

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Diese Studie wurde für die GFA Consulting Group im Auftrag des  
Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) durchgeführt.

Die Gesamtstudie, die für neun BMEL- Schwerpunktländer durchgeführt wurde, finden Sie [hier](#).

Februar 2020

# Autoren

Dr. Florian Schierhorn<sup>1</sup>

Dr. Daniel Müller<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Transformationsökonomien (IAMO),  
Theodor-Lieser-Str. 2, 06120 Halle (Saale)

<sup>2</sup> Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Unter den Linden 6,  
10099 Berlin

<sup>3</sup> Integrative Research Institute on Transformations of Human-Environment  
Systems (IRI THESys), Humboldt- Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099  
Berlin

## **Korrespondenzadresse:**

E-Mail: [schierhorn@iamo.de](mailto:schierhorn@iamo.de)

Telefon: +49 345 2928-325

## Inhaltsverzeichnis

1.1	Einleitung.....	4
1.2	Klimaschutz: Forschungsstand .....	5
1.3	Klimaschutz: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte .....	9
1.4	Klimaanpassung: Forschungsstand .....	9
1.5	Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte .....	14
1.6	Literatur.....	15

## Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 1.** THG-Emissionen der marokkanischen Landwirtschaft (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) ohne Landnutzungsänderung; eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019). ..... 5

**Abbildung 2.** THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch, Milch oder Getreide (in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kg Produkt) im Jahr 2016; die Daten beinhalten nur die Emissionen, die innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes entstehen, aber keine Emissionen, die in Importgütern gebunden sind oder entlang der Wertschöpfungskette entstehen. Quelle: eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019). ..... 6

## Glossar

<b>BMEL</b>	Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
<b>CA</b>	Konservierende Bodenbearbeitung (conservation agriculture)
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid
<b>COP</b>	Vertragsstaatenkonferenz (Conference of Parties)
<b>ENSO</b>	El Niño-Southern Oscillation
<b>Mt</b>	Megatonne
<b>N</b>	Stickstoff
<b>RUE</b>	Regenwassernutzungseffizienz (rain use efficiency)
<b>THG</b>	Treibhausgase

## 1.1 Einleitung

Der landwirtschaftliche Sektor in Marokko trägt mit etwa 15% zum Bruttoinlandsprodukt bei, beschäftigt 43% aller Arbeitskräfte und ist damit ein ökonomischer Hauptfeiler des Landes (Brouziyne *et al.*, 2018). Allerdings steht die Landwirtschaft vor großen ökologischen Herausforderungen. In den letzten Jahrzehnten hat das starke Bevölkerungswachstum, in Verbindung mit einem bemerkenswerten ökonomischen Aufschwung, den Bedarf nach Wasser und fossilen Energieträgern in Marokko massiv erhöht. Für die marokkanische Landwirtschaft, insbesondere den Ackerbau, ist Wasser wahrscheinlich der wichtigste und zugleich der limitierendste Produktionsinput. Daher spielt die Bewässerungswirtschaft eine zentrale Rolle. Insgesamt werden 1,5 Millionen Hektar künstlich bewässert, was etwa 17% der gesamten landwirtschaftlichen Fläche Marokkos entspricht (Molle & Tanouti, 2017). Weitere 0,3 Mha werden unregelmäßig bewässert. Der landwirtschaftliche Sektor ist für 75% des Gesamtwasserverbrauchs verantwortlich (Molle & Tanouti, 2017). Zwar haben der Ausbau und die Verbreitung der Bewässerungsinfrastruktur die landwirtschaftlichen Produktionssteigerungen in den letzten Jahren wesentlich mitgetragen und damit die Nahrungsmittelsicherheit erhöht. Allerdings ist die Bewässerungseffizienz überwiegend gering und es kommt nur etwa die Hälfte des eingesetzten Wassers bei den Kulturen an (Molle & Tanouti, 2017). Neben der hohen Wasserverschwendung und der geringen Bewässerungseffizienz ist der steigende Wasserverbrauch darauf zurückzuführen, dass immer häufiger Kulturen angebaut werden, die einen sehr hohen Wasserverbrauch haben, wie beispielsweise Zitrusfrüchte.

Die Folgen der intensiven Bewässerung in Marokko sind bereits heute offenkundig. In vielen Regionen ist der Grundwasserspiegel weit abgesunken. Zudem versalzt das Grundwasser, infolge des Absinkens, durch das Eindringen von Meerwasser und ist durch exzessive Düngung mit Nitraten verunreinigt (Schyns & Hoekstra, 2014). Die sich verschlechternde Qualität des Grundwassers stellt mit Blick auf die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser ein enormes Problem dar (Molle & Tanouti, 2017).

Bereits heute sind die klimatischen Bedingungen für die Landwirtschaft problematisch. Infolge des Klimawandels sind die Temperaturen in allen Jahreszeiten gestiegen und die Niederschlagsmenge in vielen Teilen des Landes gesunken. Zudem treten extreme Wetterereignisse wie Dürren und Hitzewellen, aber auch Starkregen immer häufiger ein (Jobbins *et al.*, 2015). Zukünftig wird es deutlich wärmer und trockener in Marokko. Neuere Modellergebnisse zeigen, dass Marokko eines der am stärksten vom Klimawandel betroffenen Länder im Mittleren Osten und Nordafrika sein wird. Die Niederschläge werden zurückgehen und die Temperaturen weiter stark steigen (Rochdane *et al.*, 2012).

Vor diesem Hintergrund unternehmen Regierung und internationale Geberorganisationen große Anstrengungen, die marokkanische Landwirtschaft an den Klimawandel anzupassen. Ein wichtiger Meilenstein bei diesen Unternehmungen ist der 2008 ins Leben gerufene Green

Marokko Plan (oder auch *Plan Maroc Vert*). Der Green Marokko Plan sieht vor, sowohl die exportorientierte Landwirtschaft wie auch Kleinbauern in marginalen Regionen zu unterstützen (van der Kooij *et al.*, 2017). Ein Element des Plans ist die großflächige Umwandlung von wasserintensiven Getreideflächen in wertvolle Agroforstsysteme (vor allem mit Olivenbäumen). Agroforstsysteme haben großes Potential die ländliche Entwicklung zu stimulieren und die Landwirtschaft an den Klimawandel anzupassen (Kmoch *et al.*, 2018).

Wir legen in unserer Analyse für Marokko den Schwerpunkt auf den Bereich Klimaanpassung, weil Marokko mit 0,03% der weltweiten THG-Emissionen aus der Landwirtschaft einen sehr geringen Anteil an den weltweiten Emissionen hat und das Land bereits stark vom Klimawandel betroffen ist.

## 1.2 Klimaschutz: Forschungsstand

### THG-Emissionen der marokkanischen Landwirtschaft

Mehr als drei Viertel der Gesamtemissionen von Marokko werden von der Industrie verursacht und lediglich knapp 13% stammen aus der Landwirtschaft. Fast die Hälfte der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft in Marokko entsteht durch die Verdauungsprozesse von Wiederkäuern (Abbildung 1). Diese Methanemissionen sind seit 1990 leicht angestiegen.

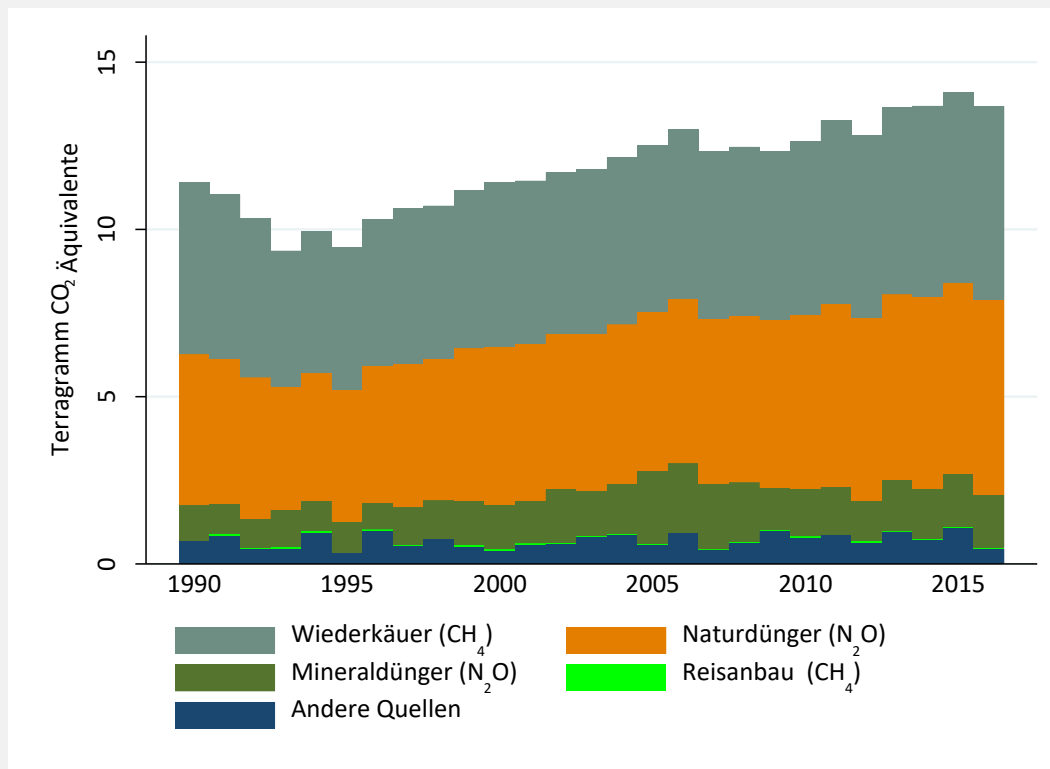


Abbildung 1. THG-Emissionen der marokkanischen Landwirtschaft (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) ohne Landnutzungsänderung; eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019).

Im internationalen Vergleich sind die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft, mit einem Anteil von 0.26% an den Gesamtemissionen der weltweiten Landwirtschaft (FAO, 2019), sehr gering. Der kleine Anteil ist vor allem auf die geringe landwirtschaftliche Fläche und die relativ kleinen Tierbestände zurückzuführen. In geringerem Maße sind die relativ geringen Gesamtemissionen aus der Landwirtschaft auf die Emissionsintensität, also auf die pro Kilogramm erzeugten THG-Emissionen zurückzuführen (Abbildung 2).

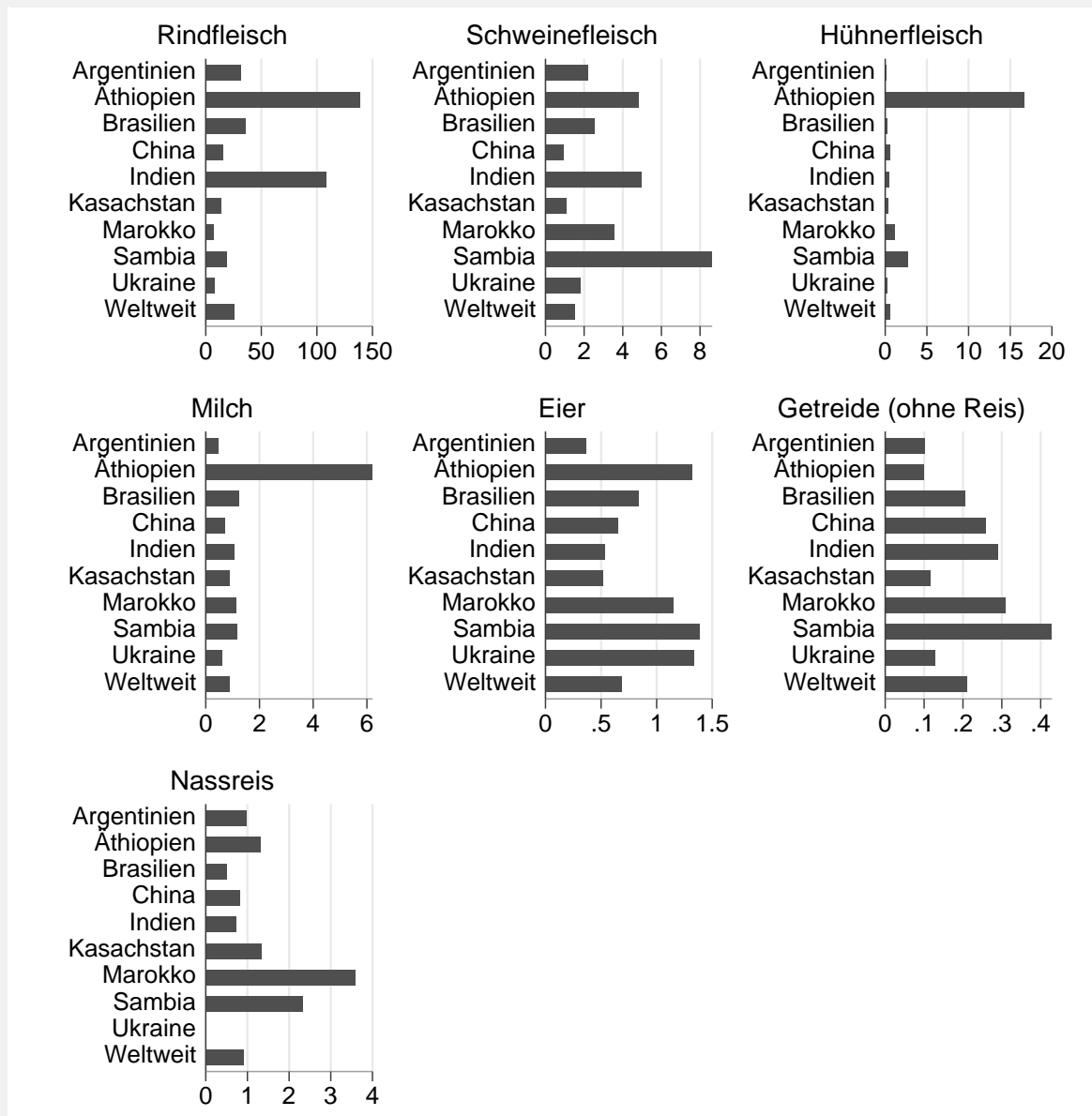


Abbildung 2. THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch, Milch oder Getreide (in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro kg Produkt) im Jahr 2016; die Daten beinhalten nur die Emissionen, die innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes entstehen, aber keine Emissionen, die in Importgütern gebunden sind oder entlang der Wertschöpfungskette entstehen. Quelle: eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019).

In der Tierproduktion ist die Intensität der THG-Emissionen ungefähr im Mittelfeld der neun untersuchten Zielländer, wobei die beiden anderen untersuchten afrikanischen Länder (Äthiopien und Sambia) höhere THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch oder Milch als Marokko erzeugen. Beim Rindfleisch hat Marokko die niedrigsten Emissionen pro Kilogramm Fleisch der hier untersuchten Zielländer. Beim Getreide hingegen sind die Emissionen sehr hoch je produziertem Kilogramm, was insbesondere auf die ineffiziente Mineraldüngung zurückzuführen ist. In diesem Bereich hat Marokko erhebliche Einsparungspotenziale (siehe unten). Außerdem haben Aufforstungsprogramme in Marokko zu einem netto Waldzuwachs geführt und damit eine kleine Kohlenstoffsенке entstehen lassen (Maanan *et al.*, 2019).

### **Klimaschutz durch Conservation Agriculture**

Die hohen Emissionen in der Getreideproduktion sind auf die emissionsintensiven Anbauverfahren zurückzuführen. Fast überall wird der Pflug tiefgründig eingesetzt und Mineraldünger in großen Mengen und ineffizient ausgebracht. Viele landwirtschaftlich genutzte Böden haben dadurch in den letzten Jahrzehnten große Mengen ihrer ursprünglichen organischen Bodensubstanz und damit ihres Kohlenstoffs verloren. Nach nur zehn Jahren pflugbasiertem Ackerbau nahm der Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff in Marokko um 30% ab (Moussadek *et al.*, 2014). Nach Angaben der FAO waren vor einigen Jahren 71% der Böden von starkem Kohlenstoffverlust und anderen Degradationsarten betroffen (Bot & Benites, 2005).

Vor diesem Hintergrund haben Maßnahmen, die der so genannten *Conservation Agriculture (CA)* zuzuordnen sind (Direktsaatverfahren, Einarbeiten der Erntereste, vielfältige Fruchtfolgen), großes Potenzial, der Bodendegradation entgegen zu wirken und damit die Emissionen zu verringern. Durch die Anwendung des Direktsaatverfahrens kann die Oxidation der organischen Bodenaufgabe zu CO<sub>2</sub>, die durch das Pflügen verursacht wird, deutlich verringert werden. Wenn zudem noch Erntereste auf dem Acker verbleiben, kann der Boden zusätzlichen Kohlenstoff speichern und noch mehr Emissionen eingespart werden (Galli, 2015). Diese positiven Effekte von CA wurden in zahlreichen Studien gezeigt, die in Ländern durchgeführt wurden, die ein ähnliches mediterranes Klima wie Marokko haben.

Auch in Marokko wurden zahlreiche Studien durchgeführt, die die Effekte des Direktsaatverfahrens und anderer CA-Elemente auf den Bodenkohlenstoff, das Bodenwasser und die Erträge der Feldfrüchte untersucht haben. Ein großer Teil dieser Wissenschaftler arbeitet in der Hauptstadt Rabat am *National Institute of Agricultural Research (INRA)*, das mehrere Forschungsstationen im Land betreibt. Auch internationale Organisationen wie die Weltbank haben CA-Projekte in Marokko vorangetrieben. In einer älteren Studie wurde berechnet, dass der Bodenkohlenstoff nach 13 Jahren Anwendung des Direktsaatverfahrens 14% höher ist als im konventionellen Vergleichssystem (Mrabet *et al.*, 2001). Dabei wurde das Kohlenstoff-

Speicherpotential wahrscheinlich bis zum Zeitpunkt der letzten Messung noch nicht ausgeschöpft, weil der anfängliche Bodenkohlenstoffwert sehr gering war. Zudem war der Zeitraum, über den das Direktsaatverfahren angewendet wurde, mit 13 Jahren relativ kurz. Wie in vielen vergleichbaren Studien hatten Tonböden die größten Mengen an Kohlenstoff gespeichert. In einer auf Langzeitmessungen basierenden Studie wurde für einen Standort nachgewiesen, dass der Bodenkohlenstoff bis zu einer Tiefe von 40 cm im Direktsaatverfahren nach 32 Jahren deutlich höher war als im konventionellen Vergleichssystem (Laghrour *et al.*, 2016). Auf einem anderen Standort trat ein Unterschied nur bis zu einer Tiefe von 10 cm auf, allerdings wurden hier die Kohlenstoffgehalte im Boden lediglich über 11 Jahre bemessen. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch für den Bodentyp Vertisol, der höhere Kohlenstoffmengen speichert als Cambisol und Luvisol (Moussadek *et al.*, 2014). Basierend darauf kann (vorsichtig) geschlossen werden, dass fein strukturierte, tonhaltige Böden vorzugsweise mit dem Direktsaatverfahren bearbeitet werden sollten, wenn Klimaschutz angestrebt wird. Laghrour *et al.* (2016) zeigten zudem, dass durch das Direktsaatverfahren die Bodenpartikelstabilität deutlich verstärkt wird, was zu einem erhöhten Erosions- und Abflussschutz führt und die Landwirte besser vor den Auswirkungen von Klimaextremen schützt.

Trotz der zahlreichen positiven Effekte von CA wird dieses System bis heute von nur etwa einem Prozent der Landwirte eingesetzt, was ungefähr 10,500 ha im Jahr 2015 entsprach (Kassam *et al.*, 2019). Allein in Zentralmarokko will die Regierung die CA-Fläche auf 60,000 ha vergrößern, was bedeuten würde, dass 90% der Bauern zu CA wechseln müssten. Eine Studie hat jedoch gezeigt, dass höchstens 40% der Bauern wechseln würden, wenn entsprechende Anreize gesetzt werden würden (Bonzanigo *et al.*, 2016). Die Hauptgründe für die sehr geringe Quote sind das Fehlen von Anbietern der Direktsaattechnik, ein Mangel an technischem Wissen und ungünstige Marktbedingungen für CA-Komponenten wie Zwischenfrüchte. Der Wechsel zu CA ist aufwendig, da tiefgreifende und langfristige Veränderungen im Produktionssystem nötig sind und neue Technik finanziert werden müsste (Bonzanigo *et al.*, 2016). Es gibt Studien, die zeigen, dass Bauern nicht aufgrund von höheren Erträgen zu CA wechseln, sondern häufig erst, wenn die notwendigen Subventionen für die Technik bereitstehen. Es ist daher wichtig, dass Landwirte zunächst über die ökonomischen, sozialen und ökologischen Vorteile aufgeklärt werden, bevor diese überhaupt einen Wechsel zu CA in Erwägung ziehen. Auch in Marokko haben Landwirte vorrangig die ökonomischen und nicht die ökologischen Auswirkungen im Blick (Bonzanigo *et al.*, 2016). Die Landwirte gaben an, dass die teuren chemischen Inputs, die vermeintlich in größeren Mengen eingesetzt werden müssen, wenn nicht mehr gepflügt wird, und das Fehlen von regionalen Direktsaatanbietern die wichtigsten Gründe dafür sind, dass nicht zu CA gewechselt wird.

Die Regierung muss ihre CA-Förderprogramme an die Farmtypen, deren betriebswirtschaftliche Bedingungen und den Standortgegebenheiten anpassen. Die Regierung müsste insbesondere Programme entwickeln, die es Kleinbauern ermöglicht, zu CA zu wechseln. Kleinbauern in



Marokko haben zudem eher die kurzfristige Entwicklung ihres Betriebes im Auge und können oftmals nicht hinreichend langfristige Strategien und Investitionen tätigen, die für CA erforderlich wären (Bonzanigo *et al.*, 2016).

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

Zwar hat Marokko das Pariser Abkommen ratifiziert und sich verpflichtet, seine THG-Emissionen bis 2030 um 17% zu senken, allerdings sind die Ziele im Bereich der Landwirtschaft mit 4% Absenkung wenig ambitioniert. Die Regierung stellt eine Reduktion um bis zu 42% in Aussicht, wenn die internationale Unterstützung entsprechend erhöht wird. Das Land ist mit Blick auf die THG-Emissionsintensität bereits relativ gut aufgestellt, insbesondere in der Tierproduktion und auch im Vergleich zu anderen Ländern Afrikas. Mititgationspotenziale von THG-Emissionen sehen wir vor allem im Bereich des Ackerbaus. Conservation Agriculture (CA) hat das Potenzial, organische Bodensubstanz in die Böden zurück zu führen und damit Klimaschutz voran zu treiben sowie der Bodendegradation entgegen zu wirken. Einige Forschungsprojekte haben gezeigt, dass das Direktsaatverfahren große Potenziale sowohl im Bereich Klimaschutz als auch bei der Anpassung an extreme Klimabedingungen hat. Wir empfehlen daher, dass eine verstärkte Beratung über die fachlich korrekte Anwendung der CA-Elemente eingesetzt und die Anschaffung der entsprechenden Technik finanziell seitens der Regierung und internationalen Geberorganisationen gefördert wird. Projekte wie das vom BMEL geförderte „Deutsch-Marokkanische Exzellenzzentrum für Landwirtschaft (CECAMA)“, das zur Förderung von landwirtschaftlichem Know-how geschaffen wurden, sind aus unserer Sicht mit Blick auf die agronomischen Herausforderungen (auch bei der Bewässerung, siehe unten) auszubauen. Da viele Bauern angegeben haben, dass der schwere Zugang zur Direktsaattechnik ein wichtiger Grund für die ausbleibende Umstellung ist, müsste die Regierung den Markt für CA-Technik wie das Direktsaatverfahren unterstützen. Nur so können Kleinbauern im Umstieg unterstützt werden. Bislang werden die Pumpen für die Bewässerung überwiegend durch Pumpen betrieben. CO<sub>2</sub> kann durch solar betriebene Pumpen eingespart werden. In dem GEF-Projekt '*Increasing Productivity and Adaptive Capacities in Mountain Areas of Morocco (IPACMAM)*' werden von 2016 bis 2021 73,6 Millionen Dollar für die Förderung solar betriebene Pumpen investiert.

### **1.4 Klimaanpassung: Forschungsstand**

#### **Klimaanpassung durch Bewässerung**

Lange Zeit war die künstlich bewässerte Fläche in Marokko relativ klein, aber verheerende Dürren und der verbesserte Zugang zu Elektrizität und Kraftstoffen ab Anfang der 1990 er Jahre haben dafür gesorgt, dass viele Bauern private und häufig nicht genehmigte Brunnen zur Bewässerung errichtet haben. Das Wasser wird sehr häufig ineffizient eingesetzt. Viele Bauern sind etwa, aufgrund von finanziellen Anreizen, in den wasserintensiven Gemüse- und Obstanbau eingestiegen (Jobbins *et al.*, 2015). Es werden daher auf Regierungsseite, aber auch seitens von

NGOs und in der Forschung große Anstrengungen unternommen, den Wasserbedarf besser an das Wasserangebot anzupassen und das Grundwasserproblem nachhaltig zu lösen (Jobbins *et al.*, 2015). Ein Meilenstein ist hier der bereits erwähnte *Green Marokko Plan*, der unter anderem vorsieht, die Tröpfchenbewässerung zu unterstützen und weiter auszubauen. Marokko hat mit dem *Green Marokko Plan* einen der ambitioniertesten Pläne zum Aufbau der Tröpfchenbewässerung weltweit. Die Regierung implementierte ein umfangreiches Subventionsprogramm, um 50% der bewässerten Agrarflächen in die Tröpfchenbewässerung zu überführen. Bauern mit einer Fläche von mehr als 5 ha können Subventionen in Höhe von 80% der Kosten für die Tröpfchenbewässerung von der Regierung beantragen. Kleinbauern, die weniger als 5 ha Land besitzen haben sogar die Möglichkeit, Subventionen in voller Höhe der Kosten zu erhalten (van der Kooij *et al.*, 2017). Das Regierungsprogramm kann als effektiv bewertet werden, denn seit 2008 wurden jährlich auf fast 50.000 ha Fläche die Tröpfchenbewässerung zusätzlich implementiert (Molle & Tanouti, 2017). So ist in Marokko eine große, fortschrittliche und politisch einflussreiche Bewässerungsindustrie entstanden.

Die Vor- und Nachteile der Tröpfchenbewässerung werden in der Fachliteratur intensiv diskutiert. Im wissenschaftlichen Diskurs wird die Tröpfchenbewässerung in Marokko vorwiegend als eine wassereffiziente sowie ertrags- und einkommenssteigernde Technik beschrieben. Das Wasser wird direkt in die Wurzelzone der Pflanzen transportiert, sodass Verluste durch Evapotranspiration und Abfluss reduziert werden (Alonso *et al.*, 2019). Daher kann die Tröpfchenbewässerung theoretisch eine höhere Bewässerungseffizienz als konventionelle Bewässerungstechniken wie die Furchen- oder Sprinklerbewässerung haben. In einer regionalen Modellierungsstudie (durchgeführt in Zentralmarokko) hatte die großflächige Anwendung der Tröpfchenbewässerung zu einer Verringerung des Wasserbedarfs um 20% geführt (Rochdane *et al.*, 2012).

Es wird auch diskutiert, dass die Tröpfchenbewässerung in Marokko verschmutztes Wasser sicherer verteilen kann und Vorteile gegenüber älteren Bewässerungstechniken in steilem Gelände hat (van der Kooij *et al.*, 2017). Darüber hinaus wird diese Technik von Landwirten in Marokko als eine Technologie eingeschätzt, die eine deutliche Arbeitserleichterung erzeugt (van der Kooij *et al.*, 2017). Die Tröpfchenbewässerung wird in der Literatur auch als eine Art Innovations- und Modernisierungszugpferd gehandelt, die die gesamte Landwirtschaft weg von veralteten und schmutzigen Landnutzungsform (z.B. Tabak) hin zu einer saubereren und nachhaltigeren Ära führen kann (van der Kooij *et al.*, 2017).

Ungeachtet dieser Vorteile und der starken staatlichen Unterstützung wird die Tröpfchenbewässerung nur von einem kleinen Teil der Landwirte in Marokko eingesetzt. In einer größeren Befragung haben zwar 83% der Landwirte angegeben, dass sie die Tröpfchenbewässerung für die effizienteste Bewässerungsart halten (Kalpakian *et al.*, 2014), aber nur 10% gaben an, dass sie diese Technik auch tatsächlich nutzen. Die Hälfte derer, die keine Tröpfchenbewässerung

nutzen, führen das auf die hohen Beschaffungs- und Wartungskosten zurück. Trotz der hohen staatlichen Subventionen bringen viele Landwirte die verbleibenden Finanzmittel für die Beschaffung der Technik nicht auf. Viele Kleinbauern kommen zudem nicht an die Subventionen, weil sie keine eigenen Agrarflächen besitzen (Kmoch *et al.*, 2018). 16% der Landwirte, die die Tröpfchenbewässerung nicht einsetzen, gaben an, dass die bürokratischen Anforderungen zur Beantragung der Subventionen zu hoch sind, was auch auf unzureichende Bildung zurückzuführen ist. Zudem haben viele, die flussaufwärts wirtschaften, aufgrund der hinreichend verfügbaren Wasserressourcen nur eine geringe Motivation, die Technik zu wechseln (Jobbins *et al.*, 2015).

Die Tröpfchenbewässerung wird daher vor allem von kommerziell orientierten, größeren Betrieben eingesetzt. Diese Betriebe haben die Tröpfchenbewässerung vornehmlich zur Kosteneinsparung, vor allem aufgrund des geringeren Aufwands für den Antrieb der Brunnenpumpe, eingeführt. Die dadurch eingesparten Kosten wurden nicht selten in die weitere Ausbreitung der Bewässerung sowie in wasserintensivere Kulturen und enger gesetzte Kulturen eingesetzt (Alonso *et al.*, 2019; Molle & Tanouti, 2017; van der Kooij *et al.*, 2017), sodass die Betriebe deutlich mehr produzieren und verdienen konnten. Dieser Rebound-effekt hat dazu geführt, dass die Landwirtschaft immer mehr Wasser für die Bewässerung einsetzt, zum Teil aufgrund der wassersparenden Tröpfchenbewässerung (Jobbins *et al.*, 2015).

Die hohen staatlichen Subventionen (für Betriebe mit eigenem Land) für die Tröpfchenbewässerung haben zudem zu einer massiven und teilweise illegalen Ausbreitung der Brunnen und damit der Wasserentnahme geführt. Zwar verfolgte der Staat eigentlich das Ziel, der Ausbreitung der Brunnen entgegen zu wirken, aber es fehlte entweder am politischen Willen oder an den entsprechenden Instrumente, dieser Ausbreitung entgegen zu wirken (Molle & Tanouti, 2017). So hat auch die Bestechung staatlicher Entscheidungsträger zur Genehmigung neuer Brunnen zugenommen. Teilweise hat auch die mächtiger werdende Bewässerungsindustrie Druck auf die zuständigen Behörden und das Agrarministerium aufgebaut und konnte so auch aussichtslose Genehmigungsverfahren realisieren (Molle & Tanouti, 2017).

Dass die Tröpfchenbewässerung die geringe Bewässerungseffizienz und das Grundwasserproblem bislang nicht lösen konnte, ist auch auf technische Unzulänglichkeiten zurückzuführen. In einer Studie im Nordosten Marokkos hatte die Einführung der Tröpfchenbewässerung keinen Rückgang der Grundwasserentnahme bewirkt (Alonso *et al.*, 2019). Es wurde hier gezeigt, dass die Wahl des Zeitpunktes der Bewässerung und der Wassermenge häufig von den Landwirten nicht korrekt gewählt wurde, was vor allem damit zu erklären ist, dass nur wenige Landwirte Bodenwassersensoren zur korrekten Berechnung des Wasserbedarfs einsetzen. Viele Landwirte nutzen die Tröpfchenbewässerung ähnlich wie die herkömmliche Oberflächenbewässerung, was zu einer erheblichen Wasserverschwendung führt (Alonso *et al.*, 2019). Einige Landwirte nutzen die Technik, so dass das Wasser an der Oberfläche steht (Molle & Tanouti, 2017). Dort, wo die Tröpfchenbewässerung eingesetzt wird, wird somit

häufig zu viel Wasser eingesetzt, was auch auf die schlecht eingestellt und unzureichend gewartete Technik zurückzuführen ist. Häufig ist der Wasserdruck in den Leitungen unterschiedlich stark, weil die Schlauchöffnungen teilweise verschlossen sind (Molle & Tanouti, 2017). Zudem ist es wahrscheinlich, dass mehr Wasser verdunstet, weil häufiger bewässert wird als beispielsweise bei der Sprinklerbewässerung. Diese Studien unterstreichen daher den erheblichen Bedarf zielgerichteter technischer Beratung, die zu einer Verbesserung der Effizienz der Tröpfchenbewässerung führt. Außerdem sollten ökonomische Anreize gesetzt werden, die zur Wassereinsparung motivieren.

Alonso *et al.* (2019) zeigen, dass die Einführung der Tröpfchenbewässerung keine oder sogar eher negative ökologische und ökonomische Auswirkungen in der Untersuchungsregion hatte. Die Autoren diskutieren daher, dass soziale Faktoren, wie höheres soziales Prestige sowie eine verbesserte Organisation der täglichen Arbeitsaufgaben und ein deutlich weniger anstrengender Arbeitsaufwand, entscheidende Kriterien zum Technologiewechsel waren.

Ein weiterer Anpassungsansatz ist die Wasserdefizitbewässerung. Durch die hohe Evapotranspiration der Feldfrüchte und Obstbäume bei gleichzeitig geringer Wasserverfügbarkeit wird die Effizienz der Wassernutzung zu einem zentralen Nachhaltigkeitsparameter. Untersuchungen zu den Auswirkungen der Defizitbewässerung auf den Ertrag sowie die Qualität haben gezeigt, dass eine kontinuierliche Reduktion der Bewässerung um 25% unterhalb der potenziellen Evapotranspiration in der Apfelproduktion zu keiner Reduktion des Ertrags und der Qualität der Äpfel geführt hat (El Jaouhari *et al.*, 2018). Eine Reduktion um 50% unterhalb der Evapotranspiration verringerte die Fruchtgröße deutlich, obgleich die Äpfel hier die höchste Qualitätsstufe, insbesondere in Bezug auf Festigkeit und Zuckergehalt, erlangten (El Jaouhari *et al.*, 2018). Das zeigt, dass auch eine Bewässerungsmenge deutlich unterhalb der Evapotranspiration nicht zwangsläufig zu Ertrags- und Qualitätseinbußen führen müssen.

### **Klimaanpassung durch Conservation Agriculture**

Neben der Tröpfchenbewässerung wurden weitere Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in Marokko untersucht. *Conservation agriculture* wird insbesondere in ariden und semiariden Regionen als eine wirkungsvolle Methode gegen die Auswirkungen des Klimawandels betrachtet, vor allem wenn alle drei Prinzipien des CA-Ansatzes umgesetzt werden. CA-Maßnahmen können den Nährstoff- und Wassergehalt nachhaltig erhöhen und damit auch die Erträge von Feldfrüchten steigern. Mulchauflagen sind ein effektiver Buffer gegen Extremtemperaturen an der Bodenoberfläche, was bereits im Jahr 2000 gezeigt wurde (Mrabet *et al.*, 2001). Die verbesserte Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und die geringe Evapotranspiration infolge von CA schützt die Pflanzen vor extremen Hitzeperioden, die in Marokko bereits häufig auftreten und zukünftig vermutlich noch öfters verkommen werden (Galli, 2015). In einer Studie wurde nachgewiesen, dass durch die Anwendung von CA-Maßnahmen wetterbedingte Ertragsschwankungen in Marokko verringert werden (Mrabet *et al.*, 2001). In einer

Modellierungsstudie mit einem Pflanzenwachstumsmodell (SWAT) wurden die Anpassungsstrategien Direktsaatverfahren und das zeitliche Vorziehen der Aussaat simuliert (Brouziyne *et al.*, 2018). Das Direktsaatverfahren führte zu einer deutlichen Erhöhung der Wasserproduktivität bei Sonnenblumen und Weizen. Auch die verfrühte Aussaat hat zu deutlichen, aber etwas (+15%) geringeren Steigerungen der Wasserproduktivität geführt. Das Direktsaatverfahren erhöhte zudem die Erträge.

### **Klimaanpassung in den Oasen**

Ein etwas spezieller, aber nicht unwichtiger Themenbereich ist die Anpassung landwirtschaftlicher Aktivitäten in den Oasen Marokkos. Für sechs Oasen in Souss-Massa-Draa, eine trockene bis extrem trockene Region im Südosten von Marokko, wurde eine Modellierungsstudie durchgeführt, um die Effekte einer verbesserten Bewässerung, der Entsandung der Wasserspeicher, einer Verkleinerung der Ackerflächen in Dürre Jahren und des Anbaus wassersparender Kulturen zu untersuchen (Johannsen *et al.*, 2016). Den stärksten wassersparenden Effekt hat die Verringerung der Ackerflächen in Dürre Jahren. Allerdings geht diese Strategie zu Lasten einer Verkleinerung der Ernte. Auch die selektive Auswahl der Feldfrüchte kann wassersparend wirken, wobei sich die Vielfalt der Kulturen verringern und viele *cash crops* und Futterkulturen ausgeschlossen werden würden, was auch negative Einkommenseffekte nach sich ziehen könnte. Eine verbesserte Bewässerungsinfrastruktur hat auch hier hohe wassereinsparende Potenziale. Die Autoren schlussfolgern allerdings, dass trotz Anpassungsmaßnahmen die langfristigen Aussichten für diese Regionen eher negativ sind und Beschäftigungsalternativen zur Landwirtschaft identifiziert werden sollten.

### **Klimaanpassung der Tierproduktion**

Im Bereich der Anpassung der Tierproduktion in Marokko gibt es nur wenig Literatur. Eigentlich ist die traditionelle, mobile Viehwirtschaft relativ gut an die schwankenden Niederschläge angepasst, hat sich aber in den letzten Jahrzehnten markant gewandelt. Angetrieben durch den Wunsch nach einem westlichen Lebensstil sind heute viel mehr Viehbauern sesshaft als noch vor einigen Jahrzehnten, obwohl die traditionelle Wanderweidewirtschaft, bei der die Viehwirte dorthin ziehen, wo die Weiden wetterbedingt in einem guten Zustand sind, eine gute Anpassungsstrategie an den Klimawandel ist (Freier *et al.*, 2014).

### **Umsetzbarkeit, Kosten, Umsetzungszeit und Effekte von Klimaanpassungsmaßnahmen**

Die Landwirtschaft kann durch viele technische Möglichkeiten und auf zahlreichen Entscheidungsebenen an den Klimawandel angepasst werden, wie eine Modellierungsstudie zeigte, in der 38 verschiedene Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in Marokko untersucht wurden (Seif-Ennasr *et al.*, 2016). In einem Workshop haben Experten die Umsetzbarkeit, die Kosten, die Umsetzungszeit und die Effekte dieser Maßnahmen bewertet. Aus diesen vier Größen wurde dann der Quotient zwischen Nutzen und Aufwand gebildet. Von allen

38 Maßnahmen sind nur zwölf der Betriebsebene zuzuordnen, der Rest wird durch Wasserressourcenmanager und Entscheidungsträger auf administrativer Ebene entschieden (Seif-Ennasr *et al.*, 2016). Anpassungsmaßnahmen, wie etwa Frühwarnsysteme, haben zwar die längste Umsetzungszeit, die höchsten Kosten und die geringste Umsetzbarkeit, bringen allerdings auch den höchsten Anpassungsnutzen. Den höchsten Nutzen-Aufwand-Quotienten hat die Verbesserung des Grundwassermanagement (etwa durch so genannte *groundwater contracts*). Maßnahmen auf der Betriebsebene haben dagegen einen eher geringeren Aufwand, aber auch geringen Nutzen. Den höchsten Quotienten von betrieblichen Maßnahmen haben Entsalzungsanlagen für Bewässerungswasser.

### **1.5 Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte**

Die Bewässerung ist ein wichtiger Baustein für die Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel in semiariden Regionen wie Marokko. Die Tröpfchenbewässerung ist dabei theoretisch eine sparsame und daher vielversprechende Technologie, aber in Marokko zeigt sich, dass diese aufgrund der Gefahr von Rebound-Effekten nicht notwendigerweise zu einer effizienteren und nachhaltigen Wassernutzung führt. In der Tat ist das Gegenteil eingetreten, denn die Ausbreitung der Tröpfchenbewässerung, damit einhergehende Intensivierung, wie durch eine Steigerung der Anbaufläche von wasserintensiven Kulturen, und ineffiziente Wassernutzung haben die Grundwasserspeicher weiter stark absinken lassen. Nicht selten wird diese eigentlich wassereffiziente Technik ähnlich eingesetzt wie die Oberflächenbewässerung, so dass das Wasser auf den Feldern steht. Die Tröpfchenbewässerung wird zudem vor allem von Großbetrieben eingesetzt und Kleinbauern ohne formellen Landbesitz haben oftmals keinen Zugang. Die bisherige Unterstützung der Tröpfchenbewässerung durch die Regierung sowie internationale Geberorganisationen sollte daher auf den Prüfstand. Zwar hat die Regierung im Rahmen des *National Irrigation Water Saving Programme Support Project (PNEEI)* bereits in Beratung und Training für die Landwirte investiert, um deren Umgang mit der Bewässerungstechnik zu verbessern und die Auswahl der Kulturen anzupassen, aber es besteht nach wie vor Nachholbedarf. Der Umfang von internationalen Projekten zur Lösung der Bewässerungsproblematik scheint der Größe des Problems nicht hinreichend gerecht zu werden. Hier können zukünftige Projekte wirkungsvoll ansetzen. Zudem sollte die Regierung die Wassernutzung stärker reglementieren. Zum einen sollte das hydrologische Monitoring verbessert werden, um die verfügbaren Wasserreserven mit der Nutzung in ein nachhaltiges Gleichgewicht zu bringen. Dazu sollte in Modelle, Messtechnik und in die Ausbildung von hydrologischen und agronomischen Experten investiert werden.

## 1.6 Literatur

- Alonso, A., Feltz, N., Gaspart, F., Sbaa, M., & Vanclooster, M. (2019). Comparative assessment of irrigation systems' performance: Case study in the Triffa agricultural district, NE Morocco. *Agricultural Water Management*, 212, 338-348.
- Bonzanigo, L., Giupponi, C., & Moussadek, R. (2016). Conditions for the adoption of conservation agriculture in Central Morocco: an approach based on Bayesian network modelling. *Italian Journal of Agronomy*, 10(1s).
- Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production*: Food & Agriculture Org.
- Brouziyne, Y., Abouabdillah, A., Hirich, A., Bouabid, R., Zaaboul, R., & Benaabidate, L. (2018). Modeling sustainable adaptation strategies toward a climate-smart agriculture in a Mediterranean watershed under projected climate change scenarios. *Agricultural Systems*, 162, 154-163.
- El Jaouhari, N., Abouabdillah, A., Bouabid, R., Bouriou, M., Aleya, L., & Chaoui, M. (2018). Assessment of sustainable deficit irrigation in a Moroccan apple orchard as a climate change adaptation strategy. *Sci Total Environ*, 642, 574-581.
- FAO. (2019). FAOSTAT data. Retrieved from <http://faostat.fao.org> on 10 June 2019
- Freier, K., Finckh, M., & Schneider, U. (2014). Adaptation to New Climate by an Old Strategy? Modeling Sedentary and Mobile Pastoralism in Semi-Arid Morocco. *Land*, 3(3), 917-940.
- Galli, A. (2015). On the rationale and policy usefulness of Ecological Footprint Accounting: The case of Morocco. *Environmental Science & Policy*, 48, 210-224.
- Jobbins, G., Kalpakian, J., Chriyaa, A., Legrouri, A., & El Mzouri, E. H. (2015). To what end? Drip irrigation and the water–energy–food nexus in Morocco. *International Journal of Water Resources Development*, 31(3), 393-406.
- Johannsen, I., Hengst, J., Goll, A., Höllermann, B., & Diekkrüger, B. (2016). Future of Water Supply and Demand in the Middle Drâa Valley, Morocco, under Climate and Land Use Change. *Water*, 8(8).
- Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2019). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1), 29-51.
- Kmoch, L., Pagella, T., Palm, M., & Sinclair, F. (2018). Using Local Agroecological Knowledge in Climate Change Adaptation: A Study of Tree-Based Options in Northern Morocco. *Sustainability*, 10(10).
- Laghrou, M., Moussadek, R., Mrabet, R., Dahan, R., El-Mourid, M., Zouahri, A., & Mekkaoui, M. (2016). Long and Midterm Effect of Conservation Agriculture on Soil Properties in Dry Areas of Morocco. *Applied and Environmental Soil Science*, 2016, 1-9.
- Maanan, Maanan, Karim, Ait, K., Ajrhoug, Rueff, . . . Rhinane. (2019). Modelling the potential impacts of land use/cover change on terrestrial carbon stocks in north-west Morocco. *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 26(6), 560-570.
- Molle, F., & Tanouti, O. (2017). Squaring the circle: Agricultural intensification vs. water conservation in Morocco. *Agricultural Water Management*, 192, 170-179.
- Moussadek, R., Mrabet, R., Dahan, R., Zouahri, A., El Mourid, M., & Ranst, E. V. (2014). Tillage System Affects Soil Organic Carbon Storage and Quality in Central Morocco. *Applied and Environmental Soil Science*, 2014, 1-8.
- Mrabet, R., Ibno-Namr, K., Bessam, F., Saber, N. J. L. d., & development. (2001). Soil chemical quality changes and implications for fertilizer management after 11 years of no-tillage wheat production systems in semiarid Morocco. *12(6)*, 505-517.
- Rochdane, S., Reichert, B., Messouli, M., Babqiqi, A., & Khebiza, M. Y. (2012). Climate Change Impacts on Water Supply and Demand in Rheraya Watershed (Morocco), with Potential Adaptation Strategies. *Water*, 4(1), 28-44.
- Schyns, J. F., & Hoekstra, A. Y. (2014). The Added Value of Water Footprint Assessment for National Water Policy: A Case Study for Morocco. *PLoS One*, 9(6), e99705.

- Seif-Ennasr, M., Zaaboul, R., Hirich, A., Caroletti, G. N., Bouchaou, L., El Morjani, Z. E. A., . . . Choukr-Allah, R. (2016). Climate change and adaptive water management measures in Chtouka Ait Baha region (Morocco). *Sci Total Environ*, 573, 862-875.
- van der Kooij, S., Kuper, M., Zwarteveen, M. Z., & de Fraiture, C. M. S. (2017). A user-centred approach to irrigation performance: drip irrigation in the Khrichfa area, Morocco. *Water International*, 42(7), 794-809.