des Landwirtschaftsministeriums.

Das Staatskomitee für Forstwirtschaft ist zuständig für die Maßnahmen zur Verhinderung der Wüstenbildung (was den im Oberboden enthaltenen Kohlenstoff zurückhält und somit Emissionen reduziert), die Erhaltung und Wiederherstellung von bewässerten und regengespeisten Böden, die Regeneration von degradierten Weideflächen sowie Aufforstung und Wiederaufforstung. Zwar ist das Emissionsminderungspotenzial dieser Maßnahmen vermutlich vor allem aufgrund des Wassermangels und der hohen Evapotranspiration gering,

aber diese Maßnahmen können wertvolle Zusatznutzen für die Lokalbevölkerung generieren.

## Aufforstung und Agroforstsysteme

Insbesondere Wiederaufforstung und die Etablierung von Agroforstsystemen sind vielversprechende Ansätze, um Kohlenstoff in Vegetation und Böden zu binden und gleichzeitig Zusatznutzen für Mensch und Umwelt zu schaffen. Usbekistan hatte in 2010 einen Waldanteil von ungefähr 0.3 % (Yin et al. 2017).

Die Schaffung "grüner Barrieren" mit an den Klimawandel angepassten Baumarten hat großes Potenzial zum Schutz vor Winderosion. Auch die Wiederherstellung der zu Zeiten der Sowjetunion geschaffenen Waldgürtel gehört dazu (FAO 2017). Insbesondere in den wegen Versalzung stark degradierten Ackerflächen im Gebiet des unteren Amudarya kann Aufforstung den Anteil an organischen Stoffen im Boden erhöhen und gleichzeitig Holz und andere Produkte der Baumpflanzungen (*non-timber forest products*) generieren. Auf diese Weise kann die Bodenstruktur verbessert und zusätzlicher Kohlenstoff im Boden und der Vegetation gebunden werden (Djanibekov et al. 2013). Zusätzlich dienen Agroforstsystemen der Klimaanpassung durch Verbesserung des Mikroklimas, bieten zusätzlichen Schatten und können das Wasserspeichervermögen des Bodens verbessern.

Lokale Baumarten wie die Russische Olive (*Elaeagnus angustifolia L.*), Euphrat-Pappel (*Populus euphratica Oliv.*) und die sibirische Ulme (*Ulmus pumila L.*) wurden für Aufforstungen empfohlen (Djalilov et al. 2016). Langfristige Investitionen in Baumpflanzungen oder agroforstwirtschaftlichen Praktiken setzen allerdings Vertrauen der Landwirte in ihre Landbesitzverhältnisse voraus, welche jedoch aufgrund von Erfahrungen mit Flurbereinigungsmaßnahmen in Usbekistan nur bedingt vorhanden ist (Djalilov et al. 2016, Khamzina, Lamers and Vlek 2012).

Zahlungen für den in Boden und Vegetation gebundenen Kohlenstoff können zusätzliche Anreize für Aufforstung und Agroforstwirtschaft schaffen (Djanibekov et al. 2012). Allerdings steht Projekten, die Zahlungen für Ökosystemleistungen wie zusätzliche Kohlenstoffsequestrierung in Böden und Vegetation bereitstellen, hohe Anforderung an das Monitoring sowie institutionelle Hindernisse für die Implementierung entgegen. Außerdem kann die Dauerhaftigkeit der Kohlenstoffspeicherung nicht garantiert werden, da unter anderem durch die Änderung der zukünftigen Klimaverhältnisse Waldprojekte und Agroforstpraktiken zusätzlich erschweren werden könnten und Abholzungen sowie Feuer zusätzliche Risiken darstellen.

## Klimaschutz: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte

Klimaschutz in der Landwirtschaft wird in Usbekistan vermutlich nur eine marginale Rolle spielen und sind in dem nationalen Klimaschutzplan nur bedingt vorgesehen. Vielversprechend sind jedoch Aktivitäten, die Kohlenstoff in Boden und Vegetation binden, wie Aufforstung, Agroforstsysteme und Verbesserung der Weideflächen, da solche

Maßnahmen zusätzlichen Nutzen für Mensch und Umwelt bringen. Allerdings muss aufgrund der zunehmenden Wasserknappheit die Konkurrenz um Wasser zwischen diese Aktivitäten und bestehendem Ackerbau beachtet werden.

## Klimaanpassung: Forschungsstand

Die prognostizierte zunehmende Wasserknappheit Usbekistans verlangt nach sparsamerer und effizienterer Wassernutzung in der Bewässerungslandwirtschaft. Auch der absolute Verbrauch an Wasser sollte verringert werden. Eine Erhöhung der Wassernutzungseffizienz sollte daher den Wasserbedarf für die Bewässerung senken, allerdings bei gleichbleibenden oder sogar ansteigenden. Die Herausforderungen dazu sind gewaltig, da der Wasserbedarf der Pflanzenproduktion aufgrund der höheren Evapotranspiration ansteigen wird (siehe der Abschnitt zu „Erhöhter Wasserbedarf der Landwirtschaft“) und auch häufigere Extremereignisse, wir schwere Dürren, zu höherem Wasserstress führen werden.

Standortangepasste Lösungen hin zu geringerem absolutem Verbrauch und höherer Effizienz der Wassernutzung werden entscheidend für eine erfolgreiche Anpassung sein. Im Weiteren gehe ich auf einige Anpassungsmaßnahmen im Ackerbau ein und zeige anhand der wissenschaftlichen Literatur Optionen auf, die eine effizientere Wassernutzung ermöglichen können. Weiterhin gehe ich auf Möglichkeiten ein, die die Resilienz der Landnutzer an volatilere Wasserverfügbarkeit und Wetterbedingungen verbessern.

### Ackerbauliche Maßnahmen

Umstieg auf Kulturen mit geringerem Wasserbedarf ist von entscheidender Bedeutung, um den durch höhere Evapotranspiration steigenden Wasserbedarf in der Pflanzenproduktion etwas auszugleichen. Der Wasserbedarf der Anbaukulturen pro erzielter Einheit Ertrag sollte somit ein entscheidender Faktor für die Wahl der Kulturen sein. Baumwolle hat beispielweise einen hohem erheblich höheren Wasserbedarf als die meisten anderen Kulturen, wie beispielsweise Sommerweizen (Li et al. 2020).

Das steigende Produktionsrisiko im Ackerbau kann durch Diversifizierung der Anbaustrukturen etwas abgemildert werden. Ein größeres Portfolio an Kulturen hilft, saisonale Schwankungen in der Wasserverfügbarkeit besser abzufedern und Ernteausfälle kompensieren zu können. Auch der Anbau von Kulturpflanzen mit höherer Dürretoleranz ist ein wichtiger Ansatzpunkt, der zusätzliche Investitionen und Forschung in Pflanzenzucht erfordert. Dürreresistente Sorten werden in Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit wichtige, um die Resilienz der Agrarproduktion zu erhöhen. Auch die Anwendung wassersparender Anbautechniken, wie konservierende Bodenbearbeitung und die Anwendung von Oberflächenmulch, um die Evapotranspiration zu verringern, sind Maßnahmen, die helfen den Wasserverbrauch zu senken und die Wassernutzungseffizienz zu erhöhen (FAO 2017).

### Verbesserung der Wassernutzung

Besseres Management der knapper werdenden Wasserressourcen hat seit langem hohe politische Priorität in Usbekistan. Allerdings ist die Bewässerungslandwirtschaft aufgrund

veralteter Bewässerungsinfrastrukturen nach wie vor ineffizient (Brody and Eshchanov 2021). Höhere Nutzungseffizienz in der Bewässerungslandwirtschaft, Reduzierung der Verluste im Wassertransport und eine bessere Verteilung des Bewässerungswassers sollten somit weiterhin ein Schwerpunkt in Forschung und Entwicklung bleiben (Rakhimov, Khamidov and García 2020, Brody and Eshchanov 2021). Ein hydrologisch-ökonomisches Modell hat gezeigt, dass die ökonomischen Effekte eines höheren Durchflusses infolge der Verbesserung der Bewässerungskanäle in den unteren Flussläufen des Amudarja und Syrdarja die Gewinne in der Landwirtschaft substanziell verbessern können (Bekchanov and Lamers 2016).

Somit kommt der Verbesserung bestehender Bewässerungssysteme hin zu mehr Effizienz in der Wassernutzung entscheidende Bedeutung zu (Dukhovny and de Schutter 2011). Effizientere Bewässerung könnte den sich verändernden globalen Wasserverhältnissen wirksam begegnen, insbesondere wenn die Verbesserungen durch neue Verhaltensweisen und wassersparende Praktiken der Landwirte und nicht ausschließlich durch groß angelegte Infrastrukturprojekte erreicht werden. Seit dem Zusammenbruch der Sowjetunion hat sich die Wasserbewirtschaftung verschlechtert und die Instandhaltung der Infrastruktur ist vielerorts zum Stillstand gekommen. Die Be- und Entwässerungsinfrastruktur zerfällt in einigen Regionen und Kanäle sind verschlammt oder beschädigt (Brody and Eshchanov 2021). Bei der derzeitigen Bewässerungsinfrastruktur beträgt die Effizienz der Kanalwasserversorgungssysteme in Usbekistan nur 15 % bis 20 % im Vergleich zu 70 % bis 90 % in den meisten Industrieländern (Li et al. 2020). Andere Autoren schätzen die Wasserverluste im Transport- und -verteilungsnetz auf mehr als 40 % bis 50 %, bevor das Bewässerungswasser den Betrieb erreicht (Rakhimov et al. 2020). Eine Möglichkeit, den Wasserverlust zu reduzieren, ist die Bedeckung der Bewässerungskanäle mit Plastikfolien, was die Effizienz der Wassernutzung bis zu 40 % erhöhen könnte, wodurch sich die Investition schnell amortisieren kann (Brody and Eshchanov 2021). Allerdings erscheint mir das neue Probleme wie Plastikmüll zu kreieren, ist teuer und arbeitsaufwendig. Studien zur Haltbarkeit dieser Plastikbedeckungen sind mir nicht bekannt.

Tröpfchenbewässerung (*drip irrigation*) erhöht die Wassernutzungseffizienz, da nur der Wurzelbereich der Pflanze direkt bewässert wird. Durch die verbesserte Wasserversorgung sind auch weniger Betriebsmittel bei der Tropfbewässerung erforderlich, da die im Wasser gelösten Nährstoffe direkt in die Wurzelzone gelangen und dort schnell von der Pflanze aufgenommen werden. Der Stickstoffbedarf könnte sich bei der Tröpfchenbewässerung im Vergleich zur traditionellen Oberflächenbewässerung um mehr als 60 % und der Bedarf an Kalium um 50 % reduzieren. Außerdem steigt der Pflanzenertrag durch die zeitigere Reifung um bis zu 50 % (Rakhimov et al. 2020). Weitere Vorteile der Tröpfchenbewässerung sind, dass keine neue Entwässerungsinfrastruktur erforderlich ist und die Bodenstruktur erhalten bleibt, was die Versalzungsgefahr aufgrund des geringeren Anstiegs des Grundwasserspiegels verringert (Rakhimov et al. 2020).

Besonders effizient ist die Tröpfchenbewässerung, wenn die Felder mit dem Laser vermessen und begradigt werden (Bekchanov and Lamers 2016). Aufgrund der hohen Investitionskosten sind Tröpfchenbewässerungssysteme ökonomisch allerdings vor allem für rentable Kulturen wie Baumwolle oder Weizen geeignet. Mit zunehmender Wasserknappheit werden Investitionen in Tröpfchenbewässerung rentabler (Bekchanov and Lamers 2016). Auch ein die ökonomische Knappheit wiederspiegelnde Bepreisung des Wasers wird die Attraktivität der Tröpfchenbewässerung erhöhen.

Allerdings haben Investition in Tröpfchenbewässerung in anderen Ländern gezeigt, dass die höhere Produktionseffizienz die Rentabilität der Produktion erhöht, was einen Rebound-Effekt verursachen kann, so dass der Anbauflächen und Bewässerungsintensität ansteigen, was zu insgesamt höheren Wasserverbrauch führen kann (Grafton et al. 2018).

## Resilienz

Bessere Resilienz der Landbevölkerung, und insbesondere der Kleinbauern, ist auch für Usbekistan von zentraler Bedeutung. Die am meisten benachteiligten und ärmsten Bevölkerungsschichten leben in den trockensten Regionen des Landes (Republic of Uzbekistan 2021). Ihr Lebensunterhalt hängt zum größten Teil von der Landwirtschaft ab. Insbesondere diese Regionen sind jedoch zunehmend von den Auswirkungen des Klimawandels und der Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen betroffen und werden voraussichtlich auch in Zukunft die stärksten Auswirkungen bewältigen müssen.

Eine Verbesserung des Risikomanagements und von Frühwarnsystemen wird eine zentrale Rolle einnehmen (Republic of Uzbekistan 2021). Allerdings ist dafür eine bessere Verfügbarkeit von Daten (siehe „Unzureichende Datenverfügbarkeit von meteorologischen Messstationen“) sowie von neuesten Analysenmethoden und Modellen erforderlich (FAO 2017). Zum Beispiel sind Vorhersagen der Menge des Wasserabflusses aus den Bergen immens wichtig für die Planung der Bewässerung flussabwärts und können somit die Dürrevorsorge verbessern (FAO 2017, Shahgedanova et al. 2020, Umirbekov, Peña-Guerrero and Müller in Begutachtung).

Eine der Hauptaufgaben der in Usbekistan verbreiteten Wassernutzerverbände (*water users associations*, WUA) ist die gerechte Verteilung des Wassers unter den Mitgliedern. Allerdings unterliegen Fragen der Regulierung der Wasserverteilung nach wie vor der Kontrolle der Entscheidungsträger in den Oblast- und Rayonverwaltungen (FAO 2017). Weiterhin behindern Probleme in der Governance der Wassernutzerverbände und die häufige Vermeidung der Entrichtung der Bewässerungsgebühren durch die Landwirte eine nachhaltigere Wasserbewirtschaftung (Djumaboev et al. 2017). Die Wassernutzerverbände könnten jedoch bei der Wassereinsparung nützlich sein und sollten in diesbezüglich Aktivitäten und Projekte eingebunden werden. Auch die Grundwassernutzung für landwirtschaftliche Zwecke durch die Wassernutzerverbände bedarf einer besseren Regulierung und ökonomischen Anreizen für effiziente Wassernutzung. Eine Möglichkeit in

diese ist beispielweise die Schaffung eines Zahlungssystems für die Lieferung von Bewässerungswasser aus Grundwasserressourcen (Knorr, Theesfeld and Soliev 2021).

## Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit

Anpassungsmaßnahmen sind zentral, um die Resilienz der Kleinbauern angesichts sich schnell ändernder Klimabedingungen zu erhöhen. Zentrale Bausteine sind ackerbauliche Maßnahmen, die den Wasserverbrauch senken und eine effizientere Wassernutzung ermöglichen. Große Potenziale zur Steigerung der Effizienz liegen in der Verbesserung der bestehenden Bewässerungsinfrastruktur. Weitere wichtige Anpassungsmaßnahmen sind besseres Risikomanagement angesichts der zunehmenden Volatilität des Wetters und der Wasserverfügbarkeit. Frühwarnsysteme, die zukünftige Wasserverfügbarkeit vorhersagen, können die Planung der Wasserallokation unterstützen, zeitige Anbauplanung ermöglichen und somit das Produktionsrisiko der Landwirte reduzieren.

## Empfehlungen für zukünftige Projekte

Durch den Klimawandel wird die Landwirtschaft in vielen Regionen Usbekistans zunehmendem Strukturwandel unterworfen sein. Insbesondere in der Region des Aralsees werden extreme Hitzetage zunehmen und sowohl die Bevölkerung als auch die Tier- und Pflanzenproduktion negativ beeinflussen. Eine wichtige Strategie diesen ungünstiger werdenden Lebensbedingungen zu begegnen, ist die **Unterstützung von Umsiedlungsprogrammen** in Regionen die weniger Hitzetage haben und in denen die Anzahl von Hitzetagen weniger stark zunehmen wird und in Zukunft voraussichtlich weniger gefährliche Ausmaße annimmt.

Der Ackerbau benötigt Unterstützung für eine **bessere Anpassung an die steigende Saisonalität der Niederschläge und die Verschiebung der Regenzeiten**. Vielerlei Maßnahmen können solche Anpassung unterstützen. Beispiele dafür sind Investitionen in Forschung und Entwicklung dürreresistenter Kulturen, die Förderung diversifizierter Anbaustrukturen, die Unterstützung von Aufforstung und der Etablierung von Agroforstsysteme sowie Anreize, die auf eine Änderung der Anbaustruktur hin zu Kulturen, die die vorhandenen Wasserressourcen effizienter nutzen und besser mit den sich ändernden saisonalen Klimabedingungen besser einhergehen.

Die **Verbesserung bestehender und Investitionen in effizientere Bewässerungssysteme** ist ein zentraler Baustein, um die Wassernutzung in Usbekistan in Zukunft effizienter zu gestalten. Insbesondere Investitionen in die Tröpfchenbewässerung können Erträge verbessern bei gleichzeitigem niedrigerem Wasser- und Betriebsmittelverbrauch. Allerdings könnte effiziente Tröpfchenbewässerung einen Reboundeffekt verursachen, was den absoluten Wasserverbrauch mittelfristig ansteigen ließe.

Ganz Zentralasien und insbesondere Usbekistan haben eine schlechte Datenlage im Hinblick auf die Anzahl meteorologischer Messstationen und den Zugang zu Daten aus bestehenden Messstationen. Weiterhin gibt es wenig für die Wissenschaft verfügbare Daten aus Pegelmessständen, die für eine Abschätzung der Wasserpegel flussabwärts zentral sind. Die

**Förderung einer besseren Datenlage** durch Finanzierung zusätzlicher Wetterstationen, der Digitalisierung bestehender Stationsdaten und deren kostenloser Bereitstellung sind wesentlich, um bessere wissenschaftliche Analysen zu ermöglichen, die wiederum ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Wasserverfügbarkeit generieren. Eine bessere Datenlage ist auch zentral, um Monitoring- und Frühwarnsysteme für Wasserknappheit und Extremwetter zu implementieren.

Der Wasserabfluss aus den „Wassertürmen" der Region war schon immer volatil, aber diese Volatilität wird aufgrund des Klimawandels mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter zunehmen. **Bessere Vorhersagemodelle des Klimas, Wetters und des Wasserabflusses** in den für den Ackerbau wichtigen Anbauphasen sind durch bessere Soft- und Hardwareoptionen heutzutage technisch möglich. Insbesondere sollten dafür die Kapazitäten von Einsatz von GIS und satellitengestützer Fernerkundung gestärkt werden. Allerdings ist die Modellierung und Validierung solcher Vorhersagemodelle abhängig von der Datenqualität und den Zugang zu bestehenden Messreihen, die bisher unzureichend sind.

Die wissenschaftliche Literatur für ganz Zentralasien ist nicht sonderlich umfangreich und viele Studien sind von zweifelhafter Qualität. **Förderung der Ausbildung an den Universitäten und Forschungsinstituten**, beispielsweise durch Förderung langfristiger Austauschprogramme, der Vergabe von Stipendien, auch schon zu Beginn der Universitätsausbildung, und der Unterstützung kollaborativer internationaler Forschungsprojekte können wesentliche Beiträge leisten, um die Qualität und Quantität der Wissenshaft aus und über die Region zu verbessern. Initiativen wie Green Central Asia können in dieser Richtung viele positive Inputs liefern, um den Zugang zu Daten, Informationen und Analysen zu verbessern. Generierung von besserem Wissen über die Zusammenhänge zwischen Klimawandel und landwirtschaftliche Produktion hilft, die Auswirkungen des Klimawandels besser einzuschätzen, diesen Herausforderungen adäquat zu begegnen und rechtzeitig vorbeugende Maßnahmen ergreifen zu können.

# Literatur


Aldaya, M., G. Muñoz & A. Hoekstra. 2010. *Water footprint of cotton, wheat and rice production in Central Asia*. UNESCO-IHE.

Bekchanov, M. & J. P. A. Lamers (2016) Economic costs of reduced irrigation water availability in Uzbekistan (Central Asia). *Regional Environmental Change*, 1-19.

Bobojonov, I. & A. Aw-Hassan (2014) Impacts of climate change on farm income security in Central Asia: An integrated modeling approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 188, 245-255.

Brody, M. & B. Eshchanov. 2021. Water Resource Risks to Cotton Agriculture in Uzbekistan: Climate, Policy and Irrigation. In *Water Resource Management in Central Asia and Afghanistan: Current and Future Environmental and Water Issues,* eds. Z. E. Kulenbekov & B. D. Asanov, 83-92. Cham: Springer International Publishing.

Devkota, M., K. P. Devkota, R. K. Gupta, K. D. Sayre, C. Martius & J. P. A. Lamers. 2015. Conservation agriculture farming practices for optimizing water and fertilizer use efficiency in Central Asia. In *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification,* eds. P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen & D. Wichelns. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI).

Didovets, I., A. Lobanova, V. Krysanova, C. Menz, Z. Babagalieva, A. Nurbatsina, N. Gavrilenko, V. Khamidov, A. Umirbekov, S. Qodirov, D. Muhyyew & F. F. Hattermann (2021) Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representative catchments. *Journal of Hydrology: Regional Studies,* 34, 100779.

Djalilov, B. M., A. Khamzina, A.-K. Hornidge & J. P. A. Lamers (2016) Exploring constraints and incentives for the adoption of agroforestry practices on degraded cropland in Uzbekistan. *Journal of Environmental Planning and Management,* 59, 142-162.

Djanibekov, U., N. Djanibekov, A. Khamzina, A. Bhaduri, J. P. A. Lamers & E. Berg (2013) Impacts of innovative forestry land use on rural livelihood in a bimodal agricultural system in irrigated drylands. *Land Use Policy,* 35, 95-106.

Djanibekov, U., A. Khamzina, N. Djanibekov & J. P. A. Lamers (2012) How attractive are short-term CDM forestations in arid regions? The case of irrigated croplands in Uzbekistan. *Forest Policy and Economics,* 21, 108-117.

Djumaboev, K., A. Hamidov, O. Anarbekov, Z. Gafurov & K. Tussupova (2017) Impact of Institutional Change on Irrigation Management: A Case Study from Southern Uzbekistan. *Water,* 9.

Dukhovny, V. A. & J. de Schutter. 2011. *Water in Central Asia: Past, Present, Future*. Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema.

Dunn, R. J. H., L. V. Alexander, M. G. Donat, X. Zhang, M. Bador, N. Herold, T. Lippmann, R. Allan, E. Aguilar, A. A. Barry, M. Brunet, J. Caesar, G. Chagnaud, V. Cheng, T. Cinco, I. Durre, R. de Guzman, T. M. Htay, W. M. Wan Ibadullah, M. K. I. Bin Ibrahim, M. Khoshkam, A. Kruger, H. Kubota, T. W. Leng, G. Lim, L. Li-Sha, J. Marengo, S. Mbatha, S. McGree, M. Menne, M. de los Milagros Skansi, S. Ngwenya, F. Nkrumah, C. Oonariya, J. D. Pabon-Caicedo, G. Panthou, C. Pham, F. Rahimzadeh, A. Ramos, E. Salgado, J. Salinger, Y. Sané, A. Sopaheluwakan, A. Srivastava, Y. Sun, B. Timbal, N. Trachow, B. Trewin, G. van der Schrier, J. Vazquez-Aguirre, R. Vasquez, C. Villarroel, L. Vincent, T. Vischel, R. Vose & M. N. A. Bin Hj Yussof (2020) Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data

Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres,* 125**,** e2019JD032263.

FAO. 2017. Drought characteristics and management in Central Asia and Turkey. In *FAO Water Reports 44*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

--- (2021) FAOSTAT data. http://faostat.fao.org (last accessed 19 Dec 2021).

Farinotti, D., L. Longuevergne, G. Moholdt, D. Duethmann, T. Mölg, T. Bolch, S. Vorogushyn & A. Güntner (2015) Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. *Nature Geoscience,* 8**,** 716.

Grafton, R. Q., J. Williams, C. J. Perry, F. Molle, C. Ringler, P. Steduto, B. Udall, S. A. Wheeler, Y. Wang, D. Garrick & R. G. Allen (2018) The paradox of irrigation efficiency. *Science,* 361**,** 748.

Immerzeel, W. W., A. F. Lutz, M. Andrade, A. Bahl, H. Biemans, T. Bolch, S. Hyde, S. Brumby, B. J. Davies, A. C. Elmore, A. Emmer, M. Feng, A. Fernández, U. Haritashya, J. S. Kargel, M. Koppes, P. D. A. Kraaijenbrink, A. V. Kulkarni, P. A. Mayewski, S. Nepal, P. Pacheco, T. H. Painter, F. Pellicciotti, H. Rajaram, S. Rupper, A. Sinisalo, A. B. Shrestha, D. Viviroli, Y. Wada, C. Xiao, T. Yao & J. E. M. Baillie (2020) Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature,* 577**,** 364-369.

IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. eds. C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor & P. M. Midgley. Cambridge, UK.

---. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Jiang, J., T. Zhou, X. Chen & L. Zhang (2020) Future changes in precipitation over Central Asia based on CMIP6 projections. *Environmental Research Letters,* 15**,** 054009.

Khamzina, A., J. P. A. Lamers & P. L. G. Vlek. 2012. Conversion of Degraded Cropland to Tree Plantations for Ecosystem and Livelihood Benefits. In *Cotton, Water, Salts and Soums: Economic and Ecological Restructuring in Khorezm, Uzbekistan,* eds. C. Martius, I. Rudenko, J. P. A. Lamers & P. L. G. Vlek, 235-248. Dordrecht: Springer Netherlands.

Khaydar, D., X. Chen, Y. Huang, M. Ilkhom, T. Liu, O. Friday, A. Farkhod, G. Khusen & O. Gulkaiyr (2021) Investigation of crop evapotranspiration and irrigation water requirement in the lower Amu Darya River Basin, Central Asia. *Journal of Arid Land,* 13**,** 23-39.

Khaydarov, M. & L. Gerlitz (2019) Climate variability and change over Uzbekistan–an analysis based on high resolution CHELSA data. *Central Asian Journal of Water Research,* 5**,** 1-19.

Knorr, H., I. Theesfeld & I. Soliev (2021) License to drill: typology of groundwater use regulations in agriculture of Uzbekistan. *International Journal of Water Resources Development***,** 1-21.

Kraaijenbrink, P. D. A., E. E. Stigter, T. Yao & W. W. Immerzeel (2021) Climate change decisive for Asia's snow meltwater supply. *Nature Climate Change,* 11**,** 591-597.

Li, Z., G. Fang, Y. Chen, W. Duan & Y. Mukanov (2020) Agricultural water demands in Central Asia under 1.5 °C and 2.0 °C global warming. *Agricultural Water Management,* 231**,** 106020.

McDermid, S. S. & J. Winter (2017) Anthropogenic forcings on the climate of the Aral Sea: A regional modeling perspective. *Anthropocene,* 20**,** 48-60.

Menne, M. J., I. Durre, R. S. Vose, B. E. Gleason & T. G. Houston (2012) An Overview of the Global Historical Climatology Network-Daily Database. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,* 29**,** 897-910.

Mukhabbatov, H. M., S. S. Zhiltsov & E. A. Markova. 2020. Tajikistan Water Resources and Water Management Issues. In *Water Resources Management in Central Asia,* eds. I. S. Zonn, S. S. Zhiltsov, A. G. Kostianoy & A. V. Semenov, 111-123. Cham: Springer International Publishing.

Nikanorova, A. D., E. V. Milanova, N. M. Dronin & N. O. Telnova (2016) Estimation of Water Deficit under Climate Change and Irrigation Conditions in the Fergana Valley of Central Asia. *Arid Ecosystems,* 6**,** 260-267.

Qin, Y., J. T. Abatzoglou, S. Siebert, L. S. Huning, A. AghaKouchak, J. S. Mankin, C. Hong, D. Tong, S. J. Davis & N. D. Mueller (2020) Agricultural risks from changing snowmelt. *Nature Climate Change*.

Rakhimov, O., O. Khamidov & T. S. García (2020) Improvement And Modernization of Agricultural Irrigation. Uzbekistan Case Study. *European Journal of Agriculture and Food Sciences,* 2.

Republic of Uzbekistan. 2021. Updated Nationally Determined Contribution. Tashkent.

Reyer, C. P. O., I. M. Otto, S. Adams, T. Albrecht, F. Baarsch, M. Cartsburg, D. Coumou, A. Eden, E. Ludi, R. Marcus, M. Mengel, B. Mosello, A. Robinson, C.-F. Schleussner, O. Serdeczny & J. Stagl (2017) Climate change impacts in Central Asia and their implications for development. *Regional Environmental Change,* 17**,** 1639-1650.

Ruan, H., J. Yu, P. Wang & T. Wang (2020) Increased crop water requirements have exacerbated water stress in the arid transboundary rivers of Central Asia. *Science of The Total Environment,* 713**,** 136585.

Schlubach, J. (2021) Downscaling model in agriculture in Western Uzbekistan climatic trends and growth potential along field crops physiological tolerance to low and high temperatures. *Heliyon,* 7**,** e07028.

Shahgedanova, M., M. Afzal, W. Hagg, V. Kapitsa, N. Kasatkin, E. Mayr, O. Rybak, Z. Saidaliyeva, I. Severskiy, Z. Usmanova, A. Wade, N. Yaitskaya & D. Zhumabayev (2020) Emptying Water Towers? Impacts of Future Climate and Glacier Change on River Discharge in the Northern Tien Shan, Central Asia. *Water,* 12.

Siegfried, T., T. Bernauer, R. Guiennet, S. Sellars, A. W. Robertson, J. Mankin, P. Bauer-Gottwein & A. Yakovlev (2012) Will climate change exacerbate water stress in Central Asia? *Climatic Change,* 112**,** 881-899.

Soliev, I. & I. Theesfeld (2020) Benefit Sharing for Solving Transboundary Commons Dilemma in Central Asia. *International Journal of the Commons,* 14**,** 61–77.

Sorg, A., T. Bolch, M. Stoffel, O. Solomina & M. Beniston (2012) Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Clim. Change,* 2**,** 725-731.

Sorg, A., B. Mosello, G. Shalpykova, A. Allan, M. Hill Clarvis & M. Stoffel (2014) Coping with changing water resources: The case of the Syr Darya river basin in Central Asia. *Environmental Science & Policy,* 43**,** 68-77.

The World Bank Group & Asian Development Bank. 2021. Climate Risk Country Profile: Uzbekistan.

Umirbekov, A., M. D. Peña-Guerrero & D. Müller (in Begutachtung) Regionalization of climate teleconnections across Central Asian mountains improves the predictability of seasonal precipitation. *Environmental Research Letters*.

United Nations. 2019. World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
Varis, O. (2014) Curb vast water use in central Asia. *Nature,* 514**,** 27-29.
World Bank. 2021. *World Development Indicators*. Washington, D.C.: The World Bank.
Yin, H., A. Khamzina, D. Pflugmacher & C. Martius (2017) Forest cover mapping in post-Soviet Central Asia using multi-resolution remote sensing imagery. *Scientific Reports,* 7**,** 1375.
Zhiltsov, S. S., I. S. Zonn, N. S. Orlovsky & A. V. Semenov. 2020. Main Problems of Water Resources Use in Central Asia. In *Water Resources Management in Central Asia,* eds. I. S. Zonn, S. S. Zhiltsov, A. G. Kostianoy & A. V. Semenov, 77-98. Cham: Springer International Publishing.