

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	12
1.4 Klimaanpassung: Forschungsstand	13
1.5 Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte	16
1.6 Literatur.....	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. THG-Emissionen der brasilianischen Landwirtschaft (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)
CH₄	Methan
CO₂	Kohlendioxid
COP	Vertragsstaatenkonferenz (Conference of Parties)
Mt	Megatonne
N	Stickstoff
SPI	Standardized precipitaton index
THG	Treibhausgase

1.1 Einleitung

Brasilien ist heute eines der wichtigsten Agrarnationen weltweit. Das größte Land Südamerikas produziert etwas mehr als 30% des weltweiten Sojas und ist damit knapp hinter den USA der zweitgrößte Produzent weltweit (FAO 2019). Zudem trägt Brasilien knapp 9% zur weltweiten Maisproduktion, fast 4% zur Schweinefleischproduktion und mehr als 16% zur Rindfleischproduktion bei (FAO, 2019). Entsprechend dieses hohen Anteils ist Brasilien heute eine der weltweit dominierenden Exportnationen. Zusammen mit den USA ist Brasilien auch der größte Exporteur von Soja und, nach den USA, der zweitgrößte Exporteur von Mais (FAO, 2019). Beim Rindfleisch ist Brasilien zusammen mit Australien die führende Exportnation. Seit vielen Jahren steigt die Produktion von Fleisch und Getreide beträchtlich und alle aktuellen politischen Signale in Brasilien sowie die weltweite Nachfrageentwicklung deuten darauf hin, dass das Produktionswachstum fortschreiten wird. Die brasilianische Regierung hat etwa kürzlich erklärt, die Rindfleisch- und Milchproduktion um bis zu 40% steigern zu wollen (zu Ermgassen *et al.*, 2018).

Entsprechend der großen Produktionsmengen werden große Teile des Landes für die Landwirtschaft genutzt. Die Weidefläche beträgt etwas über 150 Millionen Hektar (Mha) und mehr als 50 Mha werden für den Anbau von Getreide genutzt (FAO, 2019; Millen *et al.*, 2011), wobei auf etwa der Hälfte der Ackerfläche Soja angebaut wird. Ein Großteil des Getreides und des Rindfleischs aus Brasiliens kommt aus der *Cerrado* Region, eine Savanne, die sich vom Zentrum bis zum Osten und Süden Brasiliens erstreckt. Die Landwirtschaft trägt ein Viertel zum Bruttoinlandsprodukt bei und beschäftigt knapp 10% aller Erwerbstätigen. Das Zentrum der Agrarproduktion ist der Bundesstaat *Mato Grosso* im Landesinneren Brasiliens, der zu einem Großteil im *Cerrado* liegt und wo das meiste Getreide in Brasilien produziert wird. Der Agrarboom setzte etwa ab dem Jahr 2000 ein, bis 2010 verdreifachte sich die Nahrungsmittelproduktion und das Wachstum ist bis heute ungebrochen. Heute werden 72% des Bruttosozialprodukts von Mato Grosso durch die Landwirtschaft erwirtschaftet. In dem Bundesland werden 10 Mha oder 60% der Ackerfläche für den Sojaanbau genutzt und 10% der weltweiten Sojamenge produziert. In der Regel wird der Mais in Rotation mit Soja angebaut (Cohn *et al.*, 2016).

Der Agrarboom in Mato Grosso, aber auch in den Bundesstaaten *Amazonas, Para, Acre und Rondonia*, ist die wichtigste Ursache für die Abholzung im Amazonas-Regenwald. Die Fläche, die zwischen 1989 und 2009 im Amazonas entwaldet wurde, ist ungefähr so groß wie Deutschland (Börner & Wunder, 2012). Der Amazonas hat damit eine der höchsten Entwaldungsraten weltweit, wobei das Tropenholz sowie die Schaffung neuer Weideflächen für die Rindfleischproduktion die Hauptursachen für den Kahlschlag sind. Die dadurch verursachten CO₂-Emissionen betragen knapp ein Viertel der weltweit durch Landnutzungsänderungen verursachten CO₂-Emissionen. Allerdings sank die jährliche Entwaldungsrate ab 2005 deutlich,

wodurch die Emissionen Brasiliens von 2005 bis 2010 um 40% gesunken sind (Corbeels *et al.*, 2016). Bis 2017 waren die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) aus der Landwirtschaft (d.h. direkt durch die Landwirtschaft und nicht durch Landnutzungsänderungen verursacht), die vor allem durch die Rindfleischproduktion und den Düngemiteleinsatz verursacht wurden, etwa so groß wie die durch Entwaldung hervorgerufenen Emissionen. Allerdings ist es wahrscheinlich, dass sich der Trend derzeit verändert, denn seit der Wahl von *Jair Bolsonaro* zum Präsidenten im Januar 2019 wird wieder deutlich stärker entwaldet als in den Jahren zuvor. Der neue Präsident unterstützt das Agribusiness sowie die Holzindustrie und hat sich gegen den Schutz der indigenen Bevölkerung und des Regenwaldes gestellt (Escobar, 2019).

1.2 Klimaschutz: Forschungsstand

THG-Emissionen der brasilianischen Landwirtschaft

Im Jahr 2016 hatte die brasilianische Landwirtschaft einen Anteil von fast 9% an den Gesamtemissionen der weltweiten Landwirtschaft (FAO, 2019). Von 1990 bis 2016 sind die Emissionen (in CO₂ Äquivalenten) um 33% gestiegen (Abbildung 1). Die höchsten Emissionen werden durch die Viehwirtschaft, vor allem die Rinderzucht, verursacht. Fast ein Drittel der Gesamtemissionen werden durch die Verdauungsprozesse von Rindern verursacht, die das Spurengas Methan (CH₄) verursacht, welches 25-mal so wirksam ist wie CO₂, allerdings nur 12 Jahre in der Atmosphäre verbleibt (CO₂ im Gegensatz bis zu 1000 Jahre).

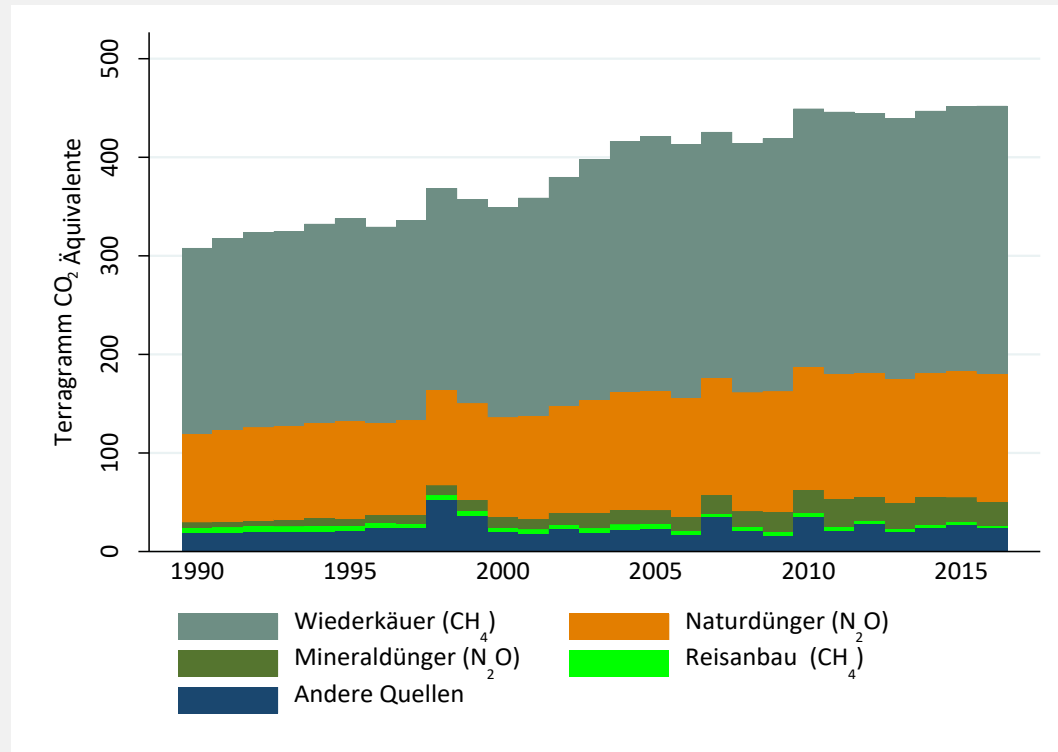


Abbildung 1. THG-Emissionen der brasilianischen Landwirtschaft (in CO₂-Äquivalenten) ohne Landnutzungsänderung; eigene Darstellung mit Daten der FAO (2019).

Den Daten der FAO zufolge sind die Emissionen pro Kilogramm Rindfleisch und Milch in Brasilien, im Vergleich mit den anderen hier untersuchten Ländern, relativ hoch (Abbildung 2), was auf die geringe Produktivität in der Rinderzucht zurückzuführen ist. Andere Studien zeigen, dass die Emissionen bis zu 18-mal höher sein können, wenn die an die Rinderzucht eng gekoppelte Entwaldung im Amazonas eingerechnet wird (Cederberg *et al.*, 2011).

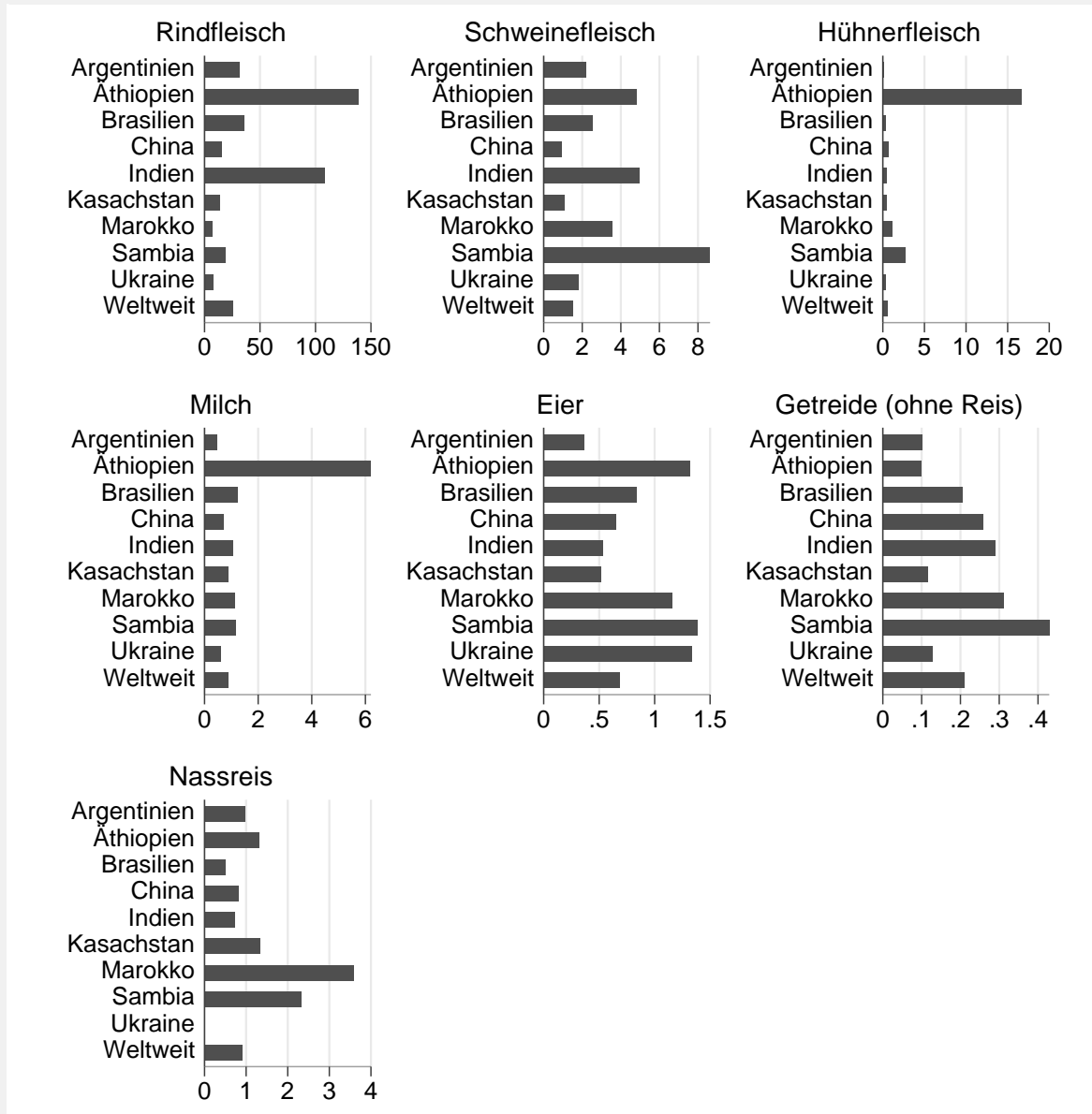


Abbildung 2. THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch, Milch oder Getreide (in kg CO₂-Äquivalenten pro kg Produkt) im Jahr 2016; die Daten beinhalten nur die Emissionen, die innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes entstehen, aber keine Emissionen, die in Importgütern gebunden sind oder entlang der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

Der Ackerbau verursacht im Vergleich zur Viehwirtschaft nur geringe Emissionen. Bei den Emissionen pro Kilogramm Getreide liegt Brasilien im Vergleich zu den in diesem Report untersuchten Ländern ungefähr im Mittelfeld und etwa beim weltweiten Durchschnitt (Abbildung 2). Einerseits basieren die in Brasilien dominierenden Soja-Mais-Systeme überwiegend auf dem bodenschonenden und potenziell Bodenkohlenstoff anreichernden Direktsaatverfahren. Andererseits verursachen Mineraldünger und Erntereste, sowie direkte oder indirekte Entwaldung durch die Ausbreitung der Ölsaaten- und Getreideproduktion hohe THG-Emissionen. Daher existieren substantielle THG-Einsparungspotenziale im Ackerbau.

Klimaschutz in der Rindfleischproduktion

Brasilien hat mit 230 Millionen Tieren einen der größten Rinderbestände weltweit (FAO, 2019) und die Rindfleischproduktion verursacht 70% der Gesamtemissionen der brasilianischen Landwirtschaft. Wäre die brasilianische Rindfleischproduktion eine Nation, würde es auf Platz 16 der Länder mit den höchsten Emissionen liegen. Die hohen Emissionen entstehen aufgrund der hohen Tierzahlen, der unproduktiven Verdauungsprozesse und der Entwaldung, die durch den erheblichen Weidebedarf angetrieben wird (Cerri *et al.*, 2016). Bislang haben lediglich 17% aller wichtigen Rindfleischkonzerne zugesichert, nicht von Landwirten einzukaufen, deren Produktion mit Entwaldung in Verbindung gebracht wird. Zudem ist das Schlachalter der Tiere aufgrund der geringen Produktivität und Futterqualität hoch, die Tiere emittieren also Methan über einen langen Zeitraum bis zur Schlachtung (Cardoso *et al.*, 2016). Allerdings ist die Produktivität in der Rindfleischproduktion in den letzten Jahrzehnten bereits stark angestiegen. So ist der Anstieg der Rindfleischproduktion seit 1950 zu 80% auf Produktivitätssteigerungen bei der Beweidung (etwa durch ertragreichere Weidegräser) sowie der Tierhaltung (etwa durch die Verbreitung von Mastanlagen) zurückzuführen ist (Martha *et al.*, 2012).

Jedoch sind große Teile der brasilianischen Rindfleischproduktion ineffizient; der Sektor schöpft derzeit nur etwa ein Drittel des Produktionspotenzials ab, dass auf nachhaltigem Wege erreicht werden könnte (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Somit sind große, bislang nicht ausgeschöpfte Potenziale zur Einsparung von Emissionen vorhanden.

Zum einen kann die Rindfleischproduktion zur Reduzierung von THG durch Vermeidung von Entwaldung für die Schaffung neuer Weideflächen beitragen. Die Rindfleischproduktion im Amazonas verursacht pro Kilogramm Rindfleisch fast fünfmal höhere Emissionen wie im *Cerrado* (oder sechsmal höhere als in Westeuropa). Die Emissionen der Rindfleischproduktion können beispielsweise trotz stark steigender Produktion gesenkt werden, wenn keine Wälder für Weideflächen weichen müssen und die Viehhalter im *Cerrado* ihre Produktion etwa durch ertragreichere Weiden intensivieren (Cohn *et al.*, 2014). Allerdings besteht die Gefahr, dass eine Intensivierung zu höheren Profiten und dadurch sogar zu einer Verstärkung der

Entwaldung führt, dem sogenannten *Rebound-Effekt* (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Parallel zur Intensivierung müssen daher Schutzgebiete im Amazonas ausgebaut und konsequent verwaltet und bewacht werden, um diese *Rebound-Effekte zu vermeiden*. Die Rinder können zur Lokalisierung mit GPS-Sendern versehen werden, um Landwirte zu sanktionieren, die für neue Weideflächen entwalden. Multinationale Konzerne, die große Teile des Rindfleisches vermarkten, müssen verstärkt dazu verpflichtet werden, nur von Betrieben einzukaufen, die keinen Regenwald gefährden.

Ein zweites riesiges Potenzial zur klimaschonenderen Rindfleischproduktion liegt in der Verbesserung degradierter Weiden. Dünger und andere Inputs werden unzureichend ausgebracht und daher zeigen etwa 40% aller Weideflächen Degradationsmerkmale auf (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Besonders schlecht ist die Situation im Amazonas, wo sich etwa ein Drittel aller Rinder Brasiliens befindet. Die geringe Produktivität und Qualität der Weiden erklärt die heutige geringe Tierbesatzdichte. Durch eine Steigerung der Tierbesatzdichte könnte Entwaldung und damit CO₂-Emissionen vermieden werden. Es wurde berechnet, dass die Besatzdichte verdoppelt werden kann, wenn das Weidemanagement verbessert wird (Strassburg *et al.*, 2014). Zweitens führen minderwertige Gräser zu einem ungünstigen Energieumsatz und hohen Methan-Emissionen im Verdauungstrakt der Rinder. Die Weiden können effektiv durch die Kultivierung von produktiven, stickstoffbindenden Leguminosen sowie Düngung und Kalkung aufgewertet werden (zu Ermgassen *et al.*, 2018).

Hier haben bereits zahlreiche Projekte, die die Landwirte vor allem technisch unterstützen, angesetzt (Bogaerts *et al.*, 2017). Besonders effektiv erscheint der Ansatz, die Weideflächen zunächst in etwa 5 ha große Teile einzuzäunen, um alle Weideaktivitäten zu unterbrechen. Anschließend werden Bodenproben genommen, um dann Inputs wie Dünger und Kalk zielgerichtet einzusetzen (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Es wurde gezeigt, dass allein eine verbesserte Grasqualität der Weiden die THG-Emissionen pro Kilogramm Fleisch um 50% verringert (Cardoso *et al.*, 2016). In einer weiteren Studie, die auf 23 Rinderbetrieben in *Mato Grosso* durchgeführt wurde, hatte das verbesserte Weidemanagement sowohl die Produktivität als auch die Profitabilität der Rinderzucht gesteigert (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Die Emissionen konnten, aufgrund der erhöhten Wachstumsraten und damit einem herabgesetztem Schlachalter, deutlich vermindert werden. Eingangs mussten relativ hohe Investitionen getätigt werden, die sich allerdings nach 2,5 bis 8,5 Jahren amortisieren (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Ein wichtiger Bestandteil des Programms ist eine verbesserte Dokumentation aller Betriebsabläufe. Dieses Programm wurde durch zahlreiche NGOs und Konzerne unterstützt.

In einer Studie (Bogaerts *et al.*, 2017) wurden 40 Rinderbetriebe befragt, um zu untersuchen, ob die bisherigen Programme zur Steigerung der Produktivität wirksam waren. Betriebe, die an einem dieser Programme teilgenommen haben, hatten 23% größere Tierbestände als die nicht teilnehmenden Betriebe, wobei die genutzte Fläche gleich groß war. Bezogen auf ein

Kilogramm Rindfleisch hatten die teilnehmenden Betriebe knapp 19% geringere THG-Emissionen (Bogaerts *et al.*, 2017). Diese Studie zeigt also, dass Intensivierungsprozesse zu einer Reduktion der Emissionen führen können. Eine Verbesserung der Futterqualität war auch in dieser Studie ein vorrangiger Faktor für die Reduktion der Emissionen.

Neben der Verbesserung der Weiden können produktivere Rassen und Rindermastanlagen zur Einsparung von Emissionen führen. In der Milchproduktion stößt die Kuhrasse Holstein zwar insgesamt größere Mengen THG-Emissionen aus als die heimische Zebu Kuh, allerdings sind die Emissionen pro Liter Milch aufgrund der höheren Produktivität der Holstein Kuh wesentlich geringer als bei der Zebu Kuh (Cerri *et al.*, 2010). Ein weiteres wesentliches Intensivierungselement sind Rindermastanlagen, so genannte *Feedlots*, in denen die Rinder typischer Weise in den letzten Monaten bis zur Schlachtung gemästet werden. *Feedlots* haben sich erst ab circa 2000 in Brasilien ausgebreitet, wobei brasilianische Rinder überwiegend während der Trockenzeit dort gemästet werden, wenn die Weiden weniger produktives Gras bereitstellen. Durch Mastanlagen kann ein konstanteres Angebot von Rindfleisch gewährleistet werden, was wichtig für den Ausbau der Exporte war (Millen *et al.*, 2011).

Das Hauptziel der Landwirte, die ihre Produktion intensivieren, ist die Bestandsdichte zu erhöhen, sowie das Alter der Tiere zum Zeitpunkt der Schlachtung zu reduzieren. Dadurch können nicht nur die Profite gesteigert, sondern auch die THG-Emissionen pro Einheit Fleisch reduziert werden (Dick *et al.*, 2015). Weitere Emissionen können eingespart werden, wenn die in den *Feedlots* anfallende Gülle energetisch verwendet wird (Costa Junior *et al.*, 2015). Eine Reihe von Studien bestätigen, dass intensivierete Rinderbetriebe deutlich geringere THG-Emissionen als extensive Systeme erzeugen (Cardoso *et al.*, 2016; Dick *et al.*, 2015; Ruviaro *et al.*, 2015).

Wenige Studien haben den Kohlenstoff (C) im Boden berücksichtigt, obgleich eine Verbesserung der Weideproduktivität und -qualität zur Anreicherung organischer Substanz und damit Kohlenstoff führen kann (Dick *et al.*, 2015). Im *Cerrado* wurde gezeigt, dass ertragreichere Weiden höhere Boden-C-Werte als degradierte Weiden und sogar höhere als die natürliche Vegetation haben (de Oliveira Silva *et al.*, 2017). Zudem ist das Potenzial zur C-Speicherung im Boden im Amazonas höher ist als im *Cerrado* (Cerri *et al.*, 2018). Das durch die Verbesserung des Weidemanagements eingesparte CO₂ übersteigt sogar die Einsparungen, die durch die verbesserte Futterqualität und damit effizientere Verdauung erreicht werden. Allerdings ist der Prozess der Kohlenstoffspeicherung im Boden von vielen verschiedenen Faktoren wie Klima, Boden (insbesondere dem Lehmanteil), Zeitraum und Management abhängig, und damit standortabhängig. Weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere, weil unklar ist, wie beständig die Kohlenstoffsенke im Boden ist.

In der Literatur wurden auch die Barrieren untersucht, die eine Verbesserung der Weiden und größere Produktivität verhindern. Hohe Investitionskosten und ein fehlender Zugang zu

Krediten erschweren beispielsweise intensivere Bewirtschaftung. Es wird empfohlen, Preisaufschläge für Produkte zu erheben, wenn diese mit nachhaltigen, umweltschonenden Produktionsweisen hergestellt wurden (zu Ermgassen *et al.*, 2018). In diesem Sinne hatte die brasilianische Regierung bereits 2010 ein Programm eingeführt, das eine klimaschonende Landwirtschaft begünstigen sollte (Low Carbon-Agriculture oder ABC). In diesem Programm, das von der Weltbank mit finanziert wird, werden die Verbesserung der Weiden und integrierte Agrarsysteme (Ackerbau-Tierhaltung-Forst) gefördert. Dieses Projekt war weltweit eines der ersten seiner Art, wurde allerdings durch eine überbordende Bürokratie, zu hohe Zinsen und eine geringe öffentliche Wahrnehmung ausgebremst (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Die Kredite aus dem ABC-Programm sind vor allem dann nicht ausreichend, wenn die Bodendegradation weit fortgeschritten ist. Eine deutliche Aufstockung der Kredite wurde deshalb empfohlen (de Oliveira Silva *et al.*, 2017).

Zudem ist eine verbesserte Beratung der Landwirte erforderlich. 45% der Rinderproduzenten in Mato Grosso haben keine technische Unterstützung erhalten und 65% der Befragten gaben an, dass ihre fehlende Qualifizierung der Hauptgrund dafür ist, verbessertes Weidemanagement einzurichten (zu Ermgassen *et al.*, 2018). Allerdings gibt es in Brasilien nur wenige Experten, die ein effektives Training zur Steigerung der Produktivität der Landwirte durchführen können. Daher sollte in die technische Ausbildung des Trainingspersonals investiert werden.

Klimaschutz durch integrierte Ackerbau-Viehhaltung-Systeme und Agroforstsysteme

Eine weitere Praxis, die im Rahmen von ‚ABC‘ durch die brasilianische Regierung gefördert wird, sind integrierte Ackerbau-Viehhaltung-Systeme und Agroforstsysteme, die vor allem der Degradation der Weiden entgegen wirken sollen. Integrierte Ackerbau-Viehhaltung-Systeme kombinieren den Anbau ein- oder mehrjähriger Kulturen, die in aller Regel im Direktsaatverfahren angebaut werden, mit Beweidung. Der degradierte Boden profitiert von den gedüngten und, gegebenenfalls, von den stickstoffbindenden Leguminosen. Ackerbau-Viehhaltung-Systeme wurden 2015 auf 11.47 Mha angewandt, wobei das Konzept mehrheitlich in der Viehwirtschaft, aber kaum im Pflanzenbau (Soja-Mais-Systeme) eingesetzt wird. Die Anpflanzung von Hülsenfrüchten wird als ein wirksamer und kostengünstiger Ansatz zur Verbesserung der Weiden angesehen. Schätzungen zufolge könnten 50 Mha degradierter Weiden für die Sojaproduktion genutzt werden (S *et al.*, 2013). Sant-Anna *et al.* (2016) zeigen auf, dass hinreichend gepflegte Weidefläche und integrierte Acker-Weide-Systeme höhere Boden-C-Anteile als konventionell bewirtschaftet, degradierte Weiden haben. Eine andere Studie lässt darauf schließen, dass integrierte Systeme zudem helfen, den Flächenbedarf für Agrarland zu verringern und damit Entwaldung zu reduzieren (De Oliveira Silva *et al.*, 2018).

Diese Studien zeigen zudem, dass Agrarsysteme, die mit der Bepflanzung von Bäumen kombiniert werden, so genannte Agroforstsysteme, zu noch positiveren und kurzfristigen Boden-C-Effekten führen, insbesondere wenn die Flächen hinreichend gedüngt werden (De

Oliveira Silva *et al.*, 2018). Ein weiteres Beispiel ist ein durch die Weltbank gefördertes Agroforstprojekt in Mato Grosso, das in erster Linie auf die Verbesserung der degradierten Weiden abzielt (Martinelli *et al.*, 2019). Getreide, Bohnen und Zuckerrohr wurden zusammen mit Obstbäumen angebaut. Eingangs wurden die Weiden gepflügt und geeggt, anschließend gekalkt und mit Rinderexkrementen gedüngt. Zusätzlich wurde Gründünger zum Nährstoffaufbau gepflanzt. Eine umfangreiche Studie hat gezeigt, dass durch diese Maßnahmen deutliche CO₂-Einsparungen erzielt wurden (Martinelli *et al.*, 2019). Die Bäume haben zudem den Effekt, dass im Sommer ein kühleres Mikroklima geschaffen wird, was mit Blick auf die Anpassung an den Klimawandel von großer Bedeutung ist. Nicht zuletzt haben integrierte Agroforstsysteme große Vorteile bei der Biodiversität und verhindern Bodenerosion besser als konventionelle Agrarsysteme (Santos *et al.*, 2019).

Trotz aller offenkundigen Vorteile werden die durch das ABC-Programm bereitgestellten Fördermittel noch selten in Anspruch genommen. Zudem werden die meisten geförderten Projekte im Süden Brasiliens, aber wenige in nördlicheren Regionen wie Mato Grosso durchgeführt. Im Rahmen des ABC-Programms wurde das Ziel ausgegeben, dass die Fläche integrierter Systeme sich verdoppelt und damit 20 Millionen Tonnen CO₂ eingespart werden.

Klimaschutz im Ackerbau

Einsparungspotenziale von THG-Emissionen bietet auch der Ackerbau, obwohl in den vergangenen knapp zwei Jahrzehnten sich dessen negative Umweltauswirkungen bereits verringerten. Im Rahmen des Soja-Moratoriums konnte Entwaldung vermieden werden (Gibbs *et al.*, 2015). Bereits 82% der Soja, Mais und Bohnenanbaufläche im *Cerrado* wird mit dem Direktsaatverfahren angebaut. Das Direktsaatverfahren hat sich seit den 1990er Jahren schnell ausgebreitet und wurde in Brasilien im Jahr 2015 auf 32 Mha angewandt (Kassam *et al.*, 2019), vor allem weil es weniger arbeitsintensiv ist und daher Kosten reduziert. Eine weitere Motivation war die Bekämpfung der Bodenerosion und der starke Wasserabfluss.

Seit einigen Jahren wird das Direktsaatverfahren zudem als wirkungsvolle Methode zur Speicherung von Kohlenstoff im Boden angesehen und entsprechend von der Regierung gefördert. Der ABC-Plan sieht vor, das Direktsaatverfahren von 32 Mha auf 40 Mha bis 2020 auszuweiten. Die konventionelle Ackernutzung im *Cerrado* führte nach 26 Jahren nach dem Umbruch zu einem Verlust des ursprünglichen Boden-C-Gehalts um 17% (Corbeels *et al.*, 2016). Aufgrund des C-Verlustes sind Ackerböden eine potenzielle Senke. Durch das Direktsaatverfahren können die Landwirte früher aussäen, wodurch zwei Kulturen (Soja-Mais) auf der gleichen Fläche im Jahr angebaut werden können. Die meisten Studien aus dem *Cerrado* zeigen, dass der Bodenkohlenstoff in den oberen 20 cm der Bodenschicht infolge des Direktsaatverfahrens zunimmt, wobei die Ergebnisse weit streuen. Das ist auf unterschiedliche Böden, unterschiedliche Ackersysteme und abweichende Boden-C-Gehalte zu Beginn der Einführung des Direktsaatverfahrens zurückzuführen. Eine umfangreiche Studie im *Cerrado*

zeigt, dass das Direktsaatverfahren dazu führt, dass der Boden-C-Gehalt nach 11 bis 14 Jahren auf das Niveau der natürlichen, unberührten *Cerrado*-Böden steigt. Der Anstieg des Boden-C wird auf die Steigerung der Biomasse zurückgeführt, die auf dem und im Boden verbleibt, was wiederum auf den Anbau der zweiten Feldfrucht zurückzuführen ist (Corbeels *et al.*, 2016). Ein weiterer Anstieg über dieses Niveau ist unwahrscheinlich. Corbeels (Corbeels *et al.*, 2016) haben berechnet, dass infolge einer Ausweitung des Direktsaatverfahrens um 8 Millionen ha im *Cerrado* 8 Terragramm (Tg) C pro Jahr in den ersten 15 Jahren zusätzlich im Boden gespeichert werden. Dadurch könnte ein signifikanter Anteil (etwa 20%) der jährlich durch Landnutzungsänderungen verursachten Emissionen im *Cerrado* kompensiert werden (Corbeels *et al.*, 2016). Durch das Einsparen von Kraftstoffen im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung um etwa 50% wird zusätzlich CO₂ durch das Direktsaatverfahren eingespart. Außerdem können mit Direktsaatverfahren in den Tropen und Subtropen tendenziell höhere Erträge im Vergleich zum konventionellen System erzielt werden (Silva *et al.*, 2019).

Besonders effektiver Klimaschutz wird wahrscheinlich dann betrieben, wenn das Direktsaatverfahren mit anderen Elementen, die *Conservation Agriculture* (CA) zugeordnet werden, kombiniert werden. In einer Studie, in der die detaillierten Prozesse eines Ackerbaubetriebes simuliert wurden, wurde der Effekt von CA auf die Klimawirksamkeit untersucht. Dieser Betrieb befindet sich im Süden Brasiliens und wendet seit mehr als 30 Jahren CA-Methoden an. Die hier eingesetzten CA-Maßnahmen sind permanente Bodenbedeckung, Fruchtfolgen (Weizen-Soya-Mais/Hafer), das Direktsaatverfahren und der Terrassenfeldbau. Mittels eines Simulationsmodells wurde berechnet, dass der Bodenkohlenstoffanteil der Ackerflächen, die mit CA bewirtschaftet werden, um 34% bis zum Jahr 2117 erhöht werden können (Silva *et al.*, 2019). Dadurch könnten die THG-Emissionen, die insgesamt über 13 Jahre in der Studienregion anfallen, kompensiert werden.

1.3 Klimaschutz: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte

Brasilien ist heute eines der größten Produzenten von Getreide und Fleisch. Das hohe Produktionsniveau von Brasiliens Landwirtschaft in Verbindung mit der eng an die Landwirtschaft gekoppelten Entwaldung und der geringen Produktivität, insbesondere in der Rinderzucht, sind die Hauptfaktoren, dass die brasilianische Landwirtschaft eine sehr hohe Klimawirkung hat. Allerdings hat Brasilien auch riesige Potenziale, THG-Emissionen einzusparen. Die brasilianische Regierung hat das Paris-Abkommen ratifiziert und in diesem Rahmen das Ziel ausgegeben, die nationalen Emissionen um 37% bis 2025 (gegenüber 2005) zu reduzieren. Da die Rindfleischproduktion ein wichtiger Verursacher von Emissionen ist, sollte die Regierung, aber auch internationale Geberorganisationen, diesem Sektor eine hohe Priorität einräumen.

Die Literatur zeigt, dass eine Modernisierung der Rindfleischproduktion zu deutlichen Emissions-einsparungen führen kann. Nationale Projekte wie *ABC* gehen in die richtige

Richtung, müssen jedoch so angepasst werden, dass eine größere Anzahl von Landwirten Zugang zu Krediten erhalten. Brasilien hat im Rahmen der *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) zugesagt, Entwaldung zu verringern und die Rinderproduktivität zu erhöhen. In dieser Absichtserklärung steht, dass 15 Mha degradierte Weideflächen wiederhergestellt werden sollen. Nationale und internationale Vorhaben sollten aus unserer Sicht vor allem die Verbesserung der degradierten Weiden fördern. Dazu müssen ertragreichere Gräser angebaut und gemäß den Standortbedingungen effizient und nachhaltig gedüngt werden. Ertragreichere Weiden können Kohlenstoff speichern, eine Reduktion der Emissionen (Methan) durch verbesserten Futterumsatz erwirken und eine größere Anzahl an Tieren pro Flächeneinheit versorgen, was weitere Entwaldung unterbinden kann. Man kann aus der umfangreichen Literatur schlussfolgern, dass eine intensivere Weidewirtschaft (verbesserte Weiden und ein höherer Tierbesatz pro Fläche) ein wichtiger Ansatz für eine produktive und klimaschonende Rindfleischproduktion ist. Bislang wird seitens deutscher und internationaler Geberorganisationen relativ wenig in die Verbesserung der Weiden und die Intensivierung der Rindfleischproduktion investiert (Lauert, 2019), obgleich hier wirksamer Klimaschutz erzielt werden kann.

Die Studienlage ist auch eindeutig in dem Punkt, dass integrierte Acker-Viehzucht-Systeme und Agroforstsysteme starke positive Klimaschutzeffekte erzielen können. Zwar werden diese Systeme bereits durch nationale und internationale Initiativen gefördert (Lauert, 2019), aber der Förderumfang steht, unserer Auffassung nach, in einem ungünstigen Verhältnis zu den möglichen positiven Effekten dieser integrierten Agrarsysteme.

Generell gilt, dass Entwaldung verhindert werden muss, denn keine optimale Bewirtschaftung kann die hohen Emissionen infolge der Entwaldung kompensieren (Cerri *et al.*, 2018). Die zahlreichen Projekte des BMZ zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung des Tropenwalds sind daher sehr zu begrüßen und fortzuführen (Lauert, 2019). Wir schließen uns der Einschätzung an, dass vor allem der Regenwald im Amazonas dringend vor weiterer Entwaldung geschützt werden muss und, das landwirtschaftliche Expansionsziele, die Brasilien verfolgt, im *Cerrado* umgesetzt werden sollen. Dort sollte der Schwerpunkt auf *Conservation Agriculture* auf degradierten Weidenflächen gelegt werden durch Direktsaatverfahren, integrierte Ackerbau-Livestock-Systeme und eine nachhaltige Intensivierung der Weiden.

1.4 Klimaanpassung: Forschungsstand

In Brasilien erstreckt sich die Regenzeit mit Niederschlägen von 400 bis 2200 mm von Oktober bis März. Die sich anschließende Trockenzeit ist durch fast komplett ausbleibende Niederschläge und häufige Hitzeperioden gekennzeichnet. Diese kurzen Hitzeperioden können die Tierproduktion und vor allem den Ackerbau schädigen, insbesondere wenn sie die Feldfrüchte in der reproduktiven Phase treffen. Die mit Blick auf den Klimawandel gefährdetste

Region ist der semiaride Nordosten Brasiliens. In den Jahren wurde diese Region zwischen 2010 und 2013 von starken Dürren heimgesucht, was das Thema Klimaanpassung und Nahrungsmittelsicherheit auf höchste politische Ebene gehoben hat (Gutiérrez *et al.*, 2014). Aufgrund der Dürre im Jahr 2013 haben knapp eine Million Kleinbauern zusätzliche Subventionen vom Staat erhalten. Extreme Temperaturen und periodischer Wassermangel sind also bereits heute Realität, aber die Klimabedingungen werden sich in der Zukunft voraussichtlich weiter verschärfen (Simões *et al.*, 2010). Die Regenzeit wird sich wahrscheinlich verkürzen, so dass es für die Landwirte im Nordosten Brasiliens riskant sein könnte, zwei Feldfrüchte pro Saison zu kultivieren (Pires *et al.*, 2016). Es wird daher dringend empfohlen, dürreresistentere Feldfrüchte zu züchten und zur Marktreife zu bringen. In dieser Region sind insbesondere die zwei Millionen Kleinbauern und deren Nahrungsmittelsicherheit durch den Klimawandel gefährdet und effektive Projekte zur Anpassung der Kleinbauern an den Klimawandel sind daher von zentraler Bedeutung (Eakin *et al.*, 2014).

Die Kleinbauern im Nordosten bauen schwerpunktmäßig Mais, Bohnen und Maniok an. Diese Kulturen sind relativ gut an Dürren angepasst, allerdings sind die Erträge gering und rückläufig, was vermutlich auf die rückständigen Anbaubedingungen und die klimatischen Trends zurückzuführen ist. Die knappen Wasserressourcen werden häufig verschwenderisch eingesetzt. Eine brasilianische NGO hat daher in einem Projekt an der Optimierung der Bewässerung angesetzt. Solarbetriebene Pumpen und Tröpfchenbewässerungs-Systeme wurden installiert. *Capacity building* war ein wichtiger Bestandteil des Projektes, welches die Kleinbauern in den Themengebieten Klimawandel und nachhaltige Landwirtschaft geschult hat (Simões *et al.*, 2010). Ein weiteres Ziel bestand darin, das Projekt auf andere Regionen im Nordosten auszuweiten. Dieses Projekt wurde detailliert evaluiert und es konnte gezeigt werden, dass die an dem Projekt teilnehmenden Kleinbauern die Produktivität und ihre Einkommen deutlich steigern konnten (Simões *et al.*, 2010). Einige Landwirte haben infolge des Projektes Wasser bewusster und effizienter eingesetzt. Später wurde dieses Projekt durch das deutsche Bundesumweltministerium finanziert, wobei der Fokus auf das Monitoring der Effekte der installierten Technik verlagert wurde.

In Brasilien sind, insbesondere nach den verheerenden Dürren von 2010 bis 2013, zahlreiche Programme entwickelt worden, um die Landwirte gegen die Auswirkungen starker Dürren abzusichern (Herwehe & Scott, 2017). Zuvorderst steht hier sicherlich das häufig genutzte und häufig gelobte Sozialprogramm zur Beseitigung extremer Armut (*Family Allowance Program, Bolsa Familia*). *Bolsa Familia* ist ein wirkungsvolles Instrument gegen die Auswirkungen des Klimawandels, weil die Nahrungsmittelsicherheit in Dürre Jahren in einem engen Verhältnis zum Einkommen der Haushalte steht (Eakin *et al.*, 2014). In dieser Studie war die Nahrungsmittelsicherheit daher eng an die durch *Bolsa Familia* verteilten Gelder und weniger

mit Anpassungsmaßnahmen wie verbesserter Bewässerungstechnik verknüpft. Es wurde daher empfohlen, die für *Bolsa Familia* eingesetzten Mittel deutlich zu erhöhen (Eakin *et al.*, 2014).

Über *Bolsa Familia* hinausgehende Programme sind eingeführt worden, in denen etwa Tierfutter während Dürrephasen subventioniert wird. Kredite zur Finanzierung von Bewässerungsanlagen und kleiner Dämme stehen zur Verfügung (Herwehe & Scott, 2017). Allerdings hat eine Befragung, die im Nordosten Brasiliens durchgeführt wurde, gezeigt, dass eine ausufernde Bürokratie dafür verantwortlich ist, dass mehr als die Hälfte der befragten Bauern diese Dürreprogramme nicht in Anspruch genommen haben (Herwehe & Scott, 2017). Insgesamt scheint die Skepsis der Bauern gegenüber den Aktivitäten der Regierung sehr groß zu sein (Herwehe & Scott, 2017). Dafür ist auch die ausbleibende Beratung verantwortlich, denn fast drei Viertel der im Nordosten Brasiliens befragten Kleinbauern haben niemals eine externe Beratung über die Auswirkungen der Dürre erhalten (de Matos Carlos *et al.*, 2019). Dabei ist Wissen eine wichtige Voraussetzung für Anpassungsinitiativen an den Klimawandel: 94% der Befragten, die ein Grundverständnis über die Auswirkungen des Klimawandels hatten, haben Anpassungsmaßnahmen getroffen. Insgesamt die Hälfte der Befragten gab an, dass sie spezifische Anpassungsmaßnahmen (wie Bewässerung, Verschiebung der Anbauperiode und Erweiterung der Fruchtfolge) bereits getätigt haben (de Matos Carlos *et al.*, 2019). Mittlere und große Betriebe haben eher Anpassungsmaßnahmen getroffen als kleinere Betriebe. In dieser Studie kam zudem heraus, dass nur etwa ein Drittel der Bauern, die Bewässerung eingesetzt haben, externe technische Beratung erhalten haben. Obwohl die Tröpfchenbewässerung zu einer deutlichen Steigerung der Wassernutzungseffizienz geführt hat und der Bodenerosion entgegenwirkt (Herwehe & Scott, 2017), kann eine verbesserte technische Beratung zu weiteren Effizienzsteigerungen bei der Bewässerung führen.

Die landwirtschaftlichen Hauptproduktionsregionen im *Cerrado* sind etwas weniger durch den Klimawandel betroffen als der Nordosten. Die im *Cerrado* weit verbreiteten Soja-Mais-Systeme kommen voraussichtlich relativ gut mit den zukünftigen Klimabedingungen zurecht (Cohn *et al.*, 2014). Hitze- und dürrebeständige Getreidesorten, die bis zu zwei Meter tief wurzeln, bessere Wachstumseigenschaften unter Trockenstress aufweisen und effizienter transpirieren, können zukünftig sogar höhere Erträge als heute erzielen (Battisti *et al.*, 2017). Darüber hinaus können Elemente von *Conservation Agriculture (CA)* erwirken, dass die Wasserverdunstung aus dem Boden reduziert und das Wasser langfristiger im Boden gespeichert wird (Silva *et al.*, 2019). Im *Cerrado* wird zwar das Direktsaatverfahren bereits weit verbreitet eingesetzt, aber weitere wirksame CA-Ansätze, wie das Mulchen und der Anbau von Zwischenfrüchten, sind noch nicht sehr verbreitet. CA kann helfen, Ertragsschwankungen, die durch Dürreperioden verursacht werden, auszugleichen. Allerdings besteht das Risiko, dass durch das Direktsaatverfahren der Oberflächenabfluss verstärkt wird im Vergleich zum konventionellen Pflügen, was zu einem verstärktem Nährstoffverlust führen kann.

1.5 Klimaanpassung: Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen für zukünftige Projekte

Der semiaride Nordosten Brasiliens ist die anfälligste Region und hier müssen große Anstrengungen unternommen werden, um die Landwirtschaft an den Klimawandel anzupassen. Insbesondere für diese Region müssen dürreresistente Kulturen gezüchtet und für die Kleinbauern zugänglich gemacht werden. Die Bauern im Nordosten müssen zudem mit effizienter Bewässerungstechnik und umfassender technischer Beratung zu deren effizienter Anwendung ausgestattet werden. Obwohl die Regierung Programme für die Finanzierung von verschiedenen Anpassungsmaßnahmen finanziert, haben sehr viele Landwirte, vor allem Kleinbauern, keinen Zugang zu diesen Subventionen. Die Regierung müsste daher die bürokratischen Barrieren für die Erlangung dieser Subventionen herabsetzen. Es sollten zudem Projekte entwickelt werden, die die Kleinbauern über die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen aufklären und Unterstützung bei der Beantragung der staatlichen Subventionsprogramme geben. Eine weitere wesentliche Herausforderung besteht darin, den größtenteils verarmten und bildungsfernen Kleinbauern einen sparsamen und effizienten Umgang mit den knappen Wasserressourcen zu vermitteln. Bisherige Erfahrungen deuten an, dass entsprechende Beratungsprojekte stark positive Wirkungen im Umgang mit Wasser erzielen können.

1.6 Literatur

- Battisti, R., Sentelhas, P. C., Boote, K. J., de S. Câmara, G. M., Farias, J. R. B., & Basso, C. J. (2017). Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. *European Journal of Agronomy*, 83, 1-14.
- Bogaerts, M., Cirhigiri, L., Robinson, I., Rodkin, M., Hajjar, R., Costa Junior, C., & Newton, P. (2017). Climate change mitigation through intensified pasture management: Estimating greenhouse gas emissions on cattle farms in the Brazilian Amazon. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1539-1550.
- Börner, J., & Wunder, S. (2012). The Scope for Reducing Emissions from Forestry and Agriculture in the Brazilian Amazon. *Forests*, 3(3), 546-572.
- Cardoso, A. S., Berndt, A., Leytem, A., Alves, B. J. R., de Carvalho, I. d. N. O., de Barros Soares, L. H., . . . Boddey, R. M. (2016). Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, 143, 86-96.
- Cederberg, C., Persson, U. M., Neovius, K., Molander, S., & Clift, R. (2011). Including Carbon Emissions from Deforestation in the Carbon Footprint of Brazilian Beef. *Environmental Science & Technology*, 45(5), 1773-1779.
- Cerri, C. C., Bernoux, M., Maia, S. M. F., Cerri, C. E. P., Costa Junior, C., Feigl, B. J., . . . Carvalho, J. L. N. (2010). Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agricola*, 67, 102-116.
- Cerri, C. C., Moreira, C. S., Alves, P. A., Raucci, G. S., de Almeida Castigioni, B., Mello, F. F. C., . . . Cerri, C. E. P. (2016). Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2593-2600.

- Cerri, C. E. P., Cerri, C. C., Maia, S. M. F., Cherubin, M. R., Feigl, B. J., & Lal, R. (2018). Reducing Amazon Deforestation through Agricultural Intensification in the Cerrado for Advancing Food Security and Mitigating Climate Change. *Sustainability*, 10(4).
- Cohn, A. S., Mosnier, A., Havlik, P., Valin, H., Herrero, M., Schmid, E., . . . Obersteiner, M. (2014). Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 111(20), 7236-7241.
- Cohn, A. S., VanWey, L. K., Spera, S. A., & Mustard, J. F. (2016). Cropping frequency and area response to climate variability can exceed yield response. *Nature Climate Change*, 6(6), 601-604.
- Corbeels, M., Marchao, R. L., Neto, M. S., Ferreira, E. G., Madari, B. E., Scopel, E., & Brito, O. R. (2016). Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. *Sci Rep*, 6, 21450.
- Costa Junior, C., Cerri, C. E., Pires, A. V., & Cerri, C. C. (2015). Net greenhouse gas emissions from manure management using anaerobic digestion technology in a beef cattle feedlot in Brazil. *Sci Total Environ*, 505, 1018-1025.
- de Matos Carlos, S., da Cunha, D. A., Pires, M. V., & do Couto-Santos, F. R. (2019). Understanding farmers' perceptions and adaptation to climate change: the case of Rio das Contas basin, Brazil. *GeoJournal*.
- de Oliveira Silva, R., Barioni, L. G., Hall, J. A. J., Moretti, A. C., Fonseca Veloso, R., Alexander, P., . . . Moran, D. (2017). Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. *Agricultural Systems*, 153, 201-211.
- De Oliveira Silva, R., Barioni, L. G., Queiroz Pellegrino, G., & Moran, D. (2018). The role of agricultural intensification in Brazil's Nationally Determined Contribution on emissions mitigation. *Agricultural Systems*, 161, 102-112.
- de Sant-Anna, S. A. C., Jantalia, C. P., Sá, J. M., Vilela, L., Marchão, R. L., Alves, B. J. R., . . . Boddey, R. M. (2016). Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108(1), 101-120.
- Dick, M., Abreu da Silva, M., & Dewes, H. (2015). Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil – Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 87, 58-67.
- Eakin, H. C., Lemos, M. C., & Nelson, D. R. (2014). Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change*, 27, 1-8.
- Escobar, H. (2019). Amazon fires clearly linked to deforestation, scientists say. 365(6456), 853-853.
- FAO. (2019). FAOSTAT data. Retrieved from <http://faostat.fao.org> on 10 June 2019
- Gibbs, H. K., Rausch, L., Munger, J., Schelly, I., Morton, D. C., Noojipady, P., . . . Walker, N. F. (2015). Brazil's Soy Moratorium. 347(6220), 377-378.
- Gutiérrez, A. P. A., Engle, N. L., De Nys, E., Molejón, C., & Martins, E. S. (2014). Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, 3, 95-106.
- Herwehe, L., & Scott, C. A. (2017). Drought adaptation and development: small-scale irrigated agriculture in northeast Brazil. *Climate and Development*, 10(4), 337-346.
- 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:
- Martha, G. B., Alves, E., & Contini, E. (2012). Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. *Agricultural Systems*, 110, 173-177.

- Martinelli, G. d. C., Schindwein, M. M., Padovan, M. P., Vogel, E., & Ruviaro, C. F. (2019). Environmental performance of agroforestry systems in the Cerrado biome, Brazil. *World Development*, *122*, 339-348.
- Millen, D. D., Pacheco, R. D. L., Meyer, P. M., Rodrigues, P. H. M., & De Beni Arrigoni, M. (2011). Current outlook and future perspectives of beef production in Brazil. *Animal Frontiers*, *1*(2), 46-52.
- Pires, G. F., Abrahão, G. M., Brumatti, L. M., Oliveira, L. J. C., Costa, M. H., Liddicoat, S., . . . Ladle, R. J. (2016). Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, *228-229*, 286-298.
- Ruviaro, C. F., de Léis, C. M., Lampert, V. d. N., Barcellos, J. O. J., & Dewes, H. (2015). Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*, *96*, 435-443.
- S, H., de Avila, A. M. H., & O, A. (2013). Challenges to Increased Soybean Production in Brazil. In *A Comprehensive Survey of International Soybean Research - Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships*.
- Santos, P. Z. F., Crouzeilles, R., & Sansevero, J. B. B. (2019). Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, *433*, 140-145.
- Silva, F. A. M., Naudin, K., Corbeels, M., Scopel, E., & Affholder, F. (2019). Impact of conservation agriculture on the agronomic and environmental performances of maize cropping under contrasting climatic conditions of the Brazilian Cerrado. *Field Crops Research*, *230*, 72-83.
- Simões, A. F., Kligerman, D. C., Rovere, E. L. L., Maroun, M. R., Barata, M., & Obermaier, M. (2010). Enhancing adaptive capacity to climate change: The case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. *Environmental Science & Policy*, *13*(8), 801-808.
- Strassburg, B. B. N., Latawiec, A. E., Barioni, L. G., Nobre, C. A., da Silva, V. P., Valentim, J. F., . . . Assad, E. D. (2014). When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, *28*, 84-97.
- zu Ermgassen, E., Alcântara, M., Balmford, A., Barioni, L., Neto, F., Bettarello, M., . . . Latawiec, A. (2018). Results from On-The-Ground Efforts to Promote Sustainable Cattle Ranching in the Brazilian Amazon. *Sustainability*, *10*(4).