

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 Schierhorn¹

Dr. Daniel Müller^{1,2,3}

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

² Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Unter den Linden 6,
10099 Berlin

³ 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

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	10
1.4	Klimaanpassung: Forschungsstand	11
1.5	Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte	13
1.6	Literatur.....	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	THG-Emissionen der Landwirtschaft Indiens (in CO ₂ -Äquivalenten) ohne Landnutzungsänderung; eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019).	5
Abbildung 2	THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch, Milch oder Getreide (in kg CO ₂ -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

BMEL	Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
CA	Konservierende Bodenbearbeitung (conservation agriculture)
CO₂	Kohlendioxid
COP	Vertragsstaatenkonferenz (Conference of Parties)
ENSO	El Niño-Southern Oscillation
Mt	Megatonne
N	Stickstoff
SOC	Bodenkohlenstoff (soil organic carbon)
SPI	Standardized precipitaton index
THG	Treibhausgase

1.1 Einleitung

Indien gehört zu den führenden Getreideproduzenten weltweit. Der Weizen wird in Indien auf 30 Millionen Hektar angebaut, die Erträge liegen fast auf dem weltweiten Durchschnittsertrag und das Land produziert ungefähr 12% der globalen Weizenernte. Reis wird auf etwa 44 Millionen Hektar angebaut, auf denen 20% der weltweiten Reisproduktion geerntet werden, obgleich die Erträge deutlich unterhalb des weltweiten Durchschnitts liegen. Die wichtigsten Anbauregionen von Weizen und Reis liegen im Nordosten des Landes. Allein in der Indus-Ganges-Ebene werden etwa 13,5 Millionen Hektar ackerbaulich genutzt. Hier dominieren die Fruchtfolgen Reis-Weizen und Reis-Reis. Mit einer Anbaufläche von 10 Millionen Hektar ist Mais die drittwichtigste Getreidesorte, allerdings liegen die Maiserträge 50% unterhalb des globalen Durchschnitts.

Die Getreideproduktion hat eine große Bedeutung für die nationale und globale Nahrungsmittelsicherheit. Allerdings stagnieren die Getreideerträge bereits vielerorts, gehen teilweise sogar zurück und die Ertragsschwankungen sind erheblich (Ray *et al.*, 2015). Volatile Klimabedingungen sowie rückständige und nicht angepasste Anbaumethoden sind die Hauptgründe für die großen Ertragsschwankungen. Beispielsweise ist die Reisproduktion wesentlich an den Sommermonsun gekoppelt, der aufgrund des Klimawandels jedoch zunehmend unzuverlässiger eintritt. Wesentliche Faktoren für die großen Ertragsschwankungen sind auch Hitze und Dürre. In Nordindien werden die Ertragsschwankungen zudem durch Starkregenereignisse verursacht.

Indien hat mit 65 Millionen Hektar eine der größten Bewässerungsflächen weltweit (Sikka *et al.*, 2018). Mehr als 80% der Weizenfläche wird heute bewässert, vor allem in der Trockenzeit von Januar bis Juni. Dafür wird gesammeltes Regenwasser, Wasser der Flüsse, aber hauptsächlich Grundwasser eingesetzt. Ungefähr 90% des entnommenen Grundwassers wird heute für die Bewässerung eingesetzt. Die großflächige und häufig exzessive Bewässerung hat bereits zu einem dramatischen Absinken des Grundwasserspiegels vor allem in Nordwestindien geführt. Die indische Regierung hat den dringenden Handlungsbedarf erkannt und versucht die ineffizienten Bewässerungssysteme zu verbessern.

Der Klimawandel wird die Herausforderungen für die Landwirtschaft in Indien weiter erhöhen. Die durchschnittlichen Temperaturen werden um bis zu 4 °C bis zum Ende des Jahrhunderts ansteigen und die Niederschlagsmengen werden in den meisten Anbaugebieten wahrscheinlich zunehmen. Allerdings werden Extremwetterereignisse wie Frost (vor allem im Nordwesten), Dürre und Hitze (in Zentral – und Nordindien) sowie Starkregen häufiger und in größerer Intensität auftreten. Der Sommermonsun, der aktuell etwa 75% des Jahresniederschlags liefert (Sikka *et al.*, 2018), wird unbeständiger und vermutlich später einsetzen. Ungefähr 86% der gesamten Weizenproduktion werden während der Sommermonsunperiode produziert, aber auch die Getreideproduktion im Winter ist vom Sommermonsun abhängig.

1.2 Klimaschutz: Forschungsstand

THG-Emissionen aus der indischen Landwirtschaft

Im Jahr 2016 hatte die indische Landwirtschaft einen Anteil von 12% an den Gesamtemissionen der weltweiten Landwirtschaft (FAO, 2019). Seit 1990 sind die Gesamtemissionen leicht angestiegen (Abbildung 1). Etwa die Hälfte der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft entsteht durch die Verdauungsprozesse von Wiederkäuern.

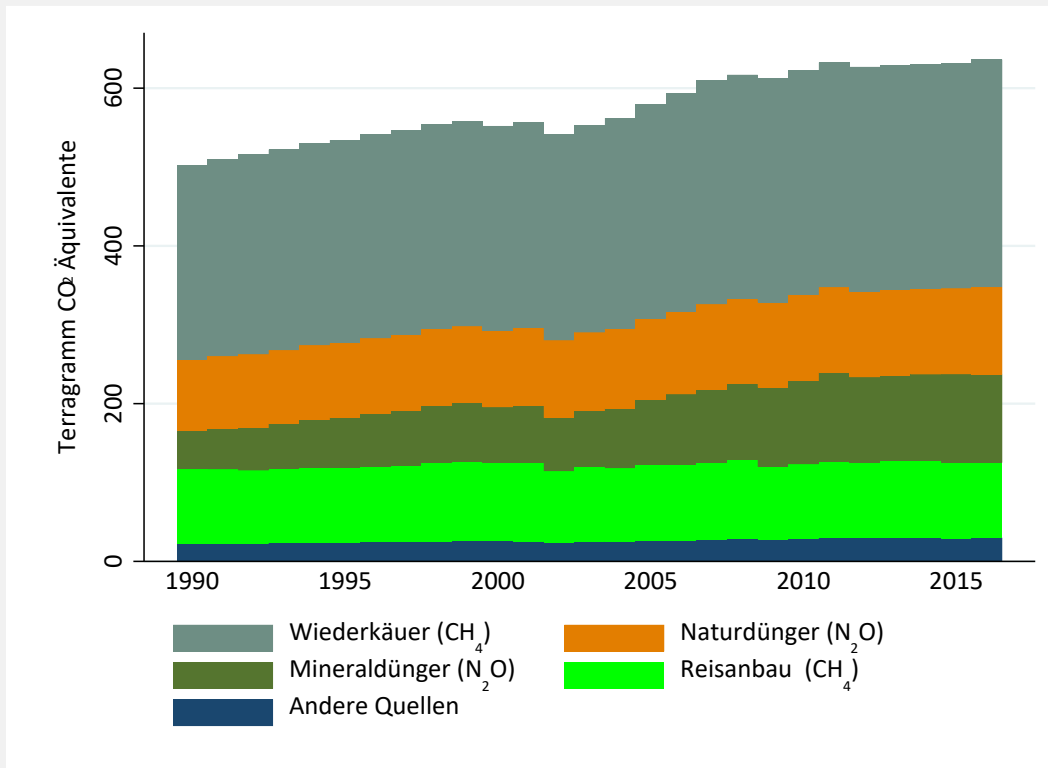


Abbildung 1. THG-Emissionen der Landwirtschaft Indiens (in CO₂-Äquivalenten) ohne Landnutzungsänderung; eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019).

Indien hat weltweit eine der höchsten THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch und Liter Milch (Abbildung 2), was auf den sehr hohen Anteil indigener Nutztierassen und deren geringe Produktivität zurückzuführen ist (Patra, 2017). Aufgrund der geringen Effizienz der Mineraldüngernutzung (siehe unten) sind auch die Emissionen pro Kilogramm Getreide relativ hoch (Abbildung 2). Vor diesem Hintergrund hat sowohl die Tierproduktion als auch der Pflanzenbau große Potenziale, die THG-Effizienz zu reduzieren.

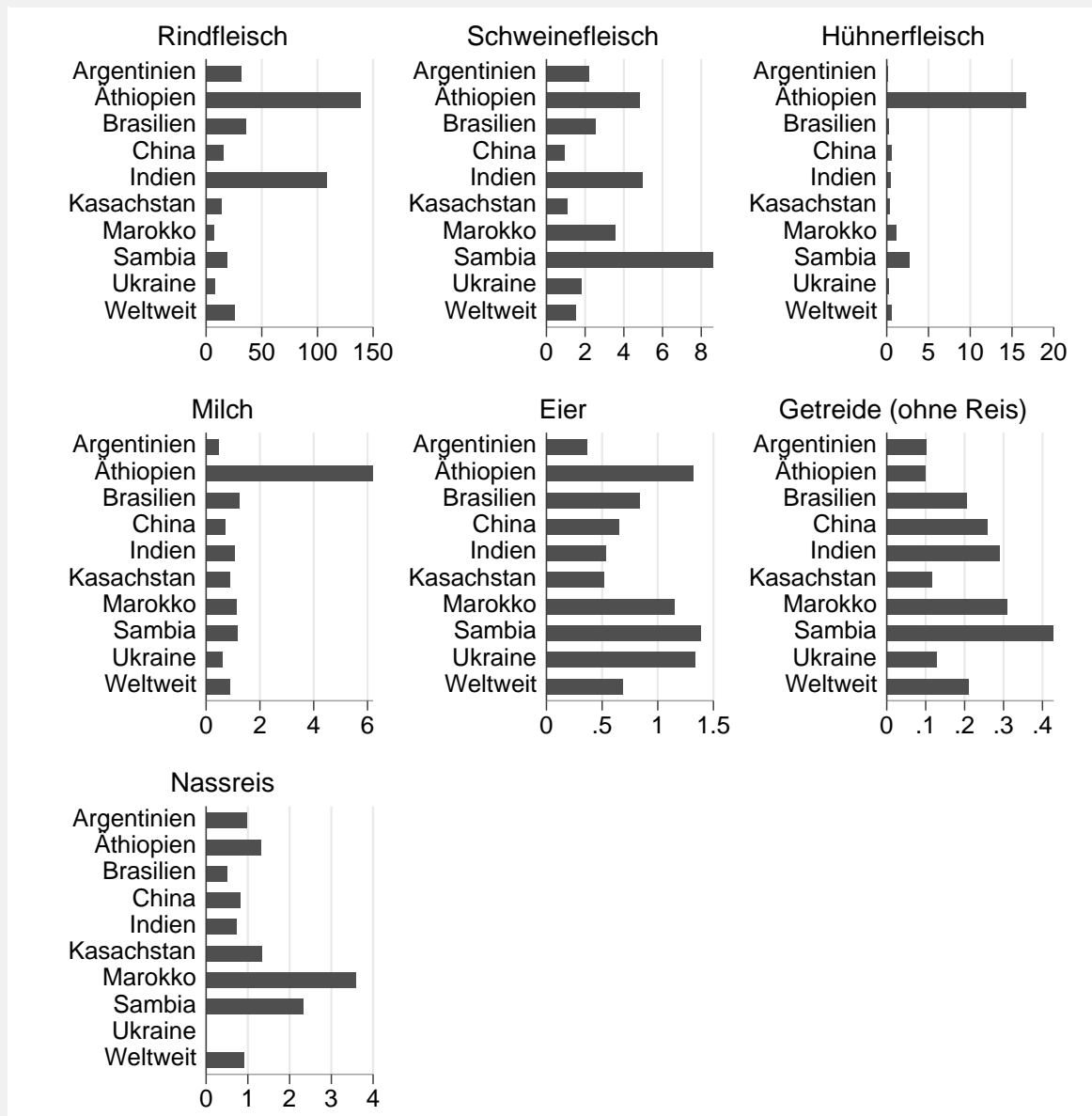


Abbildung 2. THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch, Milch oder Getreide (in kg CO₂-Äquivalenten pro kg Produkt) im Jahr 2016; die Daten beinhalten nur die Emissionen, die innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes entstehen, aber keine Emissionen, die in Importgütern gebunden sind oder entlang der Wertschöpfungskette entstehen. Quelle: eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019).

Klimaschutz durch Erhöhung der Düngereffizienz

Der landwirtschaftliche Sektor ist der drittgrößte Verursacher von THG-Emissionen in Indien (Busby & Shidore, 2017). Der erste Bereich, in dem THG-Emissionen eingespart werden können, ist eine verbesserte Düngungssteuerung. Indien ist der drittgrößte Produzent und Konsument von Mineraldünger (Busby & Shidore, 2017). Jedoch ist die Effizienz der Mineraldüngernutzung seit 1960 dramatisch zurückgegangen (Sah & Devakumar, 2018) und ist heute, zusammen mit China, eine der geringsten weltweit (Bouwman *et al.*, 2017). Ungefähr 60% des ausgebrachten Mineraldüngers wird nicht von den Pflanzen aufgenommen (Tirado *et al.*, 2011). In Europa beträgt dieser Verlust nur etwa 30%. Daher ist das Potenzial zur Reduktion von Lachgasemissionen über eine Verbesserung der Düngereffizienz hoch und die Emissionen könnten von 100 auf 70 Millionen Tonnen CO₂ Äquivalente gesenkt werden, wenn die Düngereffizienz an das Niveau in Europa angepasst wird (Tirado *et al.*, 2011). Eine Studie, die mit dem Model *InfoNitro* für eine Region im Nordwesten Indiens durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass die Düngereffizienz über optimierte Bodenbearbeitung, verbessertes Wassermanagement und optimierte Fruchtfolgen erhöht und damit THG-Emissionen gesenkt werden können (Pathak, 2010). Stickstoffbindende Kulturen wie Soja könnten in die Rotationen eingegliedert und zur Substitution von Mineraldünger eingesetzt werden.

Klimaschutz durch Conservation Agriculture

Der zweite wichtige Bereich ist die Speicherung von Kohlenstoff in den Ackerböden, insbesondere durch die Anwendung des Conservation Agriculture (CA)-Ansatzes. Potenziale dazu sind aufgrund der ausgedehnten Ackerflächen sowie der geringen aktuellen Boden-C-Konzentration vorhanden. Viele Forschungsinstitute in Indien haben hierzu gearbeitet, insbesondere das *International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT)* und das *Indian Agriculture Research Institute* in Neu-Delhi. Es ist auffällig, dass nur wenige Autoren oder KoAutoren der Studien auch Ko-Autoren der anderen Studien sind. Die Forschernetzwerke in diesem Bereich sind offensichtlich nicht sehr dicht. Außerdem wurden die wichtigsten Studien fast ohne Beteiligung ausländischer Forscherinnen und Forscher publiziert.

Zahlreiche Feldversuche vergleichen den Boden-C infolge von verschiedenen bodenschonenden Bodenbearbeitungssystemen (im Folgenden: *Conservation agriculture, CA*), z.B. Direktsaatverfahren) im Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung (Tabelle 1). Wir haben auch hier ausschließlich Veröffentlichungen ausgewertet, die in internationalen, begutachteten Zeitschriften erschienen sind. Die meisten dieser Studien wurden in Nordwest- und Nordostindien durchgeführt. Etwa die Hälfte der Studien liefen über zwei bis vier Jahre, die andere Hälfte über fünf bis zehn Jahre, wobei längere Untersuchungszeiträume tendenziell den Einfluss unerwünschter Faktoren wie etwa Mess- und Dokumentationsfehler sowie Klima- und Wetteranomalien verkleinern. Die Untersuchungen unterscheiden sich auch hinsichtlich der Maßnahmen (z.B. Direktsaatverfahren, Umgang mit Ernteresten, Anlegen von Hochbeeten) sowie

der Auswirkungen (z.B. auf Boden-C, Ertrag, Wasser; siehe Tabelle 1 für eine Übersicht). Nur eine Studie wurde mit einem Modell durchgeführt (Aryal *et al.*, 2014), alle anderen beruhen auf Messungen im Feld.

Tabelle 1. Veröffentlichungen zu bodenschonenden Anbauverfahren

Publikation	Forschungsregion	Fruchtfolge	Zeitraum	Maßnahmen	Ertrag	Boden-C	Bodentiefe	Wasser
Sapkota et al. 2017	Nordost	Reis-Weizen	2006-2013	Direktsaatverfahren, Ernterückstände	nein	ja	0-60 cm	nein
Kumari et al. 2011	Nord	Reis-Weizen	2007-2008	Direktsaatverfahren, Hochbeete	nein	ja	0-10 cm	
Singh et al. 2016	Nordwest	Reis-Weizen	2006-2011	Bodenbearbeitung (Direktsaatverfahren), Ernterückstände	ja	ja	0-30 cm	ja
Parihar et al. 2016	Nordwest	Mais	2008-2014	Bodenbearbeitung (Direktsaatverfahren)	ja	nein	0-30 cm	ja
Yadav et al. 2017	Nordost	Reis-Reis	2013-2015	Bodenbearbeitung (Direktsaatverfahren), Ernterückstände, Mineraldünger	ja	ja	0-20 cm	nein
Prasad et al. 2015	Süd	Erbse-Hirse	2001-2010	Direktsaatverfahren, Ernterückstände	ja	ja	0-100 cm	nein
Aryal et al. 2015	Nordwest	Weizen	2009-2012	Direktsaatverfahren		ja		nein
Choudhary et al. 2018	Nord	Reis-Weizen	2012-2015	Bodenbearbeitung (Direktsaatverfahren), Ernterückstände	ja	ja	0-10 cm	nein

Fast alle Studien zeigen, dass CA wie das Direktsaatverfahren zu einer Erhöhung des Boden-C-Gehalts in den obersten Schichten im Vergleich zu einem konventionell bearbeiteten Boden führten. In einigen Studien ist leider nicht herzuleiten, welche spezifische CA-Anbautechnik den Effekt verursachte. Die meisten Studien, die diese Differenzierung durchgeführt haben, zeigen, dass das Zurückhalten und Einarbeiten von Ernteresten einen großen Effekt auf die Entwicklung des organischen Kohlenstoffs hat (Sapkota *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2016).

Die Messung tieferer Bodenschichten ist wichtig für die Untersuchung der Klimawirksamkeit von CA, weil nachgewiesen wurde, dass konventionelles Pflügen zu einer Umverteilung von Kohlenstoff von oberen in untere Schichten führt (Powlson *et al.*, 2014). Weil jedoch häufig nur die oberen Schichten untersucht wurden, wird der Effekt von CA-Maßnahmen auf den Boden-C im Vergleich zum konventionellen Pflügen vermutlich überschätzt. Leider haben nur zwei der hier ausgewerteten Studien Bodenschichten bis zu einer Tiefe von einem Meter untersucht (Prasad *et al.*, 2016; Sapkota *et al.*, 2017). Diese beiden Studien bestätigen, dass die Boden-C-Konzentration in den unteren Bodenschichten etwa gleich groß und in der untersten Schicht bei CA sogar etwas geringer ausfiel als im konventionellen System. Auf die gesamte Bodentiefe bezogen führte das Direktsaatverfahren mit der Nutzung von Ernterückständen dennoch zu einer Erhöhung des

Bodenkohlenstoffs um knapp 20% im Vergleich zum konventionellen System. Die Klimawirksamkeit von CA kann also erheblich sein. Prasad et al. (2016) zeigen jedoch, dass der Bodenkohlenstoff nur dann anstieg, wenn hinreichend Mineraldünger oder organischer Dünger eingesetzt wurde, welche wiederum Emissionen verursachen. Der Anteil von organischer Bodenkohlenstoff reduzierte sich hingegen, wenn nur geringe Mengen Dünger eingesetzt wurden.

Aryal et al. (2014) haben in Nordwestindien untersucht, ob das Direktsaatverfahren insgesamt geringere THG-Emissionen verursacht als das konventionelle System. Zur Berechnung der THG-Emissionen haben die Forscher das Modell *Cool Farm Tool* verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Versuchsfelder auf denen das Direktsaatverfahren eingesetzt wurde, über den Versuchszeitraum (2009-2012) deutlich geringere THG-Emissionen verursachten als konventionelle Bodenbearbeitung. Der Unterschied ist vor allem auf die unterschiedliche Entwicklung des Bodenkohlenstoffs infolge der Bodenbearbeitung zurückzuführen. Beim Direktsaatverfahren erzeugte der Einsatz von Dünger und Wasser keine geringeren THG-Emissionen als im konventionellen System (Aryal et al., 2014).

In den meisten Studien erzeugten CA-Maßnahmen etwa gleiche oder höhere Erträge im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (Aryal et al., 2014; Choudhary et al., 2018; Parihar et al., 2016; Shirsath et al., 2017; Singh et al., 2016). Außerdem können die Erträge einige Jahre nach der Umstellung zum CA-System ansteigen (Parihar et al., 2016). Aryal et al. (2014) haben mit einem Modell gezeigt, dass deutlich höhere betriebswirtschaftliche Gewinne durch den Einsatz von CA-Maßnahmen zu erzielen sind. Nur eine Studie, die wir hier ausgewertet haben, kam zu dem Ergebnis, dass die Erträge mit reduzierter Bodenbearbeitung deutlich (bis zu 30% bei Fingerhirse; bis zu 48% bei Straucherbse) gesunken sind (Prasad et al., 2016).

Allerdings zeigen fast alle Studien, dass der Umgang mit Ernteresten einen großen Einfluss auf den Bodenkohlenstoff und damit auf die Klimawirksamkeit von CA-Anbautechniken hat. Erntereste haben in Indien jedoch eine große Bedeutung für die Tierfütterung, insbesondere für die vielen Kleinbauern, und stehen daher nicht unbegrenzt für den Aufbau von Kohlenstoff im Boden zur Verfügung. Allerdings werden auch große Teile der Erntereste verbrannt. In zukünftigen Projekten sollte untersucht werden, wie die vorhandene Biomasse effizient, etwa in Kombination mit anderen CA-Maßnahmen und mit Blick auf den Futtermittelbedarf, eingesetzt werden kann, zum Beispiel durch Bereitstellung von Technologien, die das Verbrennen der Erntereste verringern. Eine Alternative zur Verwendung von Ernteresten zum Aufbau von Boden-C ist das Ausbringen von Gülle, eine Praxis, die in Indien vor allem aufgrund des technischen Aufwands und der kleinen Feldschläge bislang vernachlässigt wird. Gülle kann zudem Mineraldünger teilweise ersetzen, der in Indien verschwenderisch eingesetzt wird und hohe THG-Emissionen verursacht. Wenn die Gülle in getrockneter Form auf die Felder ausgebracht wird, ist das THG-Einsparungspotenzial besonders hoch (Tirado et al., 2011).

1.3 Klimaschutz: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte

Die indische Landwirtschaft setzt Mineraldünger, der aufgrund der Lachgasemissionen hochgradig klimawirksam ist und über 100 Jahre in der Atmosphäre verbleibt, ineffizient ein; eine Steigerung der Effizienz in der Düngerverwendung hat entsprechend hohe Einsparungspotenziale von THG-Emissionen. Allerdings müssen dafür die hohen staatlichen Subventionen für Mineraldünger reduziert werden. Die indischen Landwirte müssen zudem geschult werden, wie die Düngung hinsichtlich der Ausbringungsmenge und -zeiten besser an den Stickstoffbedarf der Pflanzen sowie an die lokalen bodenklimatischen Bedingungen angepasst werden kann, um Stickstoffverluste zu vermeiden (Sah & Devakumar, 2018). Projekte, die an dieser Stelle ansetzen, können unserer Einschätzung nach relativ einfach, kostengünstig und effektiv zur Vermeidung von THG-Emissionen beitragen. Staatliche Projekte und Vorhaben internationaler Geberorganisationen scheinen in diesem Bereich noch nicht zu existieren (siehe Lauert, 2019).

Darüber hinaus kann moderne Technik einen gewichtigen Beitrag zur Einsparung von THG-Emissionen leisten. Der Mineraldünger kann etwa durch Technologien, die die Düngung an den Bedarf der Pflanzen anpassen, effizienter eingesetzt werden. Moderne Landtechnik (wie *Precision Farming*), wie sie bereits verbreitet in Europa und Nordamerika eingesetzt wird, oder auch neuere digitale Techniken wie Drohnen, satellitengestützte Fernerkundung und Roboter haben großes Potenzial Stickstoffverluste zu verringern. Allerdings sind die derzeit verfügbaren Techniken für Kleinbauern nicht erschwinglich, technisch zu anspruchsvoll oder nicht ökonomisch sinnvoll einsetzbar aufgrund der kleinen Betriebe. Projekte, die in Zusammenarbeit mit staatlichen und privaten Institutionen angelegt werden, können das Ziel verfolgen, kostengünstige technische Lösungen zu entwickeln, die den Millionen Kleinbauern in Indien einen besseren Zugang zu moderner und effizienter Landtechnik ermöglicht.

Auch im Bereich der Kohlenstoffspeicherung in den Ackerböden ist Potenzial vorhanden. CA wird auf lediglich 1.5 Millionen Hektar (weniger als 1% der Ackerfläche) angewendet (Kassam *et al.*, 2019). Den geographischen Schwerpunkt von CA bilden die Weizen-Reis-Systeme in der Indus-Ganges-Ebene. CA kann zum Humusaufbau und damit zur Speicherung von Kohlenstoff im Boden führen. Das Potenzial ist insbesondere dort hoch, wo die Konzentration an Boden-C infolge langjähriger und intensiver Bewirtschaftung gering ist. CA könnte zudem Erträge steigern und die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens erhöhen. In vielen Studien haben vor allem auf dem Feld verbleibende Erntereste für die zusätzliche Anreicherung von Kohlenstoff im Boden geführt. Da Erntereste heute von vielen Landwirten als Tierfutter benutzt werden, sollten zukünftige Projekte diesen Nutzungskonflikt explizit berücksichtigen.

Die Literatur im Bereich Klimaschutz in der Landwirtschaft in Indien ist ausführlich und hochwertig. Dennoch gibt es einige wichtige Punkte, die in zukünftigen Forschungsprojekten berücksichtigt bzw. aufgegriffen werden sollten. Die meisten Studien haben den Boden-C nur bis 20 oder 30 cm Tiefe untersucht. Um jedoch realistische Aussagen über die Boden-C-Wirkung

schonender Bodenbearbeitung machen zu können, sollte auch in tieferen Bodenschichten gemessen werden. Realistischere Aussagen könnten zudem getroffen werden, wenn das in den Versuchsfeldern installierte Management (z.B. Düngung) den Bedingungen, die in der heutigen indischen Landwirtschaft verbreitet sind, näherkommt. In einigen Studien wurde beispielsweise nicht deutlich, ob die Veränderung des Boden-C mit der Düngung, der Bodenbearbeitung oder der Verwendung von Ernteresten im Zusammenhang steht. Auch hier gibt es Verbesserungsbedarf.

1.4 Klimaanpassung: Forschungsstand

Der Klimawandel stellt die Landwirte in Indien vor zunehmende Herausforderungen. Einige Studien haben den Einfluss des Klimawandels auf zukünftige Erträge unter Berücksichtigung von Klimaanpassungsmaßnahmen untersucht. Eine wichtige Studie (Soora *et al.*, 2013) wurde am *Indian Agricultural Research Institute* in Neu-Delhi durchgeführt, eines der führenden Institute im Bereich der Agrarforschung in Indien (dort wurde auch die grüne Revolution Indiens koordiniert). Das Modell wurde von einem der Co-Autoren dieser Studie entwickelt, P.K. Aggarwal, der einer der bekanntesten Forscher Indiens im Bereich der Klimawandelforschung ist. Die Simulationen mit dem Pflanzenwachstumsmodell *InfoCrop-Rice* ergaben, dass die Reiserträge im Bewässerungsanbau ohne Anpassungsmaßnahmen um bis zu 10% bis 2080 sinken werden, wobei einige Regionen wie der Nordosten von deutlich stärkeren Ertragsrückgängen von bis zu 30% betroffen sein könnten (Soora *et al.*, 2013). Die Modelle zeigen außerdem, dass verbesserte Reissorten die Auswirkungen des Klimawandels ausgleichen können. Wenn zudem die Düngung und die Bewässerung optimiert wird, könnten die Erträge sogar trotz Klimawandel gesteigert werden.

Für die Regionen, wo heute Regenfeldanbau praktiziert wird, prognostiziert die Studie auf nationaler Ebene keine starken Ertragsrückgänge bis 2080 (Soora *et al.*, 2013). Reis wird wahrscheinlich im Süden vom Klimawandel profitieren, im Nordosten aber eher negativ beeinflusst sein. Verbesserte Reissorten und optimierte Düngung und Bewässerung können auch im Regenfeldbau zu bis zu 30% höheren Erträgen führen. Ein Schwachpunkt dieser Studie ist allerdings, dass die Wasserverfügbarkeit nicht berücksichtigt wurde. Überdies sollte der Einfluss zukünftiger Wetterextreme auf Erträge sowie effiziente Anpassungsmaßnahmen besser untersucht werden.

Beim Mais zeigen die Simulationen mit dem Modell *InfoCrop-Maize*, dass die Ertragseinbußen in der Monsunzeit gering sein werden, da die ansteigende Temperatur durch zunehmende Niederschläge ausgeglichen werden (Byjesh *et al.*, 2010). Im Winter sind die Ertragsrückgänge wahrscheinlich höher, vor allem in der Indus-Ganges-Ebene und in Südindien, wo die höchsten Temperaturanstiege im Winter erwartet werden. Allerdings können an den Klimawandel angepasste Maissorten höhere Ertragsausfälle vermeiden. In einigen Regionen kann auch ein um wenige Wochen veränderter Aussaatzeitpunkt eine effektive Anpassungsmaßnahme sein.

Klimaanpassung durch Bewässerung

Die Bewässerung von Feldfrüchten ist eine zentrale Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel. Dabei hat Indien mit 65 Millionen Hektar bereits heute eine der größten Bewässerungsflächen weltweit. Die aktuellen Bewässerungssysteme sind äußerst ineffizient und eine Hauptursache für das starke Absinken der Grundwasserspiegel. Es besteht demzufolge ein großer Modernisierungsbedarf. Seit einigen Jahren fördert die Regierung Anlagen zur Speicherung von Regenwasser, das vor allem in der Monsunzeit fällt und anschließend in der Trockenzeit eingesetzt wird. Eine Unterstützung zur Einführung effizienterer Bewässerungssysteme ist etwa in den Initiativen der indischen Regierung wie *"The National Mission for Sustainable Agriculture"* (NMSA) sowie *„National Mission on Micro-Irrigation“* (NMMI) institutionalisiert. Heute werden etwas mehr als 2 Millionen Hektar (ungefähr 3% der bewässerten Ackerfläche) mit Tröpfchenbewässerung versorgt. Das Ziel der Regierung ist die Ausweitung der Tröpfchenbewässerung auf 69 Millionen Hektar. Dafür wurden ab 2010 mehr als 235 Millionen US Dollar von der Regierung ausgegeben. Auch internationale Geberorganisationen waren bzw. sind in diesem Bereich aktiv (Lauert, 2019).

Diese Anstrengungen scheinen gerechtfertigt, denn zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die Tröpfchenbewässerung eine Steigerung der Erträge sowie der Wasserproduktivität gegenüber konventionellen Techniken, wie etwa der Furchenbewässerung, bewirkt (Qin *et al.*, 2016; Sinha *et al.*, 2017; Surendran *et al.*, 2016). Die *Punjab Agricultural University* und das *CIMMYT* sind führend in diesem Forschungsbereich. In einer an *Punjab Agricultural University* durchgeführten Studie wurde in einem Feldversuch mit Sonnenblumen beispielsweise gezeigt, dass die Tröpfchenbewässerung ein Drittel weniger Wasser benötigt als Furchenbewässerung (Sinha *et al.*, 2017). Allerdings könnte der Umstieg zur Tröpfchenbewässerung in Nordostindien auch zu einer Steigerung der Wassernutzung führen, und somit zu weiterem Rückgang des Grundwassers (Birkenholtz, 2017). Dieses Paradoxon, das auch in anderen Ländern intensiv diskutiert wird (siehe Kapitel zu Marokko), sollte in zukünftigen Projekten berücksichtigt werden.

Klimaanpassung durch Conservation Agriculture

Bodenschonende Anbaumethoden im Zuge von *Conservation Agriculture (CA)*, die hier bereits mit Blick auf ihre Wirkung auf die Speicherung von Kohlenstoff im Boden betrachtet wurden, können helfen, die Bewässerungseffizienz zu erhöhen sowie Böden resilienter gegen Wetterextremereignisse zu machen (die Begriffe *conservation agriculture* und *climate-smart agriculture* sind in diesem Kontext nahezu gleichbedeutend). Für Indien wurde gezeigt, dass das Direktsaatverfahren und das Untermischen von Ernteresten nicht nur zu geringeren THG-Emissionen, sondern auch zu einer um 20% höheren Bewässerungseffizienz führte (Parihar *et al.*, 2016). In einer modellbasierten Studie, die am *Borlaug Institute of South Asia* in Neu-Delhi angefertigt wurde, erhöhte sich die Wassernutzungseffizienz durch CA in Nordostindien, allerdings stiegen auch die THG-Emissionen und Produktionskosten an (Shirsath *et al.*, 2017), was

eine Abwägung zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und höheren Produktionskosten erfordert. In einer weiteren Studie wurde mittels statistischer Methoden untersucht, ob die Weizenerträge unter CA in geringerem Maße nach Starkregen einbrechen als in einem konventionellen System (Aryal *et al.*, 2016). Untersucht wurden etwas mehr als 200 Betriebe in zehn Dörfern im Nordwesten Indiens, wo Starkregen ungefähr alle vier Jahre auftreten, diese Häufigkeit jedoch im Zuge des Klimawandels zunimmt. Die Untersuchung zeigt, dass die Erträge im CA-System 8% höher sind als im konventionellen System. In einem Jahr mit Starkregen stieg diese Differenz auf 16%. Verbesserte chemische und physikalische Eigenschaften des Bodens unter CA werden für diesen Effekt verantwortlich gemacht.

1.5 Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte

Im Bereich Klimaanpassung der Landwirtschaft wurde in Indien viel geforscht. Die Ergebnisse zeigen, dass tiefgreifende Anpassungsmaßnahmen notwendig sein werden, um die Auswirkungen des Klimawandels aufzufangen. Eine Schlüsselrolle kommt hier der Bewässerung der Ackerflächen zu. Die aktuellen Bewässerungssysteme Indiens sind hochgradig ineffizient, was wesentlich zum Absinken des Grundwasserspiegels führt. Es besteht dringender Handlungsbedarf, effizientere Bewässerungstechnik großflächig zu etablieren. Die Tröpfchenbewässerung kann hohe Effizienzsteigerungen bringen, allerdings wirkt das aktuelle Agrarsubventionssystem eher der Einführung der Tröpfchenbewässerung entgegen, als diese zu fördern (Malik *et al.*, 2018). Projekte können darauf abzielen, den Zugang von Kleinbauern zu effizienter, aber teurer Bewässerungstechnik zu erleichtern (Pathak, 2015). Es besteht zudem Forschungsbedarf, wie die technisch effiziente Tröpfchenbewässerung auch in ihrer realen Anwendung wassereinsparend eingesetzt werden kann. Dazu müssen insbesondere die Landwirte technisch geschult werden. Zudem müssen die Landwirte verinnerlichen, dass Wasser keine unendliche Ressource ist und Nutzungskonflikte bereits existieren (Tripathi & Mishra, 2017). Im Bereich der Schulung und Aufklärung der Landwirte können bilaterale Projekte sicherlich starke positive Wirkungen erzielen. Im Regenfeldbau müssen verschiedene Techniken eingesetzt werden, die das Wasser während der Regenzeit effizient lagern. Diese Techniken sind in der Regel relativ preiswert, aber auch hier müssen die Bauern hinreichend beraten und geschult werden. Auch in diesem Bereich können die Regierung und internationale Geberorganisationen aktiv werden.

Generell sehen wir großen Bedarf im Bereich der Aufklärung und Schulung der Landwirte. Tripathi und Mishra (2017) haben in Interviews herausgefunden, dass die Mehrheit der Bauern in Indien die sich verändernden Klimabedingungen nicht in einen Zusammenhang mit dem anthropogenen Klimawandel bringen. Auch deshalb unternehmen die meisten Bauern keine zielgerichteten Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Allerdings zeigt diese Studie, dass sich die Bauern teilweise bereits unbewusst anpassen. So wird bereits mehr Grundwasser für Bewässerung entnommen, Anbauperioden der Feldfrüchte verschieben sich und komplexere Fruchtfolgen werden eingesetzt. Landwirtschaftliche Beratung und Capacity Building sind sehr

wichtig, um Anpassungen an den Klimawandel auf Betriebsebene zu fördern. Landwirte müssen durch zielgerichtete Programme über den Klimawandel, die Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen informiert werden.

Eine weitere wichtige Anpassungsstrategie ist die Entwicklung von Getreidesorten, die an extremere Klima- und Wetterbedingungen angepasst sind. Präzise Gentechnikinstrumente (wie CRISPR/Cas) können helfen, schnelle Entwicklungssprünge in der Züchtung klimatoleranter Pflanzensorten zu erzielen. Allerdings müssen die Regierung und internationale Geberorganisationen zielgerichtet in den Bereich Pflanzenzucht investieren. Auch das Etablieren diversifizierter Fruchtfolgen ist eine wichtige und effiziente Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel. Es gibt zwar Hinweise, dass komplexere Fruchtfolgen, wie etwa das Einbinden von Hülsenfrüchten in traditionelle Reis-Weizen- Fruchtfolge, zu erhöhtem Bodenwasser, verbessertem Unkraut- und Stickstoffmanagement und steigenden Erträgen führen kann. Allerdings ist die Literatur zum Einfluss von Fruchtfolgen in Indien sehr übersichtlich. Langjährige und teure Feldversuche sind hier notwendig, aber ein solcher Aufwand erscheint angesichts der Herausforderungen gerechtfertigt.

Die Politik in Indien hat das Thema Klimaanpassung auf ihrer Agenda. Im Februar 2011 hat der *Indian Council of Agricultural Research* das Projekt "National Innovations on Climate Resilient Agriculture" (NICRA) gestartet. NICRA wird vom indischen Agrarministerium gefördert mit der Zielsetzung, die Landwirtschaft an den Klimawandel anzupassen. Dieses Ziel soll durch Forschung, Demonstration neuer Technik und Kapazitätsbildung erreicht werden. Über 100 Dörfer, die in klimatisch anfälligen Regionen liegen, wurden für NICRA ausgewählt. Dort wurden die an den Klimawandel angepassten Methoden in enger Zusammenarbeit mit den lokalen Bauern angewendet. Sikka et al. (2018) haben die Effekte von NIRCA untersucht und konnten zeigen, dass die Instandsetzungsarbeiten der Bewässerungsinfrastruktur dazu führten, dass größere Flächen mit höheren Wassermengen versorgt werden können. Hohe Wassereinsparungseffekte hat auch die Tröpfchenbewässerung. Zwar ist diese Untersuchung in einem anerkannten und begutachteten Journal erschienen, aber es handelt sich um keine auf Feldversuchen basierende Untersuchung. Die Ergebnisse sollten daher unter Vorbehalt interpretiert werden. Sikka et al. (2018) zeigen, dass kostengünstige Eingriffe wie NIRCA starke positive Effekte haben können. Insgesamt wird herausgestellt, dass der Erfolg von NIRCA vom Einbezug der lokalen Bevölkerung bei der Planung und Ausführung der Projekte abhängig ist. Zudem muss die politische Unterstützung entsprechend hoch sein. Die Autoren fordern, dass die Maßnahmen, wie sie in NIRCA getroffen wurden, im gesamten Land angewendet werden und in die wichtigsten nationalen Programme zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung eingehen.

1.6 Literatur

- Aryal, J. P., Sapkota, T. B., Jat, M. L., & Bishnoi, D. K. (2014). On-Farm Economic and Environmental Impact of Zero-Tillage Wheat: A Case of North-West India. *Experimental Agriculture*, 51(1), 1-16.
- Aryal, J. P., Sapkota, T. B., Stirling, C. M., Jat, M. L., Jat, H. S., Rai, M., . . . Sutaliya, J. M. (2016). Conservation agriculture-based wheat production better copes with extreme climate events than conventional tillage-based systems: A case of untimely excess rainfall in Haryana, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 325-335.
- Birkenholtz, T. (2017). Assessing India's drip-irrigation boom: efficiency, climate change and groundwater policy. *Water International*, 42(6), 663-677.
- Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W., Lassaletta, L., van Apeldoorn, D. F., van Grinsven, H. J. M., Zhang, J., & Ittersum van, M. K. (2017). Lessons from temporal and spatial patterns in global use of N and P fertilizer on cropland. *Scientific Reports*, 7, 40366.
- Busby, J. W., & Shidore, S. (2017). When decarbonization meets development: The sectoral feasibility of greenhouse gas mitigation in India. *Energy Research & Social Science*, 23, 60-73.
- Byjesh, K., Kumar, S. N., & Aggarwal, P. K. (2010). Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(5), 413-431.
- Choudhary, M., Datta, A., Jat, H. S., Yadav, A. K., Gathala, M. K., Sapkota, T. B., . . . Ladha, J. K. (2018). Changes in soil biology under conservation agriculture based sustainable intensification of cereal systems in Indo-Gangetic Plains. *Geoderma*, 313, 193-204.
- FAO. (2019). FAOSTAT data. Retrieved from <http://faostat.fao.org> on 10 June 2019
- Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2019). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1), 29-51.
- Lauert, J. (2019). *Länderinformationen zu Klimawandel und Landwirtschaft in den Schwerpunktländern des BMEL im Rahmen des Bilateralen Kooperationsprogramms*. Retrieved from Berlin:
- Malik, R. P. S., Giordano, M., & Rathore, M. S. (2018). The negative impact of subsidies on the adoption of drip irrigation in India: evidence from Madhya Pradesh. *International Journal of Water Resources Development*, 34(1), 66-77.
- Parihar, C. M., Jat, S. L., Singh, A. K., Kumar, B., Yadvinder, S., Pradhan, S., . . . Yadav, O. P. (2016). Conservation agriculture in irrigated intensive maize-based systems of north-western India: Effects on crop yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research*, 193, 104-116.
- Pathak, H. (2010). Mitigating greenhouse gas and nitrogen loss with improved fertilizer management in rice: quantification and economic assessment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 87(3), 443-454.
- Pathak, H. (2015). Greenhouse Gas Emission from Indian Agriculture: Trends, Drivers and Mitigation Strategies. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 81(5).
- Patra, A. K. (2017). Accounting methane and nitrous oxide emissions, and carbon footprints of livestock food products in different states of India. *Journal of Cleaner Production*, 162, 678-686.
- Powlson, D. S., Stirling, C. M., Jat, M. L., Gerard, B. G., Palm, C. A., Sanchez, P. A., & Cassman, K. G. (2014). Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 4(8), 678.
- Prasad, J. V. N. S., Rao, C. S., Srinivas, K., Jyothi, C. N., Venkateswarlu, B., Ramachandrapa, B. K., . . . Mishra, P. K. (2016). Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi arid tropics of southern India. *Soil and Tillage Research*, 156, 131-139.
- Qin, S., Li, S., Kang, S., Du, T., Tong, L., & Ding, R. (2016). Can the drip irrigation under film mulch reduce crop evapotranspiration and save water under the sufficient irrigation condition? *Agricultural Water Management*, 177, 128-137.

- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, *6*, 5989.
- Sah, D., & Devakumar, A. S. (2018). The carbon footprint of agricultural crop cultivation in India. *Carbon Management*, *9*(3), 213-225.
- Sapkota, T. B., Jat, R. K., Singh, R. G., Jat, M. L., Stirling, C. M., Jat, M. K., . . . Gupta, R. K. (2017). Soil organic carbon changes after seven years of conservation agriculture in a rice-wheat system of the eastern Indo-Gangetic Plains. *Soil Use and Management*, *33*(1), 81-89.
- Shirsath, P. B., Aggarwal, P. K., Thornton, P. K., & Dunnett, A. (2017). Prioritizing climate-smart agricultural land use options at a regional scale. *Agricultural Systems*, *151*, 174-183.
- Sikka, A. K., Islam, A., & Rao, K. V. (2018). Climate-Smart Land and Water Management for Sustainable Agriculture. *Irrigation and Drainage*, *67*(1), 72-81.
- Singh, V. K., Yadvinder, S., Dwivedi, B. S., Singh, S. K., Majumdar, K., Jat, M. L., . . . Rani, M. (2016). Soil physical properties, yield trends and economics after five years of conservation agriculture based rice-maize system in north-western India. *Soil and Tillage Research*, *155*, 133-148.
- Sinha, I., Buttar, G. S., & Brar, A. S. (2017). Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Indian Punjab. *Agricultural Water Management*, *185*, 58-64.
- Soora, N. K., Aggarwal, P. K., Saxena, R., Rani, S., Jain, S., & Chauhan, N. (2013). An assessment of regional vulnerability of rice to climate change in India. *Climatic Change*, *118*(3-4), 683-699.
- Surendran, U., Jayakumar, M., & Marimuthu, S. (2016). Low cost drip irrigation: Impact on sugarcane yield, water and energy saving in semiarid tropical agro ecosystem in India. *Science of The Total Environment*, *573*, 1430-1440.
- Tirado, R., Gopikrishna, S. R., Krishnan, R., & Smith, P. (2011). Greenhouse gas emissions and mitigation potential from fertilizer manufacture and application in India. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *8*(3), 176-185.
- Tripathi, A., & Mishra, A. K. (2017). Knowledge and passive adaptation to climate change: An example from Indian farmers. *Climate Risk Management*, *16*, 195-207.