

Auswirkungen des Klimawandels auf eine nachhaltige Ernährungssicherung mit Fallstudien in Kenia, Pakistan und Peru

Stefan Liersch und Christoph Gornott

22. November 2015



Im Auftrag der Welthungerhilfe



Inhaltsverzeichnis

1	Klimawandel und Ernährungssicherung als globale Herausforderungen	6
1.1	Klimawandel und globale Auswirkungen (IPCC, 5. Sachstandsbericht)	6
1.2	Globale Herausforderungen der Ernährungssicherung	7
1.3	Mögliche Einflüsse des Wetters, des Klimas, der natürlichen Variabilität und des Klimawandels auf die vier Säulen der Ernährungssicherung	10
1.3.1	Auswirkungen auf die Verfügbarkeit.....	10
1.3.2	Auswirkungen auf den Zugang	11
1.3.3	Auswirkungen auf die Nutzung	12
1.3.4	Auswirkungen auf die Stabilität	13
1.4	Vorwort zu den Länderkapiteln.....	14
2	Kenia.....	15
2.1	Klima.....	15
2.1.1	Historisches Klima	15
2.1.2	Klimaprojektionen	15
2.2	Ernährungssicherung.....	17
2.2.1	Ausreichende Verfügbarkeit.....	17
2.2.2	Sicherer Zugang zu Nahrungsmitteln	19
2.2.3	Bedarfsgerechte Verwendung und Verwertung der Nahrungsmittel.....	20
2.2.4	Zeitliche Beständigkeit	21
2.3	Handlungsbedarf	22
3	Pakistan	24
3.1	Klima und Hydrologie	24
3.1.1	Rezentes Klima und Hydrologie, Trends der letzten Jahrzehnte.....	24
3.1.2	Klimaprojektionen	26
3.2	Ernährungssicherung.....	28
3.2.1	Ausreichende Verfügbarkeit.....	30
3.2.2	Sicherer Zugang zu Nahrungsmitteln	31
3.2.3	Bedarfsgerechte Verwendung und Verwertung der Nahrungsmittel.....	32
3.2.4	Zeitliche Beständigkeit	32
3.3	Handlungsbedarf	33
4	Peru	36
4.1	Klima.....	37

4.1.1	Rezentes Klima, Trends der letzten Jahrzehnte, Charakterisierung der Besonderheiten (dürregeprägt, Extremereignisse etc.)	37
4.1.2	Klimaprojektionen	37
4.2	Ernährungssicherung.....	40
4.2.1	Ausreichende Verfügbarkeit.....	40
4.2.2	Sicherer Zugang zu Nahrungsmitteln	42
4.2.3	Bedarfsgerechte Verwendung und Verwertung der Nahrungsmittel.....	43
4.2.4	Zeitliche Beständigkeit	43
4.3	Handlungsbedarf	44
5	Fazit	46
5.1	Globaler Ausblick und Handlungsbedarf.....	46
5.2	Fazit: Fallstudienländer	48
6	Literatur	51
Anhang A	61
Anhang B: Kenia	64
Anhang C: Pakistan	67
Anhang D: Peru	70

Einleitung

Die Erreichung einer nachhaltigen und gerechten Ernährungssicherung der wachsenden Weltbevölkerung ist eine der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Das erste Ziel der Millennium Development Goals (MDG) – den prozentualen Anteil der Menschen die unter Hunger leiden bis 2015 zu halbieren – wurde zwar erreicht, doch es steht noch immer jedem Elften (795 Millionen) keine ausreichende Nahrung zur Verfügung (FAO, IFAD & WFP 2015)¹. 98% der unter Hunger leidenden Menschen leben in Entwicklungsländern (ODI 2014) und über 90% sind chronisch unterernährt (MDG 2013). Etwa zwei Milliarden Menschen leiden an einer Unterversorgung von lebenswichtigen Mikronährstoffen (Wheeler & von Braun 2013). Als Hauptursachen für Hunger werden strukturelle Defizite wie soziale, rechtliche und wirtschaftliche Missstände, ungleiche Machtstrukturen, Genderaspekte sowie ungleiche Verteilung von Wohlstand und Armut gesehen (Wheeler & von Braun 2013; Beese 2004). Aber auch Einzelsituationen wie Naturkatastrophen, politische Krisen und Konfliktsituationen sind wesentliche Faktoren und Auslöser mit oft nachhaltigen Effekten für die Ernährungssicherung.

Die landwirtschaftliche Produktion ist von zentraler Bedeutung für die Ernährungssicherung. 80% der globalen Produktion stammt von Familienbetrieben. 84% dieser Betriebe sind kleiner als 2 ha. Daher wird die Steigerung der Produktivität der kleinbäuerlichen Familienbetriebe als Schlüssel für die Hungers- und Armutsbekämpfung gesehen (FAO, IFAD & WFP, 2015, FAO, 2014). Neben Bewirtschaftungsmethoden und –kapazitäten (Arbeitskraft, Arbeitsmittel, Verfügbarkeit von Dünger und Saatgut etc.) hängt sie von Umweltbedingungen wie dem Klima, der Wasserverfügbarkeit, der Fruchtbarkeit der Böden etc. sowie deren Veränderungen und Variabilität ab. Im 5. Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC 2014a) wird geschildert, dass die bereits eingetretenen Klimaänderungen auf allen Kontinenten weitverbreitete Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme haben. Zu den beobachteten Veränderungen zählen unter anderem die Erwärmung der Atmosphäre und der Ozeane, der Rückgang der Schnee- und Eismengen sowie der Anstieg des Meeresspiegels. Auch Veränderungen im Auftreten von extremen Wetterereignissen, wie zum Beispiel der Zunahme von heißen Extremtemperaturen, Häufigkeiten von Extremniederschlägen in einigen Regionen oder dem Rückgang kalter Temperaturextrema, werden seit 1950 beobachtet (IPCC 2012).

In dieser Studie werden mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Ernährungssicherung in Kenia, Pakistan und Peru analysiert. Hierzu wird die aktuelle Situation der Ernährungssicherung in den drei Ländern in den Kontext von Klimaänderungssignalen globaler Klimamodelle und sozio-ökonomischer Entwicklungen gestellt. Die daraus resultierenden Bedrohungen und Chancen für die Ernährungssicherung werden herausgearbeitet, um den Handlungsbedarf zu untersuchen und gegebenenfalls zu verdeutlichen.

Eine rein regionale Betrachtung der Ernährungssicherung in den Ländern wäre jedoch in einer globalisierten Welt unvollständig, denn bereits heute decken etwa 16% der Weltbevölkerung ihren Bedarf an Agrarprodukten über den internationalen Handel (Fader et al. 2013). In der Mitte des 21. Jahrhunderts könnten es zwischen 1,5 und 6 Milliarden sein und der Klimawandel allein könnte den Bedarf des internationalen Handels um weitere 4% bis 16% erhöhen (Pradhan et al. 2014). Für Agrarimportländer bedeutet dies eine zunehmende Abhängigkeit von Weltmarktpreisen und Produktionsbedingungen in

¹ Die prozentuale Halbierung der unter Hunger leidenden Menschen ist jedoch größtenteils dem Bevölkerungswachstum und der veränderten Zählweise, als der tatsächlichen Reduktion der absolut unter Hunger leidenden Menschen geschuldet (Pogge 2015, Lappé et al 2013).

anderen Regionen. Wetterextremereignisse in bedeutenden Produktionsregionen, wie beispielsweise die Dürre in Russland im Jahr 2010, können steigende Weltmarktpreise, Preisspitzen oder starke Schwankungen auslösen (IPCC 2014b). Solche Phänomene könnten sich in Zukunft häufen, denn wetterbedingte Katastrophen haben sich in den vergangenen 30 Jahren bereits mehr als verdreifacht².

Neben klimabedingten Faktoren wirken auch ökonomische Interessen auf die Preisentwicklungen auf dem Weltmarkt, die in einer Gesamtdarstellung nicht fehlen dürfen. Hierzu zählen beispielsweise Terminmarktgeschäfte, Lagerhaltung und Handelsbedingungen³. Auch im Zusammenhang mit Klimaschutzzielen können Konflikte mit der Ernährungssicherung entstehen. Der vermehrte Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (Bioenergie, Werkstoffe) konkurriert dabei mit Landflächen für den Nahrungsmittelanbau (BMEL 2012).

Die Frage nach der zukünftigen Ernährungssicherung in den drei Fallstudienländern muss daher in den Kontext globaler Entwicklungen eingebunden werden. Hierzu werden im ersten Kapitel dieser Studie zunächst die Zusammenhänge zwischen Ernährungssicherung, Klima(änderungen), Ökonomie und Politik auf globaler Ebene erörtert. Die wachsende Weltbevölkerung sowie veränderte Ernährungsgewohnheiten könnten bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts zu einer Verdopplung des globalen Nahrungsmittelbedarfs führen (Wheeler & von Braun 2013; Tilman et al. 2011). Die Kapitel zwei bis vier befassen sich mit dem derzeitigen Stand der Ernährungssicherung in den drei Fallstudienländern Kenia, Pakistan und Peru. Dabei werden die neuesten Erkenntnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die vier Säulen der Ernährungssicherung in diesen Ländern dargestellt. An dieser Stelle sollte darauf hingewiesen werden, dass die Verfügbarkeit der Literatur, die sich mit den direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion bezieht, um ein Vielfaches höher ist, als die Literatur, die sich mit den, meist indirekten, Auswirkungen auf soziale und gesundheitliche Aspekte der Ernährungssicherung befasst. Im fünften Kapitel wird der Handlungsbedarf für eine nachhaltige Ernährungssicherung zusammengefasst und diskutiert.

² <http://www.munichre.com/de/media-relations/publications/company-news/2011/2011-11-11-company-news/index.html>

³ Terms of Trade: Austauschverhältnis zwischen importierten und exportierten Gütern eines Landes. Die Terms of Trade können sich z.B. verschlechtern, wenn die Preise der Importgüter schneller als die der Exportgüter steigen.

1. Klimawandel und Ernährungssicherung als globale Herausforderungen

1. Klimawandel und globale Auswirkungen (IPCC, 5. Sachstandsbericht)

Die globale Mitteltemperatur ist bereits heute um ca. 0,8°C höher als in vorindustrieller Zeit (IPCC 2014a). Der Klimawandel und die natürliche Variabilität des Klimas haben verschiedene regionale Konsequenzen, die sich in unterschiedlichen Trends von Temperatur- und Niederschlagsänderungen sowie deren Extrema zeigen. Die Übereinstimmung globaler Klimamodelle ist für Temperaturprojektionen wesentlich höher als für Niederschlagsprojektionen. Fakt ist, dass die Jahresmitteltemperaturen im Laufe des 21. Jahrhunderts auf allen Kontinenten, mit unterschiedlicher Ausprägung, ansteigen werden. Das Verhalten zukünftiger Niederschlagsmuster (Mittelwerte und Extrema) unterliegt, je nach Region, mehr oder weniger großen Unsicherheiten. Zu den Regionen mit großen Übereinstimmungen für zunehmende Trockenheit zählen beispielsweise der Mediterrane Raum, Zentral-Europa, Zentral-Nordamerika, Mexiko, Mittelamerika, der Nordosten Brasiliens und das westliche und südliche Afrika. Zunehmende Jahresniederschläge werden mit großer Übereinstimmung für Ostafrika, Indien, weite Teile Asiens, Nord-Europa und prinzipiell für die höheren Breiten projiziert (IPCC 2012, 2014a), siehe Abb. 1-1.

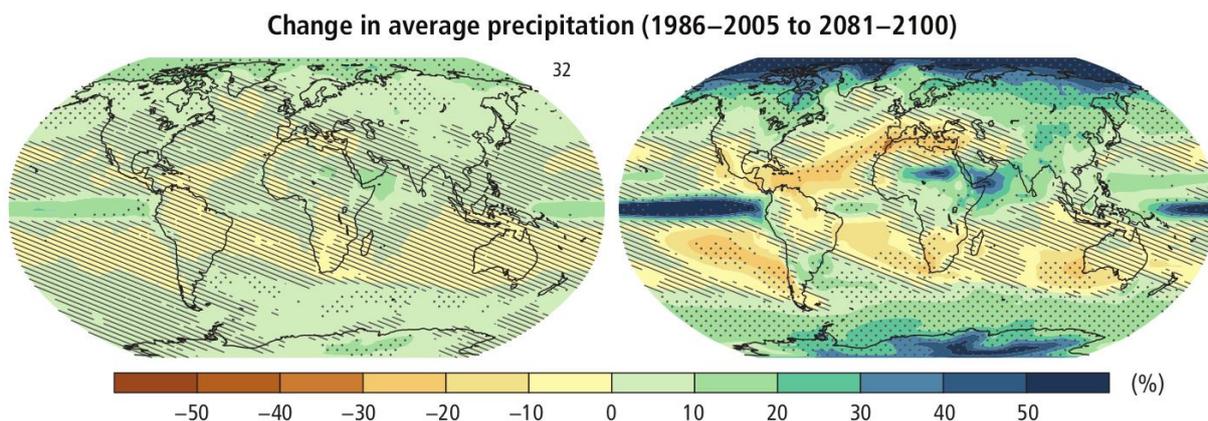


Abb. 1-1: Mittlere jährliche Niederschlagsänderungen des Mittels des CMIP5 Modelensembles (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) für die Periode 2081-2100 im Vergleich zu 1986-2005. Links: RCP2.6, rechts RCP8.5. Gepunktete Bereiche stellen Regionen dar, in denen die Übereinstimmung der Modelle bei 90% liegt und wo die Änderungssignale, verglichen mit der natürlichen Variabilität, hoch sind (>2 Standardabweichungen). In schraffierten Regionen ist die Änderung >1 Standardabweichung der natürlichen Variabilität. Quelle: IPCC (2014a).

Die Konsequenzen des Klimawandels zeigen sich u.a. bereits im Rückgang der Schnee- und Eismengen, im Anstieg des Meeresspiegels, in Veränderungen des Auftretens von extremen Wetterereignissen, wie zum Beispiel der Zunahme von heißen Extremtemperaturen, Häufigkeiten von Extremniederschlägen in einigen Regionen oder dem Rückgang kalter Temperaturextrema (IPCC 2012). Veränderungen im Auftreten von extremen Wetterereignissen werden seit 1950 beobachtet (IPCC 2012). Die Munich Re bestätigt das häufigere Auftreten von Extremereignissen und deren Schäden in den letzten drei Jahrzehnten. Demnach haben sich wetterbedingte Katastrophen in den vergangenen 30 Jahren mehr als verdreifacht⁴.

⁴ <http://www.munichre.com/de/media-relations/publications/company-news/2011/2011-11-11-company-news/index.html>

Die Auswirkungen eines ungebremsen Klimawandels, mit Temperaturerhöhungen von 3-5°C, im Vergleich zur vorindustriellen Zeit, werden als weitaus katastrophaler eingestuft, als bei einer Einhaltung des 2°C-Ziels. In einer 2°C-Welt können effektive Anpassungsmaßnahmen ökonomische Verluste teilweise abpuffern, deren Effektivität sinkt jedoch drastisch mit zunehmender Temperatur. Werden die heutigen politischen Strategien fortgesetzt, gibt es eine 40%ige Wahrscheinlichkeit, dass die 4°C-Marke am Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird und eine 10%ige Wahrscheinlichkeit, dass es sogar 5°C sein werden (World Bank 2014).

Aktuelle globale Klimamodelle simulieren in Szenarien einer 4°C-Welt ein beispielloses Auftreten von extremen Hitzeereignissen, Niederschlagsabnahmen in einigen Regionen bis zu 50% und Zunahmen von Starkregenereignissen in anderen Regionen. Die klimatischen Bedingungen einer 4°C-Welt würden zu großen Einbußen bei der landwirtschaftlichen Produktivität führen (IPCC 2014b), und weitreichende Konsequenzen für terrestrische und aquatische Ökosysteme haben, Gletscher in den Anden würden vermutlich restlos abschmelzen und der Meeresspiegel könnte zwischen 0,4m und 1,0m ansteigen (World Bank 2014). Allein der Meeresspiegelanstieg könnte am Ende des 21. Jahrhunderts verantwortlich für Verluste zwischen 0,3% und 9,3% des Welt-Bruttoinlandsproduktes sein (Hinkel et al. 2014). Multi-sektorale Auswirkungen werden ab einer Temperaturerhöhung von 2,8°C+ deutlich. Bei einer Erhöhung von ca. 3,8°C werden voraussichtlich 11% der Weltbevölkerung von mindestens zwei Sektoren (Wasser, Landwirtschaft, Ökosystem, Gesundheit) negativ betroffen sein (Piontek et al., 2014). Der Anteil der Weltbevölkerung, der zukünftig unter Wassermangel leiden wird, würde in einer 2,8°C-Welt um ca. 15% steigen. Die Anzahl der Menschen, die unter absolutem Wassermangel leiden (<500m³ pro Person und Jahr), würde sich dabei um 40-100% erhöhen (Schewe et al. 2014). Zukünftiger Wassermangel wird v.a. in Afrika und in Südwest Asien die Bedingungen verschlimmern, jedoch hauptsächlich durch das prognostizierte Bevölkerungswachstum und nur sekundär durch den Klimawandel (Gerten et al. 2011).

Absolute ökonomische Verluste durch wetter- oder klimabedingte und geophysikalische Ereignisse sind in den entwickelten Ländern höher als in Entwicklungsländern. In Relation zum BIP sind jedoch ökonomische Verluste in Entwicklungsländern höher (CDKN 2012). Zwischen 1970 und 2008 traten über 95%, der durch natürliche Katastrophen ausgelösten Todesfälle in Entwicklungsländern auf (IPCC 2012). Ursache hierfür ist die höhere Vulnerabilität der Bevölkerung in Entwicklungsländern gegenüber Extremereignissen aufgrund höherer Exponierung und geringeren Kapazitäten zur Anpassung.

2. Globale Herausforderungen der Ernährungssicherung

Heute leidet etwa jeder elfte Mensch unter Hunger (FAO, IFAD & WFP, 2015). Von den 795 Millionen hungerleidenden Menschen leben 98% in Entwicklungsländern (ODI, 2014). Dies beschreibt aber nur die kalorische Verfügbarkeit von Nahrung. Die Zahl der unter Mangelernährung (verstecktem Hunger), also unter Vitamin- und Mikronährstoffmangel, leidenden Menschen wird auf gut zwei Milliarden geschätzt (Wheeler & von Braun, 2013).

Ernährungssicherheit ist nach der international anerkannten FAO-Definition „auf nationaler, regionaler und Haushaltsebene erreicht, wenn für alle Menschen zu jeder Zeit der physische, soziale und wirtschaftliche Zugang zu quantitativ und qualitativ angemessenen und sicheren Nahrungsmitteln gewährleistet ist, um ein gesundes und aktives Leben zu ermöglichen“ (FAO 2002). Neben dem Zugang zu und der Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln, rücken der individuelle Nahrungsmittelkonsum sowie der Er-

nährungszustand stärker in den Fokus des internationalen Diskurs zu einer nachhaltigen Ernährungssicherheit. Die mangelnde Aufnahme von Proteinen, Mineralstoffen und Vitaminen führen zu unterschiedlichen Formen der Mangel- und Unterernährung mit langfristigen Entwicklungsdefiziten für Individuen (UNICEF 2013a).

Die unterschiedlichen Formen der Mangel- und Unterernährung können erst dann überwunden werden, wenn neben der Verfügbarkeit von und dem Zugang zu Nahrungsmitteln auch der Nahrungsbedarf an die speziellen Bedürfnisse unterschiedlicher Haushaltsmitglieder angepasst ist (z.B. Säuglinge, Kleinkinder oder Schwangere), Ernährungsgewohnheiten dem physiologischen Bedarf entsprechen, Krankheiten die Nahrungsverwertung nicht beeinträchtigen, Nahrung angemessen zubereitet wird und Ressourcen (Energie, Trinkwasser etc.) zur Zubereitung der Nahrung zur Verfügung stehen.

Der Grundstein der Ernährungssicherung ist die landwirtschaftliche Produktion von Nahrung. Häufig ist gerade in den Regionen, in denen die Ernährungssicherheit nicht gewährleistet ist, die Nahrungsproduktion auf einem sehr niedrigen Niveau und damit deutlich unter ihrem Potenzial. Die Steigerung der Produktivität, speziell von kleinbäuerlichen Familienbetrieben, wird von FAO, IFAD & WFP (2015) als Schlüssel für die Hungers- und Armutsbekämpfung gesehen. Da die Landwirtschaft sehr stark vom Klima abhängig ist, sind Produktivitäts- und Produktionssteigerungen durch den Klimawandel gefährdet.

Ursachen für Ernährungsunsicherheit sind vorwiegend strukturelle Defizite in sozialen, rechtlichen und wirtschaftlichen Bereichen (Wheeler & von Braun, 2013), die die Kapazitäten für Anpassungsmöglichkeiten und grundlegende Lebensmittelsysteme einschränken. Besonders offensichtlich werden solche Missstände in akuten Krisensituationen. Hierzu zählen beispielsweise bewaffnete Konflikte, die häufig Auslöser von Hungersnöten sind (von Grebmer et al. 2015). Hinzu kommen oft erschwerende äußere Rahmenbedingungen, wie die geringe Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen oder extreme Umwelt- und Klimabedingungen, die häufig zusammen mit einer geringen Effizienz der Bewirtschaftung negativ auf die Nahrungsmittelproduktion wirken. Gekoppelt mit einem hohem Bevölkerungswachstum und chronischer Armut entstehen Situationen erhöhter Verwundbarkeit der Ernährungssituation von ländlichen Bevölkerungsgruppen gegenüber wetterbedingten Extremereignissen, wie z.B. Dürren und Überflutungen.

Ernstzunehmende Einflussfaktoren der Ernährungssicherung sind zudem die Entwicklungen und Schwankungen der Grundnahrungsmittelpreise auf dem Weltmarkt. Die Risiken und Vorteile niedriger oder hoher Nahrungsmittelpreise sind differenziert zu betrachten und es sollte zwischen kurz- und langfristigen Effekten unterschieden werden. Wo größere landwirtschaftliche Betriebe kurzfristig von hohen Preisen profitieren können, da sie in der Regel einen Überschuss produzieren und verkaufen können, sind Subsistenzwirtschaftler tendenziell negativ betroffen, weil sie größtenteils zu den Konsumenten zählen, die auf einen Zukauf von Nahrungsmitteln angewiesen sind (FAO 2011). Hohe Preise tragen somit tendenziell zu Armut, Nahrungsunsicherheit und Unterernährung bei. Langfristig könnten hohe Preise jedoch zu öffentlichen und privaten Investitionen im Agrarsektor führen und somit eine nachhaltige Ernährungssicherung fördern. Andererseits sind arme Kleinbauern eher weniger risikobereit und setzen auf überschaubare und weniger langfristige Strategien, um ihre Existenz zu sichern. Auf makroökonomischer Ebene profitieren Agrarexportländer von hohen Preisen, Importländer von niedrigen Preisen (FAO 2011).

Stark schwankende Preise von Grundnahrungsmitteln mit kurzfristigen Preisspitzen machen hauptsächlich Kleinbauern und arme Konsumenten verletzlich gegenüber langfristigen Armutsfällen (FAO 2011). Auslöser für Preisspitzen können Wetterextremereignisse sein, die in einer Hauptproduktionsregion zu großen Ertragsausfällen führen können, wie z.B. während der Dürren in Australien im Jahr 2007 oder 2010 in Russland (IPCC 2014b). Russland verhängte zudem im Jahr 2010 ein Exportverbot für Weizen. Seit dem Erscheinen des 4. Sachstandsberichts des IPCC im Jahr 2007 haben Wetterextremereignisse einen Beitrag zu steigenden Nahrungsmittelpreisen bzw. Preisspitzen geleistet und somit gezeigt, dass Weltmarktpreise sensibel gegenüber wetterbedingten Extremereignissen sind (IPCC 2014b). Außerdem wird beobachtet, dass Nahrungsmittelpreise zunehmend mit den Schwankungen des Rohölpreises korreliert sind (IPCC 2014b). Hohe Rohölpreise, die u.a. mit Angebot und Nachfrage von Biokraftstoffen zusammenhängen, haben höhere Produktionskosten zur Folge (Maschinen, Dünger, Transport etc.). Laut Gilbert (2008) ist die Nachfrage von Biokraftstoffen die Hauptursache für hohe Nahrungsmittelpreise. Hauptgründe für temporäre Preisspitzen von Nahrungsmitteln auf dem Weltmarkt sind dagegen Spekulationsgeschäfte (Lagi et al. 2011).

Obwohl der globale Nahrungsmittelhandel die Ernährungssicherung gegenüber lokalen Ernteeinbußen verbessern kann, besteht auch die Möglichkeit, dass einige Regionen in gesteigerte Importabhängigkeit geraten und somit vulnerabler gegenüber Wetterextremen in anderen Regionen werden (World Bank 2014).

Das ganzheitliche Konzept der Ernährungssicherung basiert auf stabilen Lebensmittelsystemen und orientiert sich an dem Zusammenwirken der vier Säulen der Ernährungssicherheit (FAO): 1. Eine ausreichende *Verfügbarkeit* an Nahrungsmitteln, 2. ein sicherer *Zugang* zu Nahrungsmitteln, 3. eine bedarfsgerechte *Nutzung* (Verwendung und Verwertung) der Nahrung und 4. die *Stabilität* der zeitlichen Beständigkeit der ersten drei Säulen (siehe Abb. 1-2).

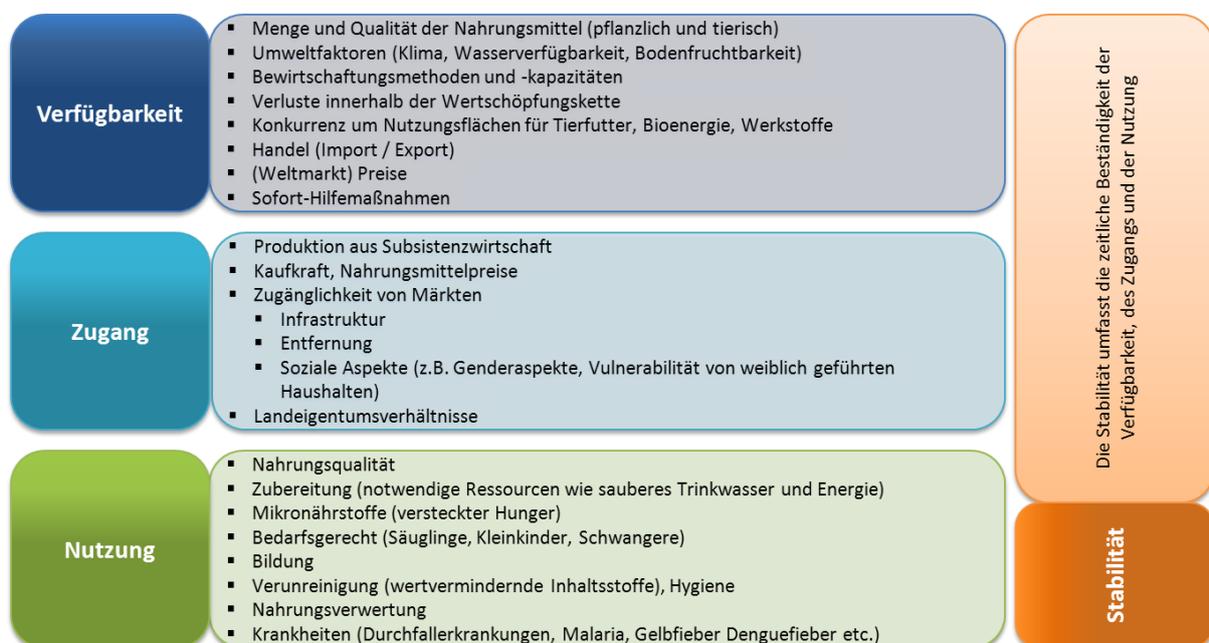


Abb. 1-2: Merkmale der vier Säulen der Ernährungssicherung

3. Mögliche Einflüsse des Wetters, des Klimas, der natürlichen Variabilität und des Klimawandels auf die vier Säulen der Ernährungssicherung

Das Wetter, dessen Variabilität sowie langfristige Änderungsmuster (Klimawandel) haben direkte und indirekte Auswirkungen auf die Ernährungssicherung (ODI 2014), wobei diese nicht immer eindeutig voneinander zu trennen sind. Klimatische Bedingungen wirken direkt auf die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen und auf die landwirtschaftliche Produktivität sowie die Qualität der Erzeugnisse, die durch Wasser- und Temperaturstress aber auch erhöhte CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre beeinflusst werden. Im Grunde genommen liegt genau hier die Schnittstelle an der die Klimawirkungen im Sinne von Entwicklung, Armut, Gesundheit und Ernährungssicherheit, insbesondere auf den ärmsten Teil der Weltbevölkerung, übertragen werden (ODI 2014). Indirekte Wirkungsmechanismen, die sich hauptsächlich auf nicht-produktive Elemente der Ernährungssicherung beziehen, sind schwieriger nachweisbar und, verglichen mit der zur Verfügung stehenden Literatur zu Klimawirkungen auf Produktion und Verfügbarkeit, weitaus weniger erforscht (IPCC 2014b).

Die Abb. 1-3 fasst die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf die vier Säulen der globalen Ernährungssicherung zusammen, die in den folgenden vier Abschnitten detaillierter beschrieben werden.

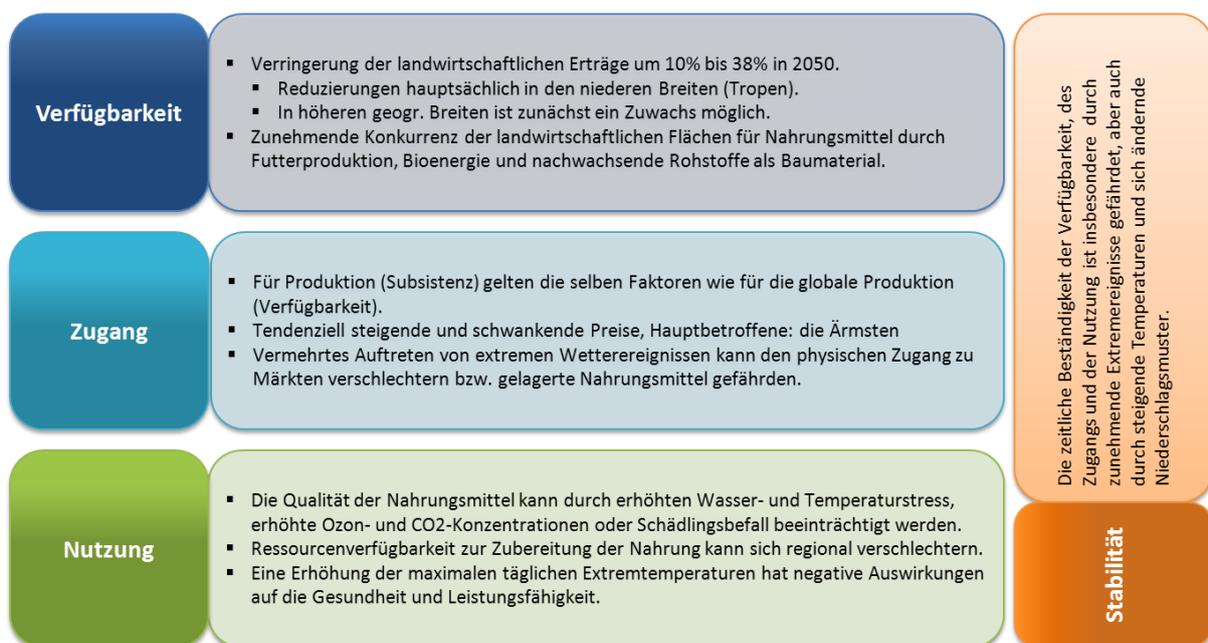


Abb. 1-3: Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf die vier Säulen der globalen Ernährungssicherung.

1. Auswirkungen auf die Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln kann als Basis der vier Säulen der Ernährungssicherung gesehen werden (Sen 1981, Schmidhuber 2007). Die Säule der Verfügbarkeit beinhaltet zum einen die Produktionsmenge, aber auch die Zusammensetzung der Nahrung an nutritiven Inhaltstoffen, also deren Qualität (Wheeler & von Braun 2013). Produktionsmenge und -qualität werden durch Umweltfaktoren wie dem Klima, der Wasserverfügbarkeit und der Bodenfruchtbarkeit sowie von der Bewirtschaftung (landwirtschaftliche Praxis, Arbeitskraft, Verfügbarkeit von Dünger, Saatgut, Arbeitsmaterial etc.) beeinflusst (West et al. 2014, Myers et al. 2014).

Die zukünftigen Änderungen klimatischer Bedingungen (höhere Temperaturen, Veränderungen von Niederschlagsmustern, Änderungen im Auftreten von Extremwerten und -ereignissen) werden regional unterschiedliche Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion haben. Global betrachtet wird der Klimawandel zu verringerten Erträgen führen (IPCC, 2014b; Wheeler & von Braun 2013). Müller & Robertson (2014) schätzen, dass die Verluste in der Mitte des 21. Jahrhunderts zwischen 10% und 38% liegen. Regionen in den höheren geographischen Breiten sowie temperaturlimitierte Bergregionen könnten zunächst durch verlängerte Vegetationsperioden eine Erhöhung der Produktivität erfahren. Durch ansteigende CO₂-Gehalte in der Atmosphäre kann durch den „CO₂-Düngeeffekt“ ein Ertragsanstieg erzielt werden, den sich jedoch nicht alle Pflanzen zu Nutze machen können und der auch zu Qualitätsverminderung führen kann (Long et al. 2006; Myers et al. 2014). Die niederen Breiten, v.a. tropische Regionen, werden dagegen zunehmend eine Reduzierung der Erträge erfahren. Am härtesten werden demnach Regionen vom Klimawandel betroffen sein, die bereits heute durch Hunger bedroht sind (Wheeler & von Braun 2013).

Die Produktivität der Futterproduktion für die Nutztierhaltung sowie natürliche Weideländer sind von klimatischen Änderungen ebenso betroffen wie die Produktivität landwirtschaftlicher Erzeugnisse für den direkten menschlichen Verzehr. Wasser- und Temperaturstress wirkt sich nachteilig auf den gesundheitlichen Zustand der Nutztiere (und deren Produktivität) aus (IPCC 2014b; Wheeler & von Braun 2013).

Neben den Einflüssen auf die Agrarproduktion, wirkt das Wetter und das Klima auf die Binnen- sowie Hochseefischerei. Es ist jedoch schwierig zwischen klima- und nicht-klimabedingten Faktoren zu unterscheiden (IPCC 2014b). Neben klimatischen Faktoren, die direkt auf die Ozeanversauerung, die Wassertemperaturen und den Sauerstoffgehalt wirken, sind anthropogene Faktoren wie die Veränderungen von Habitaten, Verschmutzung, Überfischung etc. von großer Bedeutung. Etwa 500 Millionen Menschen beziehen Nahrung und andere Güter aus Korallenriffen und ca. 60% der Riffe sind hauptsächlich wegen Überfischung stark gefährdet (IPCC 2014b). Wenn die Gefahren des Klimawandels mit einbezogen werden, steigt der prozentuale Anteil der gefährdeten Riffe auf 75% (IPCC 2014b).

2. Auswirkungen auf den Zugang

Die zweite Säule der Ernährungssicherung umfasst hauptsächlich ökonomische und strukturelle Komponenten. Einen wesentlichen Beitrag zum Zugang zu Nahrungsmitteln kann die eigene Produktion (Subsistenzwirtschaft) leisten. Es gelten hier die gleichen Faktoren (Umwelt und Bewirtschaftung) wie für die Verfügbarkeit. Unklare Landeigentumsverhältnisse in vielen Entwicklungsländern wirken sich nachteilig auf die eigene Produktion aus (Wheeler & von Braun 2013).

Je weniger Nahrungsmittel für den Eigenbedarf produziert werden, desto mehr müssen dazu gekauft werden. Die Kaufkraft ist somit ein zentrales Element dieser Säule. Da Nahrungsmittelpreise den Erwerb und somit den Zugang zu Nahrungsmitteln beeinflussen, hat das Klima zumindest einen indirekten Einfluss (Wheeler & von Braun 2013). Hauptsächlich betroffen von hohen und instabilen Preisen ist hier der ärmste Teil der Weltbevölkerung, da dieser einen überproportionalen Anteil des Einkommens für Nahrungsmittel aufwenden muss (IPCC 2014b). Diese Problematik betrifft zunehmend mehr

Menschen, die in urbanen Ballungsräumen in der Regel vollständig vom Nahrungsmittelerwerb abhängig sind. Im Jahr 2014 lebten bereits 54% der Weltbevölkerung in Städten, im Jahr 2050 werden es vermutlich 66% sein⁵.

Hauptsächlich in ländlichen Regionen ist die Zugänglichkeit von Märkten oft stark eingeschränkt. Dies kann sowohl die Entfernung als auch den Zustand der Infrastruktur (abgesicherte Straßenverläufe und Brücken, sturmfeste Lagerhäuser und Verarbeitungshallen etc.) betreffen. Wetterbedingte Extremereignisse können starke Schäden an der Infrastruktur verursachen und zeitweise Dörfer von der Außenwelt abschneiden.

Sich ändernde Klimabedingungen können einen Migrationsdruck (hauptsächlich auf die männliche Bevölkerung) ausüben. Somit vermehren sich die Aufgaben für Frauen, die weniger Zeit für familiäre Verpflichtungen haben. Kinder, hauptsächlich Mädchen, müssen diese Defizite oft kompensieren und können evtl. nicht weiter zur Schule gehen (Oxfam, 2013).

3. Auswirkungen auf die Nutzung

Bei der Nutzung von Nahrungsmitteln spielen sowohl ökonomische Aspekte, wie der Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser und Energie zur Zubereitung der Nahrung, als auch soziale und kulturelle Aspekte, wie Bildung, Gesundheit und Gleichberechtigung, eine zentrale Rolle. Bezüglich der Nahrungsmittelqualität stellen Burke & Lobell (2010) folgende drei Kernfragen: Enthält die Nahrung ausreichende Energie, Proteine und Mikronährstoffe für ein gesundes und produktives Leben? Ist die Nahrung sicher, frei von Schadstoffen? Ist der Konsument gesund genug, um alle Nährstoffe aufzunehmen? Klimatische Bedingungen können auf drei Wegen die Mikronährstoffzufuhr beeinflussen (Burke & Lobell 2010):

- Durch veränderte Erträge (Abhängigkeit der 1. Säule Produktion/Verfügbarkeit).
- Durch die Qualität der Erzeugnisse, die wetterbedingt beeinträchtigt sein kann, z.B. durch Wasser- und Temperaturstress, erhöhte Ozon- und CO₂-Konzentrationen oder Schädlingsbefall auf dem Feld bzw. bei der Lagerung.
- Durch Entscheidungen über die Wahl der angebauten Erzeugnisse mit unterschiedlichen Werten für die Ernährung (die u.U. an sich veränderte klimatische Bedingungen angepasst werden müssen).

Auch mangelnde Bildung und/oder der Mangel an Ressourcen sowie schlechte sanitäre Bedingungen können zu ungenügender Qualität der Nahrung führen. Dieselben Argumente gelten für die Zubereitung bedarfsgerechter Nahrung. Unzureichende Qualität und Menge können, vor allem bei Säuglingen, Kleinkindern und Schwangeren, zu Mangelerscheinungen (Mikronährstoffe, chronische Unter- und Mangelernährung) und hoher Kindersterblichkeit führen.

Mangel- und Unterernährung führt zu höherer Anfälligkeit gegenüber Krankheiten, die zu verringerter Aufnahme von Nährstoffen führen können. Insbesondere viele Tropenkrankheiten (z.B. Malaria, Denguefieber, Gelbfieber, Schistosomiasis.) schränken die Leistungsfähigkeit vieler Menschen ein, die dann teilweise nur einen geringen Beitrag zum Nahrungserwerb des Haushalts leisten können. Tödliche Durchfallerkrankungen, hauptsächlich in Entwicklungsländern, stehen oft in Verbindung mit extremen oder schwierigen klimatischen Bedingungen (hohe Temperaturen, Dürren, Überflutungen), die

⁵ <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>

negativ auf sanitäre und hygienische Bedingungen wirken und das Vorhandensein notwendiger Ressourcen, wie sauberem Trinkwasser, limitieren (ODI 2014; Wheeler & von Braun 2013; Burke & Lobell 2010). Tropische Krankheiten, wie Malaria, werden sich unter veränderten Klimabedingungen in Gebiete ausbreiten können, in denen sie heute nicht anzutreffen sind.

Über die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen sowie der menschlichen Gesundheit, die indirekte soziale Konsequenzen zur Folge haben, wirkt der Klimawandel direkt auf die 3. Säule der Ernährungssicherung. Soziale Aspekte, wie (Ressourcen-)Konflikte, Menschenrechte, Gleichberechtigung, Einkommen etc. können direkt oder indirekt betroffen sein, wenn sich klimatische Bedingungen negativ auf die Umwelt auswirken (ODI 2014).

4. Auswirkungen auf die Stabilität

Die Stabilität der Ernährungssicherung ist eine Säule, die übergreifend die zeitliche Beständigkeit der Verfügbarkeit, des Zugangs und der Nutzung hinsichtlich ihrer Verwundbarkeit (Vulnerabilität) und Belastbarkeit (Resilienz) vereint. In diesem Zusammenhang teilen Krishnamurthy et al. (2014) die Vulnerabilität in Gefährdung, Sensitivität und die Möglichkeit zur Anpassung (Adaptation) ein. Zu den Gefährdungen zählen beispielsweise die Auswirkungen des Klimawandels, die zu vermehrtem Auftreten von Dürren, Stürmen und Überflutungen führen können. Die Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Produktion im Regenfeldbau ist ein Aspekt der Sensitivität gegenüber dem Wetter. Das Vorhandensein von Bewässerungssystemen verringert diese Sensitivität und die Einführung oder Erweiterung des Bewässerungsfeldbaus kann somit auch als Anpassungsmaßnahme verstanden werden. Ob und inwiefern Anpassungsmethoden umgesetzt werden, hängt wiederum von politischen und ökonomischen Bedingungen ab.

Die zeitliche Beständigkeit der Ernährungssicherung ist gegeben, wenn an jedem Tag im Jahr Nahrung in ausreichender Menge und in ausreichender Qualität verfügbar ist. Die Produktionsseite der zeitlichen Verfügbarkeit kann durch klimatische Faktoren, z.B. Regen- und Trockenzeit, Sommer und Winter, saisonal beschränkt sein. Zudem können wetterbedingte Extremereignisse zu Ernteausfällen führen. Wo nicht ganzjährig produziert werden kann, muss diese saisonale Lücke durch die Lagerung von Nahrungsmitteln und der Verfügbarkeit auf den Märkten kompensiert werden. Nahrungsmittelpreise unterliegen oft den ökonomischen Gesetzen von Angebot und Nachfrage und können deutlichen Schwankungen unterliegen, die es hauptsächlich den ärmsten Menschen nicht immer ermöglicht, Nahrung in ausreichender Menge zu jeder Zeit zu erwerben. Der Zugang zu den Märkten kann ebenfalls saisonal oder extremereignisbedingt deutlich eingeschränkt bzw. unmöglich sein.

Auch die Bedingungen für die Nutzung von Nahrungsmitteln können saisonal im Jahresverlauf stark schwanken. Dies betrifft beispielsweise die Verfügbarkeit der notwendigen Ressourcen für die Zubereitung der Nahrung (z.B. sauberes Trinkwasser), aber auch hygienische und gesundheitliche Zustände.

Extremereignisse, für deren zunehmendes Auftreten mehr und mehr Anzeichen und Beweise bestehen (IPCC 2012), können durch den Verlust von Infrastruktur (Elektrizität, sanitären Einrichtungen und sauberem Trinkwasser, Transport etc.) sehr langfristige Konsequenzen für die wirtschaftliche und ernährungssichernde Stabilität nach sich ziehen (IPCC 2014b; Wheeler & von Braun 2013). Auch sechs Monate nach der katastrophalen Überflutung in Pakistan im Jahr 2010, berichteten beispielsweise 88% der Haushalte Einkommensdefizite von bis zu 50% (Kirsch et al. 2012).

4. Vorwort zu den Länderkapiteln

Für die folgenden drei Länderkapitel wurden Niederschlags- und Temperaturprojektionen von 18 Globalen Klimamodellen (GCMs) ausgewertet und grafisch dargestellt. Diese Modellsimulationen bildeten die Grundlage des 5. Sachstandsberichts des Weltklimarates (IPCC 2014a). Die entsprechenden Abbildungen in den Länderkapiteln stellen die mittleren Änderungen des gesamten Modellensembles für zwei Szenarien und zwei Zeiträume dar. Bei den Klimaszenarien handelt es sich um das RCP2.6 und RCP8.5. RCP steht für Representative Concentration Pathways (Repräsentative Konzentrationspfade) (Meinshausen et al. 2011; van Vuuren et al. 2011). Die Zahlen 2.6 und 8.5 bezeichnen den Pfad des Strahlungsantriebs in W/m^2 für die Klimamodelle, der bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird. Im RCP2.6 wird für das Jahr 2100 eine Treibhausgaskonzentration von 400 ppm CO_2 -Äquivalent (geringe Konzentration) und im RCP8.5 1370 ppm CO_2 -Äquivalent (sehr hoch) angenommen. Dazwischen gibt es zusätzlich die RCPs 4.5 und 6.0, die nicht in dieser Studie ausgewertet wurden. Mit der Auswahl der RCPs 2.6 und 8.5 wird somit die komplette Bandbreite der Szenarien abgedeckt. Das RCP2.6 beschreibt ein sehr optimistisches Szenario, bei dem das $2^\circ C$ -Ziel (globale Mitteltemperaturen unter $2^\circ C$ gegenüber der vorindustriellen Zeit) eingehalten werden kann. Im RCP8.5 liegen die globalen Mitteltemperaturen hingegen um etwa $+5^\circ C$ höher als in vorindustrieller Zeit. Bis knapp zur Mitte des 21. Jahrhunderts liegen die Trends für Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen, global betrachtet, in beiden Szenarien in der Regel relativ dicht beieinander, beschreiten nach 2040 jedoch sehr unterschiedliche Pfade. Regional können aber auch schon vor 2040 unterschiedliche Entwicklungen erkennbar sein.

In den Abbildungen werden die Temperatur- und Niederschlagsänderungen der beiden zukünftigen Perioden 2030-2059 und 2070-2099 mit dem Referenzzeitraum 1970-1999 verglichen. Somit können die Änderungen der nahen und fernen Zukunft abgeschätzt werden, um kurz- bis mittelfristige sowie langfristige Anpassungsmaßnahmen in Betracht ziehen zu können.

2. Kenia

In Kenia leben zurzeit 44 Millionen Menschen (Stand 2012). Nach den Szenarien der Vereinten Nationen wird die kenianische Bevölkerung bis 2030 um 75% auf 77 Millionen Einwohner steigen und sich bis 2050, mit etwa 97 Millionen Einwohnern, mehr als verdoppeln (UNDP 2013). Beim Human Development Index (HDI) liegt Kenia auf dem 147. von 187 Plätzen (UNPD 2014). Auf dem Welthungerindex wird die Situation als „ernst“ eingestuft (Von Grebmer et al. 2014). Der landwirtschaftliche Sektor, in dem 75% der Bevölkerung beschäftigt sind, erwirtschaftet 30% des BIP, das 1300 US\$ pro Einwohner und Jahr entspricht (World Bank 2015, ILO 2009). Im Norden Kenias sind hauptsächlich pastorale Systeme weit verbreitet. Dies sind die trockeneren Regionen, die in der Vergangenheit immer wieder von Dürren und Hungersnöten betroffen waren. Insgesamt leiden in Kenia mehr als 10 Millionen Menschen an unzureichender Ernährung und chronischer Ernährungsunsicherheit und zwischen zwei und vier Millionen sind permanent auf Nahrungsmittelhilfe angewiesen. Bei Kindern unter fünf Jahren beträgt die Unterentwicklung (Stunting) 35% (UNICEF 2013b). Karten zur Topographie und den agrarökologischen Zonen des Landes befinden sich im Anhang B.



1. Klima

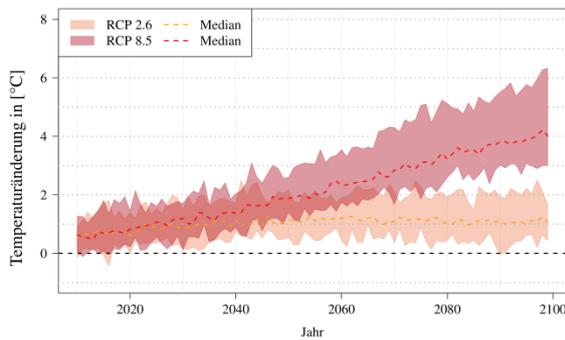
1. Historisches Klima

In Kenia herrschen aride bis humide Klimabedingungen. Insgesamt variiert die Niederschlagsmenge von weniger als 300 mm im Norden bis über 1100 mm am Viktoriasee. Die Regionen um den Viktoriasee eignen sich daher sehr gut für den Ackerbau. In den ariden Gebieten im Norden sind eher pastorale Systeme (Ziegen und Rinderhaltung) vertreten (Moore et al. 2012). Der Niederschlag fällt in zwei mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Regenzeiten, näherungsweise von März bis Juni und von September bis Dezember. Vor allem Abklingen und Länge der Regenzeit haben deutliche regionale Muster (Mugalavai et al. 2008). Da Kenia am Äquator liegt, variieren die Temperaturen weniger stark (13-28°C Durchschnittstemperatur). Dennoch gibt es eine gewisse Saisonalität mit den kältesten Temperaturen im Juli/August und den wärmsten Temperaturen im Februar/März. In den trockenen Regionen gefährden Dürren, Sandstürme, Sturzfluten, Flächenbrände und Hitzewellen (Middleton et al. 2013) die vier Säulen der Ernährungssicherung.

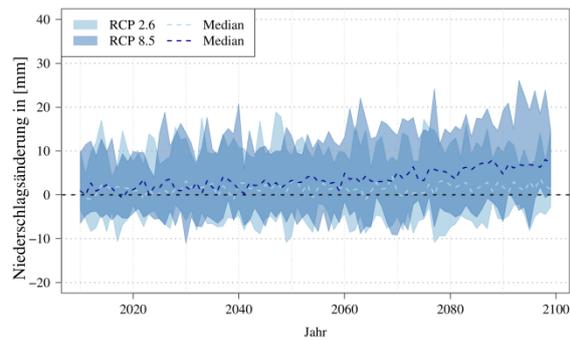
2. Klimaprojektionen

Die folgenden Grafiken basieren auf Projektionen zweier Klimaszenarien (RCP2.6 und RCP8.5) von 18 GCMs für Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen in Kenia. Der Zeitraum 1970-1999 dient als Referenz für den Vergleich der beiden zukünftigen Perioden 2030-2059 und 2070-2099. Weitere Informationen zu den Klimaszenarien sind im Kapitel 1.4 und weitere Abbildungen im Anhang B zu finden.

Die Abb. 2-1 zeigt die Spanne der möglichen Entwicklungen der mittleren Jahrestemperaturen und –niederschläge als Gebietsmittel für Kenia. In der Mitte des 21. Jahrhunderts kann mit einer Erhöhung der Temperaturen um 1,0°C bis 2,0°C im Vergleich zur Referenzperiode (1970-1999) gerechnet werden. Am Ende des 21. Jahrhunderts liegt die Spanne zwischen 1,0°C und fast 4,0°C. Für die Ermittlung der Temperaturerhöhung zur vorindustriellen Zeit müssen etwa 0,7°C dazu addiert werden. Die Summen der mittleren Jahresniederschläge zeigen hingegen keinen signifikanten aber tendenziell leicht positiven Trend, der hauptsächlich in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts unter RCP 8.5 deutlich wird.



a) Jährliche Temperaturänderungen



b) Jährliche Niederschlagsänderungen

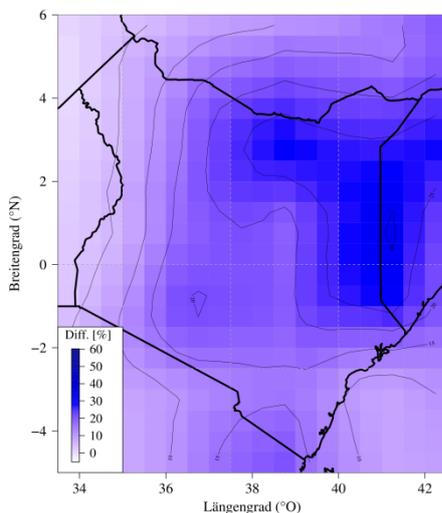
Abb. 2-2: Projektion jährlicher Temperatur- (a) und Niederschlagsänderungen (b) relativ zum jährlichen Mittel in der Referenzperiode (1970-1999) basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

Tabelle 2-1 zeigt die projizierten Temperaturänderungen für die beiden RCPs und Zeiträume. In allen Teilen des Landes wird ein Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen erwartet, der sich tendenziell von West nach Ost entwickelt (siehe Abb. 6-2 im Anhang B).

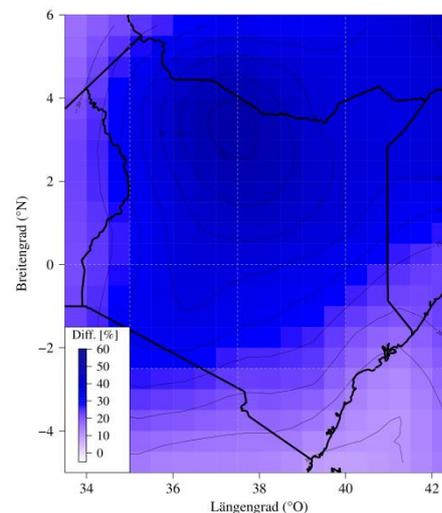
Tabelle 2-1: Temperaturprojektionen

Szenario	2030-2059	2070-2099
RCP 2.6	+1.1 – 1.3°C	+1.1 – 1.3°C
RCP 8.5	+1.5 – 1.8°C	+3.4 – 3.9°C

Abb. 2-1 und Tabelle 2-2 zeigen die Änderungen der mittleren Jahresniederschläge in Kenia. Im Landesmittel ist die Entwicklung in allen Zeiträumen und Szenarien positiv aber räumlich differenziert. Im Zeitraum 2030-2059 ist die Zunahme im Westen des Landes besonders hoch. Im Zeitraum 2070-2099 hingegen steigen die Niederschläge am deutlichsten im Norden des Landes.



c) RCP 8.5 (2030-2059)



d) RCP 8.5 (2070-2099)

Abb. 2-1: Jährliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

Tabelle 2-2: Niederschlagsprojektionen

Szenario	2030-2059	2070-2099
RCP 2.6	+10.0 – 25.0%	+5.0 – 15.0%

2. Ernährungssicherung

1. Ausreichende Verfügbarkeit

Aktuelles Ertragsniveau und Ertragslücke

Von der gesamten kenianischen Fläche werden 46% landwirtschaftlich und 9% als Ackerland genutzt (World Bank 2015). Nach Einschätzung von Fischer und Shah (2010) sind 25% der kenianischen ungeschützten Gras- und Buschlandfläche (kein Wald) sehr gut oder gut für die ackerbauliche Nutzung geeignet. Auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden zu ca. 45% Mais⁶ und 20 % Bohnen angebaut, d.h. zwei Drittel der Fläche wird allein für diese beiden Kulturen genutzt (FAO Country Stat 2015). Auf der restlichen Landfläche werden viele unterschiedliche Kulturen wie Tee, Kuhbohne, Sorghum, Kartoffeln, Straucherbse, Weizen und Kaffee angebaut (FAO Country Stat 2015) [alle Kulturen mit über 100.000 ha Fläche, Reihenfolge für das Jahr 2013]. Die Erträge von Mais liegen bei 1,6 t/ha, die von Bohnen bei 0,5 t/ha (FAO Stat 2015). Im Jahr 2013 betrug die kenianische Maisproduktion 3,4 Millionen Tonnen (FAO Stat 2015), die zu 75% von Kleinbauern produziert wurde. Neben dem Mais ist die Kartoffel ein weiteres wichtiges Grundnahrungsmittel. Die Kartoffel erreicht Erträge von 7-10 t/ha und leistet damit einen substanziellen Beitrag zur Ernährungssicherung in Kenia (Kaguongo et al. 2014).

Van Ittersum et al. (2013) zeigen, dass die erreichten kenianischen Maiserträge deutlich hinter ihrem eigentlichen Potenzial zurückbleiben. Bei vergleichbarer Wasserversorgung sind die Maiserträge in Kenia 87% niedriger als beispielsweise in Nebraska (USA). Die geringeren Erträge sind über geringe Bodenfruchtbarkeit, nicht verfügbare Betriebsmittel und begrenztes Wissen über den Umgang mit solchen Limitierungen, aber auch ungünstige Niederschlagsverteilung zurückzuführen (Van Ittersum et al. 2013). Gerade die Verfügbarkeit von Düngermitteln ist häufig in Subsahara Afrika (SSA) unzureichend. Obwohl Kenia tendenziell zu den Ländern mit besserem Zugang zu Betriebsmitteln zählt, ist die Düngernutzungsrate sehr gering (Tittonell und Giller 2013; Marenya und Barrett 2009). Durch Nährstoffmangel oder unausgewogene Nährstoffzufuhr (ausschließlich Stickstoffdüngung) erzielt die pflanzliche Produktion nicht ihr eigentliches Ertragspotenzial und leidet gleichzeitig an einer geringen Stickstoffeffizienz (Tittonell et al. 2008).

Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenproduktion

Tropische Temperaturen bedeuten für C₃ und C₄-Pflanzen⁷, dass mehr, in der Photosynthese produzierte, Energie für die Atmung verbraucht wird und dadurch die Nettophotosyntheserate sinkt (Rötter

⁶ Mais ist das wichtigste (Grund-)Nahrungsmittel in Kenia, daher verwenden wir in diesem Länderkapitel immer wieder Mais als Fallbeispiel für die Auswirkungen des Klimawandels auf die vier Säulen der Ernährungssicherung. Die Ergebnisse lassen sich teilweise auf andere, in Kenia angebaute, Pflanzen übertragen.

⁷ C₃- und C₄-Pflanzen binden bei der Photosynthese auf unterschiedliche Weise CO₂. Bei hohen Lufttemperaturen und knappen Wasserangebot schließen Pflanzen ihre Spaltöffnungen (Stomata) um Wasser zu sparen. Dadurch wird aber auch die Aufnahme von CO₂ für die Photosynthese begrenzt. Die C₄-Pflanzen haben einen effizienteren Mechanismus bei hohen Lufttemperaturen und knappen Wasserangebot für die Pflanze mehr CO₂ aufzunehmen als C₃-Pflanzen. In tropischen und subtropischen, trockenen Klimazonen können C₄-Pflanzen (wie z.B. Amaranth, Hirse, Mais und Zuckerrohr) mehr Biomasse aufbauen als C₃-Pflanzen (wie z.B. Kartoffeln und Bohnen).

und Van de Geijn 1999). Durch einen weiteren Temperaturanstieg werden die für ein optimales Wachstum benötigten Temperaturen in tropischen Regionen überschritten. Die Anbaubedingungen werden sich durch die Zunahme von extremen Temperaturen und Dürren verschlechtern. Aber auch extreme Niederschläge und Überschwemmungen werden durch die steigende absolute und die sinkende relative Luftfeuchte zunehmen. Dadurch sind Bodendegradationen, Nährstoffauswaschungen und überflutungsbedingte Schäden an der Pflanze, und somit sinkende Ernteerträge zu erwarten (Müller et al. 2014).

Ansteigende Temperaturen wirken durch höhere Evapotranspiration negativ auf die Wasserversorgung der Pflanze. Gerade in den nördlichen und östlichen Regionen Kenias ist die Wasserversorgung der Pflanzen schon unter heutigen Bedingungen nicht ausreichend. Dies kann eventuell durch steigende Niederschlagsmengen und erhöhte CO₂-Konzentrationen (geringere Stomataöffnung) kompensiert werden. Unter RCP8.5 ist der Temperaturanstieg ab der Mitte des 21. Jahrhunderts jedoch so stark, dass die Verdunstungsverluste den Niederschlagsanstieg übersteigen könnten und sich die Wasserversorgung für die Pflanzen verschlechtert. Gerade bei C₃-Pflanzen wird die schlechtere Wasserversorgung zu sinkenden Erträgen führen.

Neben den direkten klimatischen Ertragsreduktionsfaktoren wirken auch indirekte Effekte ertragsreduzierend. Dies sind beispielsweise degenerierte Böden durch Erosion oder Krankheiten und Schädlinge wie z.B. *Maize Lethal Necrosis* (Khadioli et al. 2014; Wangai et al. 2012). Durch höhere Temperaturen können sich Maisschädlinge wie Lepidoptera (*Chilo partellus*) potenziell besser und schneller entwickeln. Besonders in den primären Maisanbauregionen (im feuchten Hochland) wird sich der Schädlingsdruck bei steigenden Temperaturen verstärken. In den nördlichen Küstenregionen Kenias könnte sich der Schädlingsdruck zwar reduzieren, es handelt sich hier jedoch nicht um die Hauptregion des Maisanbaus (Khadioli et al. 2014).

Viehhaltung und Fischerei

Gerade in den ariden und semi-ariden Gebieten Kenias ist die Viehhaltung sehr bedeutend. Zwar trägt sie nur 3,3% zum BIP bei, beschäftigt aber in den ariden und semi-ariden Gebieten 90% der Arbeitskräfte. Innerhalb des Viehhaltungssektors ist die Milchproduktion der wichtigste Wirtschaftszweig. Aber auch im Süden Kenias ist die Viehhaltung, gerade bei den Massai, eine wichtige Nahrungsgrundlage (FEWS-NET 2013). Durch Investitionen in die Viehhaltung (bessere Futterpflanzen oder Bodewasserkonservierungsmethoden) ließen sich im Viehhaltungsbereich höhere Einkommen generieren. Sinnvoll gestaltete Maßnahmen können gleichzeitig eine Anpassung an den Klimawandel sein und die Emission von Treibhausgasen reduzieren (Bryan et al. 2012). An den Küsten, am Viktoriasee und Turkana-See ist der Fischfang von großer Bedeutung. In der Region um den Viktoriasee wird z.B. die Hälfte des Haushaltseinkommens aus dem Fischfang generiert (FEWS-NET 2013).

Nachernteverluste entlang der Wertschöpfungskette

Nicht nur während des Anbaus bedrohen Krankheiten und Schädlinge die Nahrungsverfügbarkeit, auch die Nachernteverluste sind in Kenia hoch. Nach Einschätzung der FAO entstehen die meisten Verluste in SSA innerhalb der Wertschöpfungskette durch Nachernteverluste. Weitere Verluste nach Anbau und Nachernteverlusten entstehen bei der Weiterverarbeitung und der Distribution, bevor die Nahrungsmittel den Konsumenten erreichen. Die FAO schätzt die Verluste für Getreide, Früchte, Gemüse, Fisch-

und Milchprodukte durch Weiterverarbeitung und Distribution in SSA auf annähernd 75%. Die Gesamtverluste in SSA variieren je nach Nahrungsmittel zwischen 20 und 60% (FAO 2015).

Die Nachernteverluste innerhalb der Kartoffelwertschöpfungskette beziffern Kaguongo et al. (2014) für Kenia auf 19% (12-25% je nach Distributionsweg) der Gesamtproduktion. Da die Kartoffel als zweitwichtigstes Grundnahrungsmittel gerade auch von Kleinbauern angebaut wird, sind die Auswirkungen auf die Ernährungssicherung sehr groß. Im Gegensatz zu Mais ist die Kartoffel schwieriger zu lagern (da sie einen sehr hohen Wasseranteil hat) und viele lagerbedingte Krankheiten auftreten können. Durch mangelhafte Lagerungsmöglichkeiten gehen in Kenia 5-8% der Maisproduktion durch Schädlinge Maiskäfer (*Sitophilus zeamais*) und Großer Kornbohrer (*Prostephanus truncatus*) nach der Ernte verloren. Diese Nachernteverluste wären nach De Groot et al. (2013) durch einfache, luftdichte Kunststoffsäcke (*Polypropylen*) oder Metallsilos weitestgehend vermeidbar.

2. Sicherer Zugang zu Nahrungsmitteln

In Kenia leben 45% der Bevölkerung unterhalb der Armutsgrenze (World Bank 2015). Dadurch ist der Zugang zu Nahrungsmitteln für einen Großteil der Bevölkerung nicht oder nur begrenzt gewährleistet. Durch ein geringes Bildungsniveau, limitierten ökonomischen Einwirkungsmöglichkeiten (hohe Arbeitslosenquote >40%) und begrenztem Zugang zu sozialen Dienstleistungen (z.B. sauberem Trinkwasser und Energie), wird vielen Menschen der Zugang zu Nahrungsmitteln erschwert. Dies trifft insbesondere auf die ariden und semi-ariden Gebiete zu (FEWS-NET 2013).

Nahrungsmittelimporte

Nicht in allen Regionen Kenias reicht die Produktion von Grundnahrungsmitteln aus. Gerade in den ariden Regionen muss die Lücke zwischen Angebot und Nachfrage über lokale und internationale Märkte geschlossen werden und die inländische Produktion durch Weizen-, Reis- und Maisimporte ergänzt werden. Die Weizen- und Reisproduktion ist in Kenia nicht besonders groß, daher ist der importierte Anteil im Vergleich zur Gesamtproduktion relativ hoch. Verglichen mit der kenianischen Maisproduktion beträgt der Importanteil von Weizen 8% und Reis 4%. Insgesamt sank der Anteil an importiertem Mais im Verhältnis zur Maisproduktion in den letzten Jahren und betrug 2010-2011 durchschnittlich 7% pro Jahr, davor (2002-2007) sogar nur 4%. Durch zwei schlechte Ernten in 2008 und 2009 betrug der Maisimport im Jahr 2009 zur inländischen Produktion 62% (FAO Stat 2015). Nahrungsmittelimporte sind nur möglich, sofern die entsprechende Kaufkraft vorhanden ist. Da die Hälfte der kenianischen Landwirtschaft aber Subsistenzwirtschaft betreibt, können viele Kenianer nicht am Handel teilnehmen. Durch sich ändernde Klimabedingungen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass zukünftig Dürren wie 2008/2009 häufiger auftreten (FEWS-NET 2013, Ariga et al. 2010) und demzufolge entsprechend öfter größere Mengen an Nahrung importiert werden müssen.

Zugang zu Märkten und Grundnahrungsmittelpreise

Der größte Teil (70%) der kenianischen Bevölkerung ist als Nettokäufer abhängig von Märkten. Neben den Menschen in urbanen Regionen betrifft dies v.a. Kleinbauern mit wenig Land oder Pastoralwirtschaftler (FEWS-NET 2013). Innerhalb des Landes müssen die Nahrungsmittel von den landwirtschaftlich begünstigten Regionen um den Viktoriasee in den Norden transportiert werden. Die benötigte Zeit bis zum nächsten Hafen oder zum nächsten größeren Markt ist für die Regionen im Norden deutlich länger (Guo 2014). Dadurch entstehen höhere Transaktionskosten, höhere Preise und eine höhere Preisvolatilität. Gerade in den Regionen, die weit von Häfen oder von Nairobi entfernt sind, gibt es

Unterschiede in den Preisbewegungen und im Niveau (Short et al. 2012). Steigende Grundnahrungsmittelpreise, ausgelöst durch sich ändernde Klimabedingungen und regionale Wetterextreme, könnten sich auf die Preisvolatilität auswirken und insbesondere in ariden Gebieten zu Ernährungsengpässen führen.

Schlecht ausgebaute Straßen im Norden Kenias (nur 14% der Straßen sind befestigt) sind der Grund für einen schlechten Marktzugang (FEWS-NET 2013). Aber nicht nur der Zugang zu Nahrungsmittelmärkten sondern auch zu den Märkten für landwirtschaftliche Betriebsmittel (z.B. für Dünger) ist häufig nicht gut ausgebaut. Eine Verbesserung des Marktzugangs könnte zumindest zu einer Verbesserung der Düngernutzungsrate auf nicht degradierten Böden führen (Marenya et al. 2009). Auf degradierten Böden sind andere Nährstoffe, die Nährstoffverfügbarkeit und Wissen über die Nutzung derartige Böden ebenfalls relevant.

Kassie et al. (2014) zeigen, dass weiblich geführte Haushalte in Kenia häufig geringere Ernährungssicherheit haben. Weiblich geführten Haushalten (Anteil in Kenia liegt bei 34%) fehlt häufig der Zugang zu landwirtschaftlichen Betriebsmitteln, Märkten, Krediten und Informationen. Wenn Frauen den gleichen Zugang zu diesen Ressourcen hätten, könnten die Erträge um 20-30% steigen und Mangelernährung um 12-17% reduziert werden (FAO 2011). Durch sich ändernde Klimabedingungen sind von Frauen gemanagte Erträge und Haushalte, durch den begrenzten Zugang zu Ressourcen und der damit begrenzten Adaptionsmöglichkeit, besonders betroffen (Mutimba et al. 2010).

3. Bedarfsgerechte Verwendung und Verwertung der Nahrungsmittel

Versteckter Hunger und wertgebende und -mindernde Inhaltsstoffe

Unterernährung ist ein allgegenwärtiges und chronisches Problem in Kenia. Besonders Kinder unter fünf Jahren sind von quantitativ und nutritiv unzureichender Nahrung betroffen und leiden unter Untergewicht, Unterentwicklung und Auszehrung (Otieno et al. 2013). Insgesamt sind in Kenia 35% der Kinder von Unterentwicklung und 66% von einer nicht ausreichenden Vitamin-A-Versorgung betroffen (UNICEF 2013b). Zunehmend ist in Kenia aber auch das Problem von „Double Burden of Malnutrition“ zu beobachten, d.h. dass es neben dem Problem von Unter- oder Mangelernährung durch eine einseitige, zu fette Ernährung auch zu Übergewicht (Adipositas) kommt (Keino 2014).

Einseitige Ernährung (z.B. mit dem Maisbrei Ugali) führt zu Mikronährstoffmangel. Gerade essenzielle Aminosäuren, Mineralstoffe und Vitamine werden bei einseitiger Ernährung häufig unzureichend aufgenommen. Grundlegend sind in Kenia Vitamin A und Eisen nicht ausreichend in der Ernährung enthalten (UNICEF 2013b; FEWS-NET 2013). Durch steigende atmosphärische CO₂-Konzentration werden Mineralstoffe wie Eisen und Zink in der Nahrung geringer, das erhöht die Gefahr von verstecktem Hunger (Myers et al. 2014).

Unerwünschte, wertmindernde Inhaltsstoffe der Nahrung führen zu geringeren nutritiven Verwertungsmöglichkeiten und eventuell auch zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Für Kenia sind als wichtigste Belastungen der Nahrungsmittel Mykotoxine, wie Alfatoxin und Schwermetalle, wie Cadmium und Kobalt zu nennen (Ongoma 2013; Oyoo-Okoth et al. 2013). Gerade die Belastung von Mais mit Alfatoxinen führen in Kenia zu Verlusten oder gesundheitlicher Belastung der Bevölkerung (Kimatu

et al. 2012). Folgen von Alfatoxin sind Immunschwäche, Krebs und sogar Todesfälle. Durch sich ändernde Klimabedingungen (steigende Temperaturen und Niederschläge) verbessern sich die Entwicklungsbedingungen für Alfatoxine (Ongoma 2013; Lewis et al. 2005; Trenk & Hartman 1970).

Qualität von Nahrungsmittel und Reduktion von Ernährungssicherung durch Krankheiten

Häufiger auftretende Hochwasser, bedingt durch den Klimawandel (Müller et al. 2014), erhöhen die Übertragung von Keimen und verschlechtern die sanitären Verhältnisse. Dadurch reduziert sich die Nutzbarkeit von Nahrungsmitteln. Durch die Kontamination von Nahrungsmitteln mit unsauberem Wasch- und Kochwasser wird die Nutzbarkeit der Nahrung reduziert. Dies und schlechte sanitäre Verhältnisse (keine Seife, „flying toilets“) verursachen Durchfallerkrankungen und führen zu einer geringeren metabolischen Nährstoffverfügbarkeit (FEWS-NET 2013).

Durch den Klimawandel könnten wasserbasierte Krankheiten wie Cholera und Typhus zunehmen (FEWS-NET 2013). Steigende Temperaturen und Niederschläge begünstigen ebenfalls vektorbasierte Krankheiten wie Malaria (Connolly-Boutin & Smit 2015; Omumbo et al. 2004). Durch die Zunahme dieser Krankheiten kann sich die Nutzung der Nahrung verschlechtern und kann somit einen negativen Einfluss auf die Ernährungssicherung haben.

4. Zeitliche Beständigkeit

Die zeitliche Beständigkeit der ersten drei Säulen der Ernährungssicherung ist für eine kontinuierliche Versorgung unabdingbar. Nachfolgend wird exemplarisch die Stabilität der Nahrungsproduktion in Bezug zu Dürren und politischer Stabilität erläutert.

(i) Klimaextreme wie Dürren und lange Trockenzeiten können die Stabilität der Nahrungsproduktion gefährden. Damit ist häufig Klimamigration zu Standorten mit geringerer landwirtschaftlicher Produktivität verbunden. Dürren (2007-2008, 2010-2011, 2013-2014) haben in Kenia immer wieder zu Missernten und Hungersnöten geführt (Rembold et al. 2014). Die Dürre am Horn von Afrika im Jahr 2011 hat gezeigt, dass 3,75 Millionen Kenianer auf Nahrungshilfe angewiesen waren. Durch den ausbleibenden Regen von März bis Mai (-30%), waren die Ernten deutlich geringer, was die lokalen Nahrungsmittelpreise anstieg ließ. Der Mangel an Wasser ließ das Vieh verdursten, führte bei der Bevölkerung in den pastoralen Zonen zu wassermangelbedingten Erkrankungen (Durchfall und Wurminfektionen) und steigenden Wasserpreisen (FEWS-NET 2013; Motoshita et al. 2010).

Unstabile politische Verhältnisse und ethnische Konflikte führten in der Vergangenheit zu bewaffneten Konflikten (Burke et al. 2009). Beispielsweise gab es bei den Unruhen nach umstrittenen Wahlen 2007 hunderte von Toten und 0,3 Millionen Tonnen Mais wurden vernichtet. Weiterhin führten die Instabilität und die Ausschreitungen zu Verringerung der Erträge in 2008 um 20%. Aber auch im Norden Kenias waren viele Viehhalter von Konflikten um Rohstoffe betroffen (CDC, IISD, Saferworld 2009). Aufeinanderfolgende Dürren in den Jahren 2008 und 2009, in Kombination mit global stark ansteigenden Weltmarktpreisen für Nahrung, führten in Kenia in 2009 zu einem deutlich gesteigerten Bedarf an Maisimporten. Durch die Preissteigerungen und die geringeren Einkommen der Bevölkerung (geringere Ernten, Unruhen) stiegen Nahrungsmittelhilfen an (FEWS-NET 2013). Besonders hart betroffen waren die pastoralen Zonen im Norden Kenias.

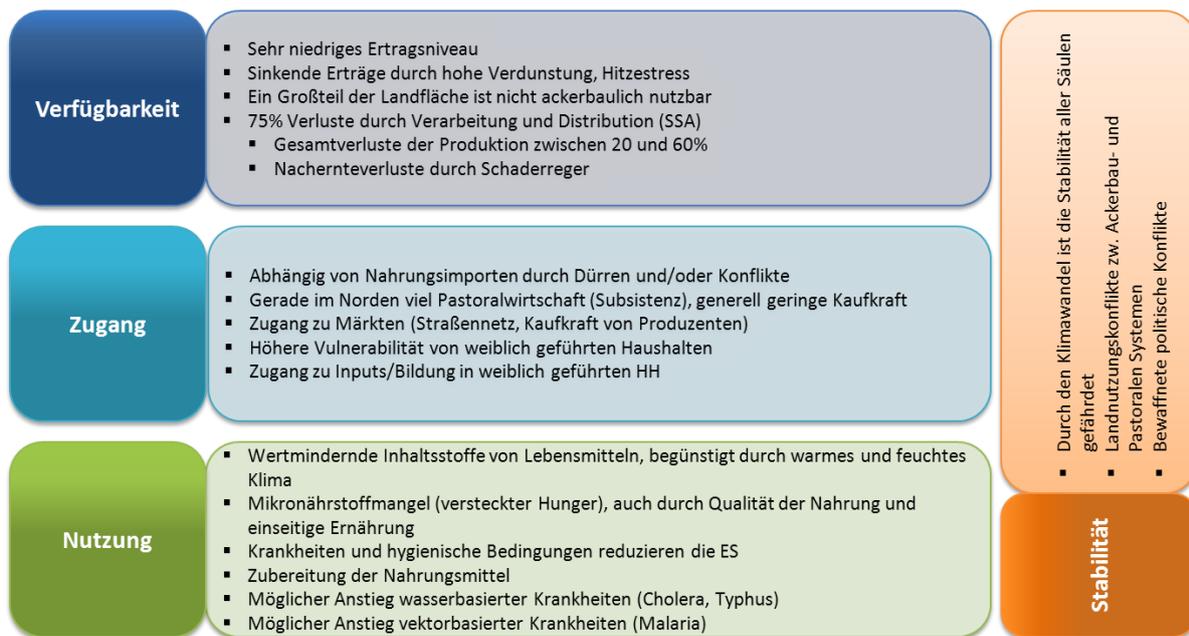


Abb. 2-2: Merkmale der vier Säulen der Ernährungssicherung in Kenia und potenzielle Auswirkungen des Klimawandels.

3. Handlungsbedarf

Trotz erheblicher Zuchtfortschritte, die vor allem in Südostasien zu deutlichen Ertragssteigerungen geführt haben (Grüne Revolution), konnte dieses Ertragspotenzial in Kenia bislang nicht umgesetzt werden. Sánchez (2010, 2015) zeigt, dass durch besseres Saatgut und Düngereinsatz eine Verdreifachung der Erträge in Malawi ermöglicht wurde. Die Ausbringung von Stickstoffdünger korreliert stark mit der Emission von Treibhausgasen. Allerdings sind die Ertragsteigerungen pro kg N deutlich höher und erfordern geringere Landnutzungsänderungen. Dadurch sind die Treibhausgasemissionen pro kg Maisertrag⁸, bei höherem Ertragsniveau, niedriger als bei niedrigem Ertragsniveau (Bellarby et al. 2014).

Insgesamt kann leistungsfähigeres Saatgut, durch Hybrid- oder Linienzüchtung, das Einkommen von Kleinbauern verbessern. Mathenge et al. (2014) zeigen in ihrer statistischen Untersuchung, dass die Nutzung von Hybridsaatgut in Kenia die Armut reduzieren könnte. Dies geschieht durch die Steigerung der jährlichen Einkommen, aber auch durch langfristige Wohlfahrtseffekte (Besitz, Reduzierung der Armutsungleichheit). Adenle et al. (2013) diskutieren das Potenzial zur Reduzierung von Armut und Steigerung von Ernährungssicherung durch die Nutzung genetisch veränderter Pflanzen in Afrika. Für Kenia stellen sie heraus, dass genetisch veränderte Pflanzen vorerst nur für Fasern (Baumwolle) und später für Futter und die menschliche Ernährung eingesetzt werden sollten. Genau wie in Europa ist hier aber auch die politische und gesellschaftliche Akzeptanz bedeutend. Dabei sind auch Varianten von Sorghum oder Mais denkbar, die einen höheren nutritiven Wert haben. Auf diesem Gebiet wird u.a. auch in Kenia von Wissenschaft und Industrie bereits heute viel geforscht (Gilbert 2010). Ein wei-

⁸ Allgemein ist die Betrachtung von Effizienten, also wieviel Einheiten Input für eine Einheit Output benötigt werden kritisch zu sehen. Durch die Ertragssteigerungen über Stickstoffdüngung sinken zwar die Treibhausgasemissionen, jedoch sinkt dadurch auch die Stickstoffnutzungseffizienz. D.h. Die Steigerung der Effizienz eines Inputfaktors bedingt gleichzeitig die Effizienz eines anderen Inputfaktors.

teres Beispiel gemeinsamer Forschung von Wissenschaft und Industrie ist das Projekt zum *Water-Efficient Maize for Africa* (WEMA) unter der Nutzung von klassischen und molekulargenetischen Züchtungsmethoden (Eisenstein 2013).

Die Nutzung von Mischkulturanbau⁹ von Mais und Leguminosen kann den Stickstoffbedarf, der durch Düngung zugeführt werden muss, reduzieren. Dadurch müssen weniger Betriebsmittel gekauft werden und die, mit hohen Treibhausgasemissionen verbundene, Herstellung und der Einsatz von mineralischem Stickstoff könnte reduziert werden. Je nach angebauter Leguminose und Anbauform könnte die Stickstoffdüngung unter kenianischen Anbaubedingungen deutlich reduziert werden (Mucheru-Muna et al. 2010). Generell lassen sich durch den Mischanbau höhere Einkommen generieren. In den trockenen Gebieten Kenias ließen sich die Einkommen beispielsweise durch Agroforstwirtschaft steigern, was die Vulnerabilität von Subsistenzwirtschaftlern gegenüber Klimaschocks reduzieren würde (Thorlakson et al. 2012). Über die Nutzung von „push-pull“-Verfahren kann der Schädlings- und Unkrautdruck mit biologischen Methoden reduziert werden. Das bekannteste Beispiel ist bei diesem Verfahren, dass die Hauptkultur Mais oder Sorghum zusammen mit der Pflanze *Desmodium* angebaut wird, um dem Unkraut *Striga* keine Wachstumsmöglichkeit zu bieten (push) und den Afrikanischen Stängelbohrer fernzuhalten (pull) (Murage et al. 2015).

Der Anbau von Gemüse kann zum einen zu einer Diversifizierung der Nahrungsgrundlage führen und damit Mikronährstoffmangel vorbeugen. Zum anderen können durch den Verkauf auch zusätzliche Einkommen generiert werden, was sich ebenfalls positiv auf die Ernährungssituation auswirkt (Muriithi & Matz 2015). Allerdings geht gerade der urbane Anbau von Gemüse (*Urban Sack Gardening*) mit Gefahr von erhöhten Schwermetallbelastungen der Nahrung einher (Gallaher et al. 2015).

⁹ engl. *intercropping*, zwei Kulturen werden gleichzeitig angebaut, die Priorität liegt aber auf der Hauptkultur und die Nebenkultur wird z.B. zwischen den Reihen der Hauptkultur angebaut.

3. Pakistan

Mit einer Bevölkerung von etwa 180 Millionen Einwohnern belegt Pakistan den 6. Platz der bevölkerungsreichsten Länder der Welt. Extreme Wetterbedingungen, mit hohen Temperaturen (bis zu 50°C), Dürren, Starkregenereignissen und das raue Gelände sind Ursachen für besonders hohe Vulnerabilität von Ökosystemen und der Landwirtschaft Pakistans gegenüber dem Klima und dessen Änderungen (Ahmad et al. 2013; IUCN 2009). In der Landwirtschaft sind 45% der Bevölkerung beschäftigt und sie trug 2008 etwa 20% zum BIP und 70% zum Devisenhandel bei (Zhu et al. 2013; IUCN 2009; Iqbal et al. 2009). Wasserverfügbarkeit ist der wichtigste limitierende Faktor für die Landwirtschaft, dem größten Wassernutzer (ca. 90%). Etwa 85% der landwirtschaftlichen Erzeugnisse werden im Bewässerungsfeldbau erzielt, die nicht nur die Nahrungsmittelnachfrage decken sondern auch ein wichtiger Rohstofflieferant für die Industrie sind, hauptsächlich Baumwolle für die Textilindustrie (Archer et al., 2010). Neben den generell rauen Umweltbedingungen wird Pakistan regelmäßig von zyklisch wiederkehrenden Dürren, Überflutungen und Erdbeben heimgesucht, die hohe volkswirtschaftliche Schäden verursachen und Millionen Menschen in äußerst unsichere Ernährungssituationen bringen. Die rasch wachsende Bevölkerung (2,4% pro Jahr; IUCN 2009), militante Aktivitäten in Grenzgebieten, die hohe Inflation, der steigende Wasserbedarf und die ineffiziente Nutzung des Wassers im Bewässerungssystem sowie viel zu geringe Wasserspeicherkapazitäten gefährden die industrielle Entwicklung des Landes und verschärfen die brisante Lage der Ernährungssicherheit.



1. Klima und Hydrologie

1. Rezentes Klima und Hydrologie, Trends der letzten Jahrzehnte

In Pakistan herrscht vorwiegend arides bis semi-arides Klima mit Jahresniederschlägen zwischen 150mm und 250mm. In den Hochlandtälern im Norden des Landes sind sub-humide bis humide Verhältnisse anzutreffen, in denen Jahresniederschlagssummen bis 1500mm vorkommen (Archer et al. 2010). Die Hauptregenzeit ist zwischen Juli und September, im Westen des Landes außerdem zwischen Dezember und April. Der Monsoon trägt etwa 65%-80% zum Jahresniederschlag bei (Asif 2013).

Pakistan wird regelmäßig von Dürren und Überflutungen heimgesucht. Letztere scheinen sich in den letzten Jahren zu häufen, wie bspw. die beiden katastrophalen Ereignisse in den Jahren 2010 und 2011 (Zhu et al. 2013). Iqbal et al. (2009) meinen, eine Häufung von Ereignissen wie Starkregen, Überflutungen, Dürren und Stürmen in jüngster Vergangenheit zu beobachten. Xie et al. (2013) widerlegen dies für Dürre-Ereignisse. Eine Trendanalyse zeigte, dass das Auftreten von Dürren im Zeitraum 1960-2007 keinem Trend unterlag. Dürreperioden, die von feuchten Perioden gefolgt werden, treten jedoch mit einer gewissen Regelmäßigkeit etwa alle 16 Jahre auf, die in der Regel das gesamte Land flächendeckend betreffen (Xie et al. 2013).

Temperatur- und Niederschlagstrends

Die Entwicklung verschiedener extrem Temperatur- und Niederschlagsindizes im Zeitraum 1971-2000 zeigen ein heterogenes Muster über Pakistan (Sheikh et al. 2015). Ein steigender Trend der maximalen Tagestemperatur wurde bspw. „nur“ an 56% der Stationen in Pakistan beobachtet. Ein eindeutig ab-

nehmender Trend wurde im Karakorum (nordwestlicher Himalaya) bei nächtlichen Maximaltemperaturen beobachtet, also im Sommer, dem Zeitpunkt, an dem die Gletscherschmelze beginnt (Sheikh et al. 2015). Die generelle Temperaturerhöhung im Jahresmittel ergibt sich somit hauptsächlich aus den steigenden Temperaturen im Winter. Es gibt zahlreiche Hinweise für eine Ausbreitung der Gletscher im Karakorum seit den 1990er Jahren (Sheikh et al. 2015). Diese Aussage wird durch Sharif et al. (2013) bestätigt, die einen verringerten Beitrag der Gletscherschmelze zum Abfluss im Indus feststellen¹⁰. Der Beitrag zum Gesamtabfluss liegt zwischen 50% und 80% (Zhu et al. 2013).

Die Trends der Niederschlagsindikatoren lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Anzahl aufeinanderfolgender Tage mit Niederschlägen (>1mm) sowie die Intensität der täglichen Niederschläge haben sich in Pakistan an 60% der Stationen erhöht, die Anzahl der Stationen, an denen ein steigender Trend zu Starkregenereignissen (>20mm/Tag) aufgezeichnet wurde, liegt bei 74% und die maximalen 1 bis 5-tägigen Niederschlagssummen haben sich an zwei Dritteln der Stationen erhöht (Sheikh et al. 2015). Die steigenden Jahresniederschläge könnten die Massenbilanz der Gletscher im nordwestlichen Himalaya gegenüber der Temperaturerhöhung (Verdunstung und Abtauen) ausgeglichen haben (Sheikh et al. 2015; Hewitt 2005).

Wasserressourcen des Indus

Der Indus, die wichtigste Lebensader Pakistans, ist im Oberlauf durch unterschiedliche Abflussregime charakterisiert (Sharif et al. 2013; Archer et al. 2010). Die am höchsten gelegenen Einzugsgebiete (glazial), deren höchsten Berge bis über 7000 m.ü.NN reichen, leisten ihre Abflussspende über den Gletscherabfluss, Einzugsgebiete auf mittlerer Höhe (nival) werden hingegen hauptsächlich durch die Schneeschmelze gespeist und noch tiefer gelegene Einzugsgebiete werden sowohl durch glaziale und nivale Regime als auch direkt durch den Niederschlag geprägt (Sharif et al. 2013; Archer et al. 2010). Trendanalysen der Saisonalität und des Volumens des Abflusses sind deshalb räumlich differenziert zu betrachten und die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels sind, aufgrund der räumlichen Auflösung und Präzision globaler Klimamodelle bei der Abbildung klimatischer Prozesse, und der geringen Datenverfügbarkeit zur Validierung in extremen Höhenlagen, schwierig abzuschätzen und mit hohen Unsicherheiten verbunden. Die beobachtete Abkühlung der Sommertemperaturen im Karakorum (Sheikh et al. 2015; Sharif et al. 2013) führte im Zeitraum 1960 bis 1998 zu einer Reduzierung des glazialen Beitrags zum Gesamtabfluss des Indus und verdeutlicht, dass dieses Phänomen eine Ausnahme im Vergleich zu anderen glazialen Einzugsgebieten darstellt (Sharif et al. 2013). Die nivalen Einzugsgebiete des Indus, die durch frühjährliche Schneeschmelze dominiert werden, zeigten hingegen einen vorwiegend steigenden Trend, der mit einem zunehmenden Trend der winterlichen Niederschläge (Schnee) einhergeht (Sharif et al. 2013). Einen eindeutigen Trend im zeitlichen Verhalten gibt es weder beim Einsetzen des schneesmelzebedingten Abflusses noch beim Peak des Abflussvolumens (Sharif et al. 2013). Da jedoch Volumen und Saisonalität des Abflusses des Indus stark von der Schnee- und

¹⁰ **Bemerkung zum Irrtum des IPCC AR4 (2007) zur Gletscherschmelze im Himalaya.** Viele Artikel, die hier zitiert werden, berufen sich auf die fehlerhafte Angabe im 4. Sachstandsbericht des IPCC, demzufolge die Gletscher im Himalaya bis **2035** vollständig abtauen könnten. In der Originalquelle hieß es jedoch **bis zum Jahr 2350!** Dementsprechend wurden falsche Schlüsse über die zukünftige Wasserverfügbarkeit in Pakistan gezogen, die in diesem Bericht selbstverständlich nicht übernommen wurden. Im 5. Sachstandsbericht (IPCC, 2014c) wird nun eine Spanne von 2% Zuwachs bis 29% Rückgang bis 2035 und für 2100 ein durchschnittlicher Rückgang der Himalaya Gletscher zwischen 45% (RCP 4.5) und 68% (RCP 8.5) angegeben.

Gletscherschmelze abhängen, ist das hydrologische Regime, und somit die Wasserverfügbarkeit in Pakistan, sehr vulnerabel gegenüber Änderungen der Temperatur und des Niederschlages im Hochgebirge (Sharif et al. 2013) und könnte weitreichende Konsequenzen für das Wassermanagement, den Landwirtschaftssektor, die Ernährungssicherung und die gesamte Ökonomie Pakistans haben (Archer et al. 2010). Andererseits sehen Archer et al. (2013), dass die Nachhaltigkeit der Wasserressourcen und die Ökosysteme (Feuchtgebiete, Flussdelta) des Indus eher durch sozio-ökonomische als durch klimatische Veränderung bedroht sind. Die Abb. 6-5 im Anhang C zeigt die Regionen in Pakistan, das extreme Relief und ein Beispiel für die Projektion von Niederschlagsänderungen am Ende des 21. Jahrhunderts.

2. Klimaprojektionen

Die folgenden Grafiken basieren auf Projektionen zweier Klimaszenarien (RCP2.6 und RCP8.5) von 18 GCMs für Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen in Pakistan. Der Zeitraum 1970-1999 dient als Referenz für den Vergleich der beiden zukünftigen Perioden 2030-2059 und 2070-2099. Weitere Informationen zu den Klimaszenarien sind im Kapitel 1.4 und weitere Abbildungen im Anhang C zu finden.

Abb. 3-1 zeigt die Spanne der möglichen Entwicklungen der mittleren Jahrestemperaturen und –niederschläge als Gebietsmittel für Pakistan. In der Mitte des 21. Jahrhunderts kann mit einer Erhöhung der Temperaturen um 1,8°C bis 3°C im Vergleich zur Referenzperiode (1970-1999) gerechnet werden. Am Ende des 21. Jahrhunderts liegt die Spanne zwischen 1,8°C und fast 6°C. Für die Ermittlung der Temperaturerhöhung zur vorindustriellen Zeit müssen etwa 0,7°C dazu addiert werden. Die Summen der mittleren Jahresniederschläge zeigen hingegen keinen signifikanten aber tendenziell leicht positiven Trend.

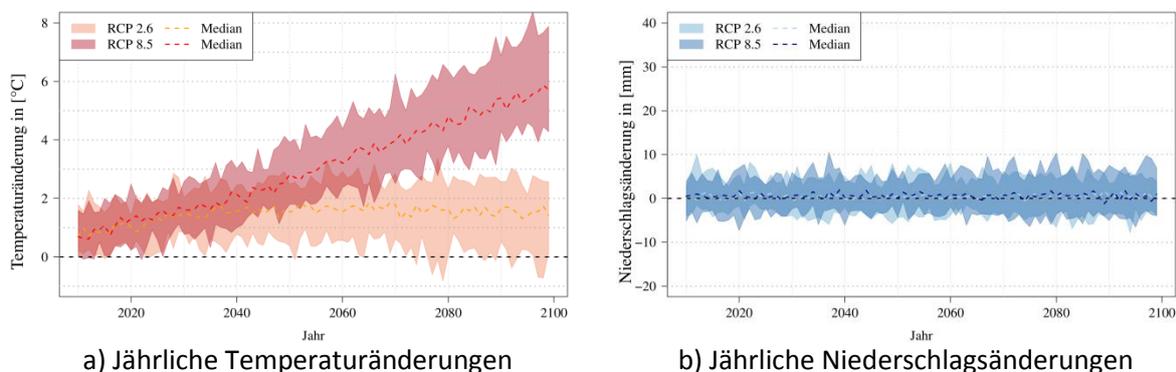


Abb. 3-1: Projektion jährlicher Temperatur- (a) und Niederschlagsänderungen (b) relativ zum jährlichen Mittel in der Referenzperiode (1970-1999) basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

Abb. 3-2 (a und b) und Tabelle 3-1 zeigen die projizierten Temperaturänderungen für die beiden RCPs und Zeiträume. In allen Teilen des Landes wird ein Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen erwartet, der im Norden stärker als im Süden ausgeprägt ist.

Tabelle 3-1: Temperaturprojektionen

Szenario	2030-2059	2070-2099
RCP 2.6	+1.4 – 1.8°C	+1.3 – 1.8°C
RCP 8.5	+2.0 – 2.8°C	+4.0 – 6.0°C

Abb. 3-2 (c und d) und Tabelle 3-2 zeigen die Änderungen der mittleren Jahresniederschläge in Pakistan. Im Landesmittel ist die Entwicklung in allen Zeiträumen und Szenarien positiv aber räumlich diffe-

renziert. Für den Süden des Landes sowie das Hochgebirge im Norden werden steigende Jahresniederschläge projiziert. Fast alle Szenarien zeigen zudem eine Abnahme der Niederschläge im Übergang zwischen Hochgebirge und Tiefland in den Provinzen NWFP, FATA, südliches Kashmir und nördliches Punjab.

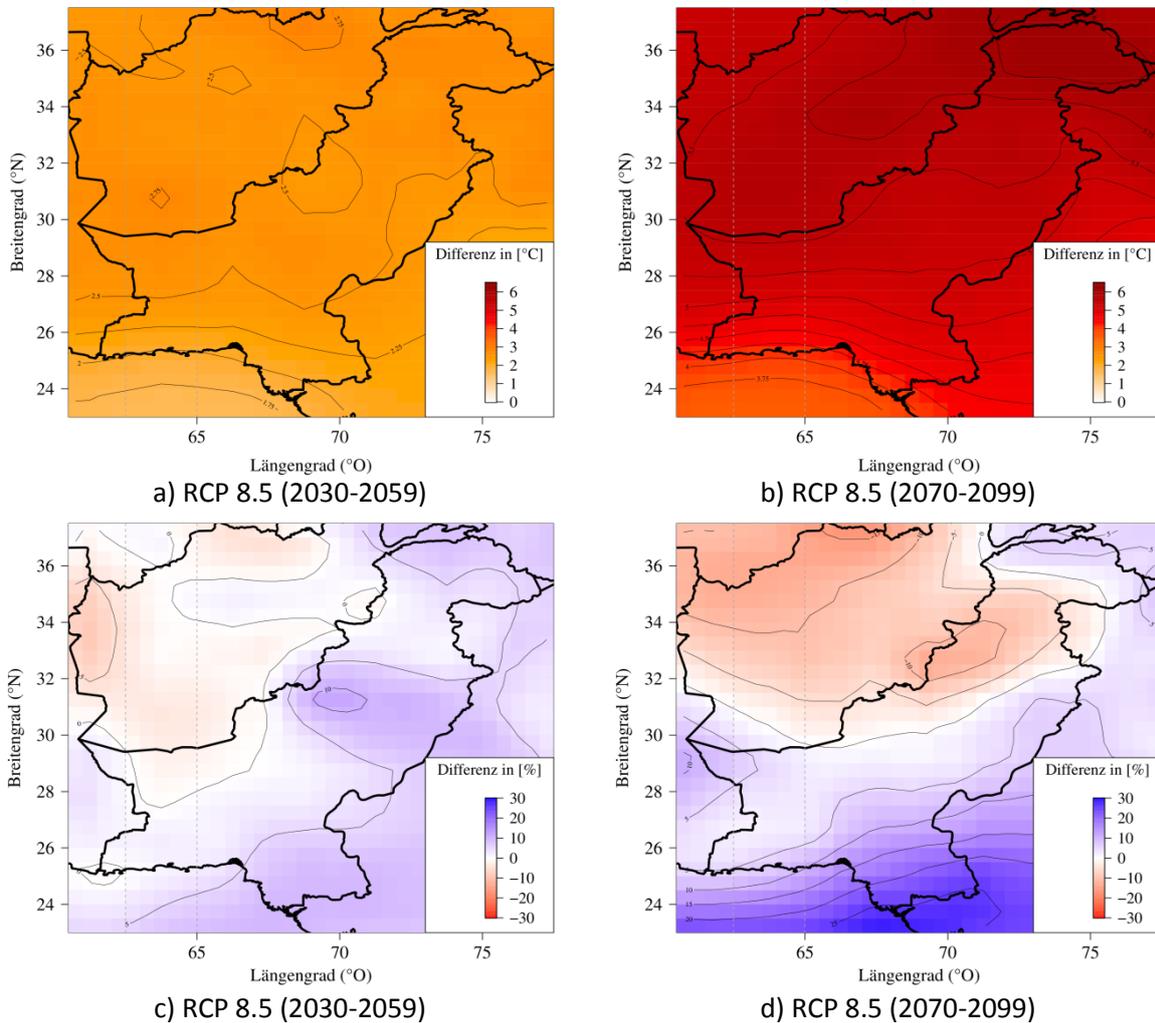


Abb. 3-2: Jährliche Temperatur- (a und b) und Niederschlagsänderungen (c und d) zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

Tabelle 3-2: Niederschlagsprojektionen

Szenario	2030-2059	2070-2099
RCP 2.6	+5.0 – (-)5.0%	+15.0 – (-) 10.0%
RCP 8.5	0.0 – (+) 10.0%	+20.0 – (-) 10.0%

In Abb. 3-3 sind die mittleren monatlichen Niederschlagsänderungen der 18 GCMs als Gebietsmittel über die Region, die in Abb. 3-2 dargestellt ist, abgebildet. Jedes GCM wird dabei durch einen halbtransparenten Balken angezeigt. Blaue Balken und Zahlen stehen für positive, rote für negative Entwicklungen. Je höher die Sättigung der Farbe, desto mehr Modelle stimmen in den jeweiligen Bereichen überein. Es gibt in allen Zeiträumen und Szenarien zwei deutliche Trends bzw. mehrheitliche

Übereinstimmungen. Dies betrifft eine Zunahme der Niederschläge zwischen Juli und November und einer leichten Abnahme zwischen Januar und Mai.

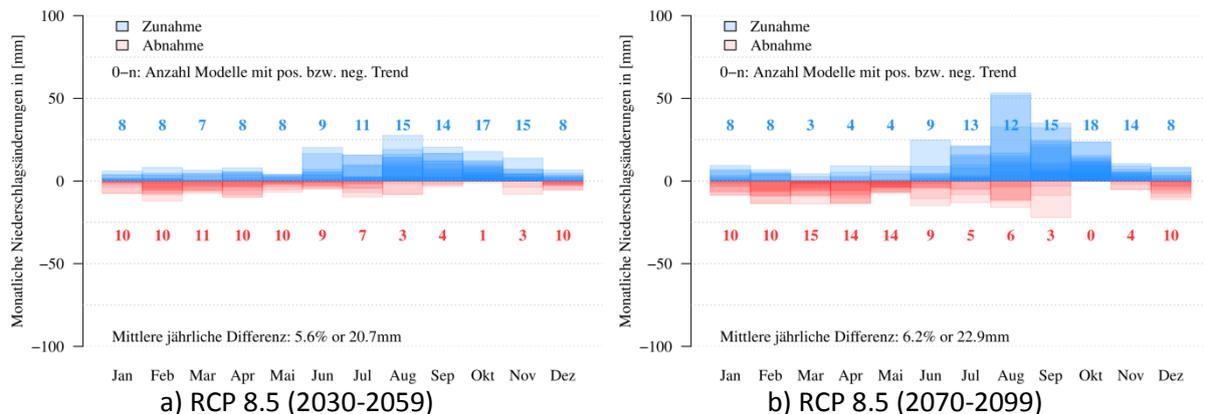


Abb. 3-3: Monatliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

2. Ernährungssicherung

61% der Distrikte in Pakistan gelten als nahrungsmittelunterversorgt (Asif 2013). Die ärmsten 20% der Bevölkerung geben durchschnittlich mehr als 70% ihres Einkommens für Nahrungsmittel aus (FAO 2011), im Landesmittel sind es etwa 50% (WFP 2014). Besonders die ländliche Bevölkerung, die etwa zwei Drittel der Gesamtbevölkerung ausmacht, und in denen 80% als arm gelten, steht vor großen Herausforderungen bezüglich der Ernährungssicherung (IFAD 2012a). Der ökonomische Zugang zu Nahrungsmitteln sowie deren Nutzung bleiben die hauptsächlichen limitierenden Faktoren der Ernährungssicherung auf Haushaltsebene (WFP 2014). Mehr als die Hälfte der pakistanischen Bevölkerung konsumiert weniger als die empfohlene kalorische Menge von 2100 kcal pro Person und Tag (WFP 2014). In den Gebirgsregionen befinden sich viele isolierte Gemeinden, die unter chronischer Armut leiden (IFPRI 2015). Fragile Ökosysteme und die zerklüftete Landschaft erschweren den Ackerbau und den Zugang zu Märkten und anderen Dienstleistungen (IFPRI 2015).

Trotz der Steigerung der Produktion von Hauptgetreidesorten in den vergangenen Jahren, ist die Entwicklung der Ernährungssicherung in Pakistan negativ. Als Gründe hierfür werden militante Aktivitäten, Naturkatastrophen und ökonomische Instabilität genannt (IFPRI 2015). Militante Aktivitäten haben ernsthafte finanzielle Konsequenzen für Pakistan, die zur Verbreitung von Arbeitslosigkeit, Migration und zu einer extrem hohen Inflationsrate beitragen, die 16% im Jahr 2010 erreichte (IFPRI 2015).

Pakistan ist aufgrund seiner geographischen Lage, der Frequenz von Extremereignissen sowie der hohen Anzahl Menschen, die diesen Ereignissen ausgesetzt sind, extrem vulnerabel gegenüber Naturkatastrophen (WFP 2011). Hierzu zählen Erdbeben, Stürme, Dürren und Überflutungen wobei letztere zu den am häufigsten auftretenden Katastrophen gehören (WFP 2011). Überflutungen unterschiedlichen Ausmaßes mit teilweise verheerenden Konsequenzen traten in den Jahren 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 und 2014 auf, die jeweils hunderte bis tausende Todesopfer forderten und Millionen Menschen wirtschaftlich trafen. Die Überflutung im Jahr 2010 betraf z.B. ein Fünftel der Fläche des Landes, dazu zählten 570.000 ha Ackerland in der Punjab Region (Oxfam 2013). Wichtige Infrastruktur wurde zerstört und hinterließ 20 Millionen Menschen ohne ausreichenden Zugang zu Nahrung, sauberem Trinkwasser, gesundheitlicher Versorgung und Elektrizität (Kirsch et al. 2012; IFPRI 2015). Durch die Zerstörung von Ackerland und dem Tod von Nutztieren sank das Einkommen der betroffenen Haushalte um 75% in städtischen und 90% in ländlichen Gebieten (Kirsch et al. 2012; Oxfam 2015) und die Zahl der

direkten Todesopfer wird auf mindestens 1700 Menschen geschätzt (Kirsch et al. 2012). Der Flut fielen 80% der Nahrungsmittelreserven zum Opfer (Kirsch et al. 2012). Der Anteil der Bevölkerung mit unsicherem Zugang zu Nahrungsmitteln stieg zwischen 2003 und 2009 von 38% auf 50% (83 Millionen) und es wird angenommen, dass die Zahl nach der Flut im Jahr 2010 auf 90 Millionen anstieg (IFPRI 2015). Aber auch extreme maximale Tagestemperaturen führen zu gesundheitlichen Problemen und eingeschränkter Leistungsfähigkeit. Im Juni 2015 gab es aufgrund einer Hitzewelle 830 Todesfälle¹¹.

Obwohl der Beitrag der landwirtschaftlichen Produktion zum BIP in Pakistan über die letzten Jahrzehnte abgenommen hat, beträgt er noch immer 20% und trägt zum Lebensunterhalt von 45% der Bevölkerung bei (Zhu et al. 2013; Archer et al. 2010 IUCN 2009; Iqbal et al. 2009). Darüber hinaus ist die Textilindustrie, die einen Exportanteil von 64% hat, abhängig von der Baumwollproduktion. Der Anteil der Getreideprodukte am Export beträgt etwa 11% (Archer et al. 2010). Die Weizenproduktion ist ein wesentliches Standbein der pakistanischen Ernährungssicherung (IFPRI 2015; WFP 2011). Aber auch die Reisproduktion konnte seit 1980 verdoppelt werden und gehört zu den Hauptexporterzeugnissen (IFPRI 2015; WFP 2011). Die Ernährungssicherung in Pakistan ist extrem abhängig vom natürlichen Wasserdargebot, das hauptsächlich für die landwirtschaftliche Bewässerung genutzt wird. Etwa 73% des Indus-Abflusses werden ins Bewässerungssystem geleitet (Archer et al. 2010). Dieser Wert ist ein Indikator (Alcamo et al. 2003) für hohen Wasserstress des Flusssystems und dessen angrenzende Ökosysteme. Aufgrund der geringen Wasserverfügbarkeit pro Kopf wurde Pakistan im Jahr 2010 auf Platz 7 für extremes Risiko der Wasserknappheit „water security index“ eingestuft¹². Die relativ geringen Wasserspeicherkapazitäten in Pakistan erlauben eine Speicherung nur bis zu 30 Tagen (Asif 2013; GWP/IWMI 2011). Daher kann über das Bewässerungssystem nicht immer ausreichend Wasser bereitgestellt werden (Asif 2013). Die „Asian Development Bank“ empfiehlt für Länder mit einem vergleichbaren Klima eine Speicherkapazität von 1000 Tagen¹³.

Der Klimawandel, der vermutlich eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Naturkatastrophen mit sich bringt (Zhu et al. 2013; Piracha & Majeed 2011; Iqbal et al. 2009), stellt eine Bedrohung für die Entwicklungsziele von Lebensunterhalt, Gesundheit und Bildung des Landes dar (Piracha & Majeed 2011). Eine nachhaltige Nutzung der Wasserressourcen wird hingegen hauptsächlich durch sozioökonomische Faktoren (Bevölkerungsentwicklung, ineffizientes Wassermanagement etc.) beeinträchtigt (Archer et al. 2010). Pakistans Bevölkerung könnte von heute etwa 180 Millionen auf 218 Millionen in 2025 oder 270 Millionen in 2050 wachsen¹⁴.

Hauptgründe für die Defizite der Ernährungssicherung:

- Umweltfaktoren
 - Raue Umweltbedingungen (z.B. hohe Temperaturen, zerklüftetes Relief)
 - Wetterbedingte Extremereignisse (Überflutungen und Dürren)
- Umwelt- und Ressourcenmanagement
 - Zu geringe Effizienzen (hohe Verluste) des Bewässerungssystems
 - Geringe Wasserspeicherkapazitäten
 - Land- und Bodendegradation

¹¹ <http://www.sueddeutsche.de/politik/pakistan-erdrueckende-hitze-1.2535906>

¹² <https://www.maplecroft.com/about/news/water-security.html>

¹³ <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-04-22/even-china-won-t-finance-this-pakistan-dam-as-water-fight-looms>

¹⁴ <http://esa.un.org/wpp/unpp/p2k0data.asp> (mittlere Variante der UN)

- Sozio-ökonomische Faktoren
 - Chronische Armut großer Bevölkerungsteile
 - Bevölkerungswachstumsrate von 2%-2,4% pro Jahr
 - Militante Aktivitäten
 - Verluste in der Wertschöpfungskette

1. Ausreichende Verfügbarkeit

Steigende Lufttemperaturen in Pakistan führen zu einer verkürzten Vegetationsperiode und bedrohen die Produktivität der Landwirtschaft, für die bemerkenswerte Einbußen bei Weizen, Mais und Reis simuliert wurden (Zhu et al. 2013). Die Verluste bei Weizenenerträgen könnten in ariden und semi-ariden Regionen temperaturbedingt etwa 6% bis 10% pro 1°C-Temperaturerhöhung betragen (Sultana et al. 2009; Ahmad et al. 2013; Ahmad et al. 2014). Das entspräche einer Reduzierung der Weizenenerträge um 10 bis 30% bis 2050. Die humiden Regionen könnten hingegen bis zu einer Erhöhung von 4°C positive Entwicklungen erfahren (Sultana et al. 2009), diese machen aber nur einen kleinen Anteil an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche aus. In Südpakistan werden Reduzierungen von 15-20% bis 2040 für Hauptgetreidearten projiziert (IUCN 2009). Die Ertragsreduzierungen bei Reis könnten klimabedingt bis 2080 um 15-18% betragen (Iqbal et al. 2009). Auch die Nutztierhaltung ist bedroht und könnte Einbußen von 20-30% bis 2040 erfahren. Dies würde zu extremen Preisentwicklungen bei Milch- und Fleischprodukten in Pakistan führen (IUCN 2009).

Aufgrund des schnellen Bevölkerungswachstums, das die Problematik der Wasserknappheit verschärft, sehen Zhu et al. (2014) und Archer et al. (2010), auch ohne die Auswirkungen des Klimawandels, die Ernährungssicherung in Pakistan bedroht. Pakistan wird sich zu einem Netto-Importland entwickeln und das Bevölkerungswachstum und der Klimawandel könnten dazu führen, dass die Getreideimporte bis 2050 um 55% bis 100% steigen (Zhu et al. 2014). Die Verfügbarkeit von Weizen kg/Kopf könnte in der Punjab Region von derzeitigen 198 kg/Kopf (2012) auf 84 kg/Kopf in 2050 sinken (Tariq et al. 2014). Dabei ist eine Bevölkerungsentwicklung von 96,3 Millionen (2012) bis 157,6 Millionen (2050) in der Punjab Region eingerechnet.

Die zukünftige Verfügbarkeit des Wasserdargebots für alle Arten der Nutzung, resultierend aus veränderten Klimabedingungen, kann kaum abgeschätzt werden. Rezente Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen im Oberlauf des Indus sind nicht vergleichbar mit Hochgebirgen in anderen Regionen. Die unterschiedlichen Abflussregime (Gletscher- und Schneeschmelze und Niederschlag) und Prozesse im Oberlauf sind äußerst komplex und können sich gegenseitig ausgleichen. So könnte eine geringere Speisung durch die Gletscher, aufgrund verringerter Sommertemperaturen, durch eine erhöhte Schneeschmelze, in Folge von steigenden winterlichen Niederschlägen, kompensiert werden. Dabei könnte sich das zeitliche Verhalten des Abflusses ändern, nicht so sehr dessen Menge. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass nach dem Erscheinen des 4. Sachstandberichts des IPCC im Jahr 2007¹⁰⁾, viele Horrorszenarien bezüglich des Abschmelzens der Himalaya-Gletscher gezeichnet wurden, aus denen falsche Schlussfolgerungen für die zukünftige Wasserverfügbarkeit abgeleitet wurden.

Veränderte Abflussregime (Gletscher, Management) könnten die Binnenfischerei negativ beeinträchtigen (IUCN 2009). Verringerte Abflüsse des Indus durch Übernutzung sowie der steigende Meeresspiegel bedrohen die Mangrovenwälder des Indus-Deltas in den Küstenbereichen, die einen großen ökonomischen Wert für Pakistan besitzen. Sie sind eine wichtige Quelle für Brennholz und Nahrung für

die örtliche Bevölkerung und wertvolle Habitate für Shrimps, die zu 90% exportiert werden (Piracha & Majeed 2011; Briscoe & Qamar 2006).

Hauptursachen für die prognostizierte Reduzierung der landwirtschaftlichen Produktivität bzw. für Ernteverluste:

- Verringerte Dauer der Wachstumsperiode durch steigende Temperaturen (Iqbal et al. 2009).
- Wetterbedingte Extremereignisse
 - Dürren
 - Überflutungen, ausgelöst durch Extremniederschläge.
- Gletscherschmelze und -rückgang
 - Nach den Erkenntnissen des 5. Sachstandsberichtes des IPCC (IPCC 2014c) werden die Gletscher im Himalaya bis 2035 entweder einen Zuwachs von 2% oder einen Rückgang um 29% erfahren. Bis 2100 wird ein durchschnittlichen Rückgang zwischen 45% (RCP 4.5) und 68% (RCP 8.5) vermutet.
 - Für die nahe Zukunft kann also sowohl mit einem Rückgang als auch mit einem Zuwachs des Beitrags der Gletscherschmelze und dem damit verbundenen Wasserdargebot des Indus gerechnet werden. Eine verstärkte Gletscherschmelze könnte zu Überflutungen beitragen (Iqbal et al. 2009), die zu großflächiger Zerstörung der Ernte führen können. Ein Rückgang des Gletscherabflusses könnte zu einem verringerten Gesamtabfluss führen, wenn dieser nicht durch andere Phänomene (erhöhte Schneeschmelze und/oder Niederschläge) kompensiert wird (Sharif et al. 2013; Archer et al. 2010).
 - In der fernen Zukunft (gegen Ende des Jahrhunderts) ist mit einem erhöhten Beitrag der Gletscherschmelze zum Gesamtabfluss des Indus zu rechnen.
- Bodenqualität
 - Versalzung (Iqbal et al. 2009)
 - Stauwasser (Iqbal et al. 2009)
 - Wasser- und Winderosion (Iqbal et al. 2009)
- Schädlinge
 - Erhöhtes Risiko von Schädlingsbefall und (Pflanzen)Krankheiten (IFAD 2012a; IUCN 2009)

2. Sicherer Zugang zu Nahrungsmitteln

Der Klimawandel wird vermutlich einen sichereren Zugang zu Nahrungsmitteln auf Haushaltsebene zukünftig nicht begünstigen. Für die Produktivität in der Subsistenzwirtschaft gelten hier die gleichen Bedingungen wie auf nationaler Ebene. Steigende Temperaturen könnten zu Ernteeinbußen führen (Sultana et al. 2009; Ahmad et al. 2013; Ahmad et al. 2014), wenn Anpassungsmaßnahmen (Anbau hitzeresistenter Sorten, veränderte Aussaat und Erntetermine etc.) von Seiten des Staates nicht informationstechnisch unterstützt, gefördert und durchgeführt werden. Ernteverluste in der Subsistenzwirtschaft erfordern einen erhöhten Zukauf von Nahrungsmitteln, für den im Mittel ohnehin bereits mehr als 50% der Einkommen aufgewendet werden (WFP 2014; FAO 2011). Eine erhöhte Abhängigkeit von Märkten erhöht die Vulnerabilität gegenüber Weltmarktpreisen und deren Schwankungen.

Weitere Gefahren für die Ernährungssicherung bestehen durch klimabedingte Katastrophen (Dürren, Überschwemmungen), die sich zukünftig verstärken könnten. So wurde in der Vergangenheit eine Zunahme der Starkniederschläge in Pakistan beobachtet, die zu Überschwemmungen mit katastrophalen Folgen führten (Sheikh et al. 2015).

Nicht-klimatische Faktoren wie militante Aktivitäten, z.B. in Teilen des Grenzgebiets zu Afghanistan, führen zu Migrationsbewegungen, bei denen die Betroffenen erschwerte Bedingungen des Nahrungsmittelzugangs erleiden müssen (WFP 2014).

3. Bedarfsgerechte Verwendung und Verwertung der Nahrungsmittel

Mehr als die Hälfte der pakistanischen Bevölkerung konsumiert weniger als die empfohlene kalorische Menge von 2100 kcal pro Person und Tag (WFP 2014). Anhaltende Dürre-Situationen in der Thar-Region führen zu alarmierender Ernährungsunsicherheit, resultierend in nachhaltiger Unter- und Mangelernährung, Wassermangel, Gesundheit und Einkommensmöglichkeiten (WFP 2014). Die Aufrechterhaltung benötigter Mengen und der Qualität der Ernährung (nutrition) in Pakistan, wird zukünftig stärker von Weltmarktpreisen abhängen (Zhu et al. 2014).

Neben Quantitätsverlusten bei der Getreideproduktion durch steigende Temperaturen, sind auch Qualitätseinbußen der landwirtschaftlichen Erzeugnisse, hinsichtlich ihrer Zusammensetzung der (Mikro-)Nährstoffe möglich. Dies würde zum Phänomen des „versteckten Hungers“ beitragen, dass Konsequenzen für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit hat. Für die Zubereitung der Nahrung ist sauberes Trinkwasser in ausreichender Qualität sowie die notwendige Energie (elektrisch oder Brennmaterial) erforderlich. Die Verfügbarkeit beider Ressourcen ist u.a. von klimatischen Bedingungen abhängig.

Die Hauptgefahren für die Verwendung und Verwertung von Nahrungsmitteln sind, neben den kontinuierlichen Veränderungen der klimatischen Bedingungen, Extremereignisse wie Dürren und Überflutungen und deren Nachwirkungen, von denen sich große Teile der Bevölkerung oft nur langsam erholen können. Eine Häufung von Extremsituationen würde somit nachhaltig zur Ernährungsunsicherheit beitragen.

4. Zeitliche Beständigkeit

Eine zeitliche Beständigkeit der Ernährungssicherung ist vermutlich generell in städtischen Gebieten, über einen kontinuierlichen Zugang zu und der Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln auf den Märkten, eher gegeben als in ländlichen Regionen, vorausgesetzt die notwendige Kaufkraft ist vorhanden. In ländlichen Regionen können die Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln (Produktion der Subsistenzwirtschaft und Lagerungsmöglichkeiten) sowie der Zugang (jahreszeitbedingt) saisonal stark schwanken.

Je nach Abhängigkeit der Menge des Zukaufs an Nahrungsmitteln, sind die Haushalte von Nahrungsmittelpreisen und deren Schwankungen auf den Märkten abhängig. Wobei eine tendenziell hohe Vulnerabilität zu Preisen besteht, da die Ausgaben für Nahrungsmittel in Pakistan, mit durchschnittlich 50% des Einkommens, recht hoch sind.

Die zeitliche Beständigkeit der Ernährungssicherung in Pakistan ist einerseits abhängig vom Einkommen der Haushalte aber in jedem Fall bedroht durch mehr oder weniger häufig auftretende wetterbedingte Extremereignisse.

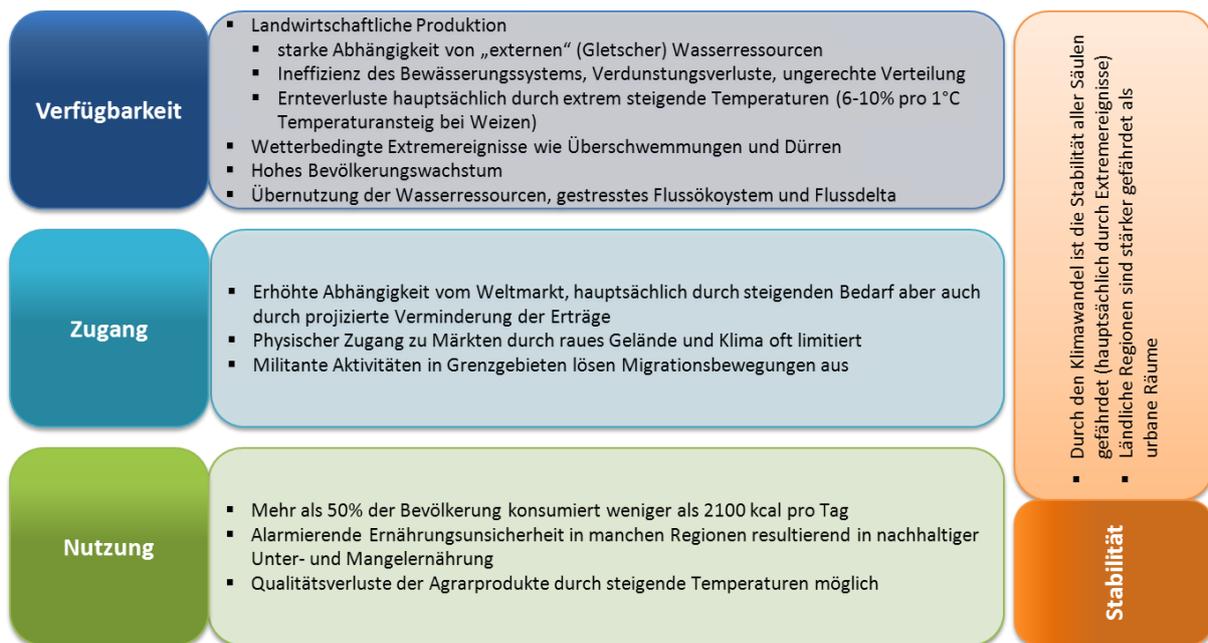


Abb. 3-4: Merkmale der vier Säulen der Ernährungssicherung in Pakistan und potenzielle Auswirkungen des Klimawandels.

3. Handlungsbedarf

Der Klimawandel hat sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Pakistan, wobei letztere überwiegen könnten (Iqbal et al. 2009; Piracha & Majeed 2011). Um die negativen Auswirkungen von regelmäßig wiederkehrenden Dürren und langfristigen Klimaänderungen zu minimieren, müssen beide Aspekte in landwirtschaftliche Entwicklungsstrategien integriert werden (Zhu et al. 2014).

Die Variabilität zukünftiger Abflussregime durch veränderte Gletscherspeisungen und der Schneeschmelze ist eine der Herausforderungen für die Bewässerungslandwirtschaft. Regionen, in denen der Regenfeldbau dominiert, sind durch die Variabilität des Niederschlages sowie durch die Frequenz von extremen Niederschlagsereignissen und Überflutungen bedroht (Iqbal et al. 2009). Die Regelmäßigkeit, mit der Dürreperioden auftreten, lässt eine gewisse Vorhersagbarkeit vermuten, die eine Chance für Anpassungsstrategien sind (vorausgesetzt, diese Vorhersagbarkeit gilt auch für die Zukunft). Von Seiten der Wasserbewirtschaftung gäbe es die Möglichkeit, die vorhandenen Wasserspeicher während feuchterer Perioden zu füllen und die Entnahmen zu begrenzen, um den Wassermangel während anstehender Dürreperioden abzuf puffern (Zhu et al. 2014).

Das natürliche Wasserdargebot wird sich kurz- bis mittelfristig vermutlich nicht wesentlich in seinen Mengen – vielleicht aber im zeitlichen Verhalten – ändern, ein steigender Bedarf aufgrund des Bevölkerungswachstums ist jedoch unvermeidlich (Archer et al. 2010). Ein verbessertes und effizienteres Wasser-Management sowie Investitionen in angepasste Bewässerungstechnologien sind nach Zhu et al. (2014) die vielversprechendsten Maßnahmen, um den Wasserbedarf für die Landwirtschaft, Industrie, Haushalte und das Indus-Flussdelta bis 2050 zu decken und zu gewährleisten (Briscoe & Qamar 2006). Weiterhin müssen Maßnahmen getroffen werden, die der Land- und Bodendegradation durch Versalzung, Erosion und Desertifikation entgegen wirken (Iqbal et al. 2009; Piracha & Majeed 2011;

GWP/IWMI 2011). Um das Fortschreiten der Degradation des Ökosystems des Indusdeltas aufzuhalten, sind Maßnahmen erforderlich, die den Süßwasserzufluss erhöhen (geringere Entnahmen aus dem Fluss durch effizientere Wassernutzung).

Pakistan hat in den letzten Jahren zu wenig in die Wissensbasis über das komplexe Indusssystem und die Instandhaltung investiert. Bürokratie, Korruption, mangelnde Transparenz und die ungerechte Wasserverteilung verschlingen wertvolle Ressourcen und schüren Misstrauen bei den Wassernutzern (Briscoe & Qamar 2006). Zu den positiven Fakten zählt, dass Pakistan in der Vergangenheit scheinbar unüberwindbare Probleme, wie der Versalzung und der Staunässe im Bewässerungssystem, zumindest teilweise, in den Griff bekommen hat. Es besteht ein gut durchdachtes Konzept von Wasserrechten und Regeln der Verteilung und Nutzung, das eine solide Basis für eine Umsetzung darstellt, jedoch konsequenter umgesetzt werden müsste (Briscoe & Qamar 2006).

Nach Briscoe & Qamar (2006) gibt es die folgenden wesentlichen Herausforderungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Indus-Bewässerungssystems. 1. Entwicklung und Förderung von Weltklasse-Kapazitäten im Bereich Natur-, Ingenieurs- und Sozialwissenschaften um die Komplexität interdisziplinär zu erfassen und zu lösen. 2. Instandhaltung und –setzung sowie Erweiterung der Bewässerungsinfrastruktur. 3. Entwicklung eines institutionellen Rahmenkonzepts und Mechanismen, die Nachhaltigkeit, Flexibilität und Produktivität steigern und motivieren; dies betreffe weitreichende Änderungen des derzeitigen Ansatzes des Wassermanagements und Verlagerung von Kompetenzen.

Konkrete Maßnahmen

- Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität
 - Investitionen in Forschung, Infrastruktur und Bildung (Zhu et al. 2014)
 - Hitze- und trockenresistente Getreidesorten und Nutztierassen (Zhu et al. 2014; IUCN 2009; Iqbal et al. 2009; Wassmann et al. 2009)
 - Zeitliche Verschiebung der Aussaattermine in die kälteren Monate um 15-30 Tage (Ahmad et al. 2013; Sultana et al. 2009; Iqbal et al. 2009).
 - Angepasste Anbaumethoden für Reis (Iqbal et al. 2009; Wassmann et al. 2009)
 - Ausnutzung des positiven Effekts steigender Temperaturen auf die Produktivität von Weizen in humiden Regionen (Sultana et al. 2009).
 - Nivellierung der Äcker (Ahmad et al., 2013)
 - Optimierung der Effektivität und Ausweitung der Bewässerung, Technologie (Zhu et al. 2014, Ahmad et al. 2013; GWP/IWMI 2011)
 - Gerechtere Verteilung des Wassers im Bewässerungssystem. Oberlieger erhalten ausreichend Wasser aber Unterlieger oft nur unzureichend (GWP/IWMI 2011)
 - Frühwarnsysteme für Dürren, Überflutungen und Stürme (IUCN 2009; Iqbal et al. 2009)
 - Neben der landwirtschaftlichen Bewässerung über das Bewässerungssystem, sollten mehr Grundwasser-Ressourcen genutzt werden. Diese tragen etwa 40% zum gesamten Bewässerungswasser bei und sind ein wichtiger Puffer während Dürrezeiten. Unkontrollierte Entnahmen sind jedoch ein schwerwiegendes Problem und Herausforderung für das Wassermanagement (GWP/IWMI 2011).
- Wasserspeicher
 - Erweiterung der Wasserspeicherkapazität (Zhu et al. 2014; Piracha & Majeed 2011)

- Wasser kann nur bis zu 30 Tagen gespeichert werden (Asif 2013). Für eine bessere Bereitstellung für die landwirtschaftliche Produktion sowie für den Hochwasserschutz sollten die Kapazitäten ausgebaut werden.
- Verbessertes Management von Speicherung und Abgabe (Zhu et al. 2014)
- Lösung des Problems des sinkenden Speichervolumens durch Sedimente
- Aufforstung, z.B. um die Sedimentfrachten in die Stauseen zu minimieren (Asif 2013).
- Sonstiges
 - Größere Kapazitäten für Nahrungsmittelreserven, um Extremereignissen vorzusorgen (IUCN 2009)
 - Aufforstung, v.a. Mangrovenwälder (IUCN 2009)

4. Peru

Peru hat momentan etwa 31 Millionen Einwohner (Stand 2015). Davon leben etwa drei Viertel der Menschen in Städten (allein die Bevölkerung Limas beträgt annähernd zehn Millionen Menschen) und nur sechs Millionen im ländlichen Raum (FAO Stat 2015). Nach Schätzungen der FAO wird die Bevölkerung Perus bis 2050 um weitere zehn Millionen Menschen auf 41 Millionen ansteigen (FAO Stat 2015). Beim Human Development Index (HDI) liegt Peru auf dem 82. von 187 Plätzen (UNPD 2014). Nach dem Welthungerindex wird die Bedrohung als „mäßig“ eingestuft (Von Grebmer et al.



2014). Dies bezieht sich jedoch auf das ganze Land. In den ländlichen Regionen im Regenwald oder dem Hochland der Anden ist die Ernährungssituation häufig deutlich schlechter. Auf Provinzebene kann der Wert des HDIs um 400% abweichen und hat sich in den vergangenen zehn Jahren in einigen Regionen sogar verschlechtert (WHH/CO 2014). Zurückzuführen ist dies auf die ungleiche Entwicklung in städtischen und ländlichen Regionen. 13% der städtischen Bevölkerung zählen zu der Gruppe mit dem untersten sozioökonomischen Entwicklungsniveau, in den ländlichen Regionen sind es dagegen 84%. Obwohl in Peru genügend Nahrung für die gesamte Bevölkerung produziert wird, leiden insgesamt mindestens elf Millionen Menschen (38% der Bevölkerung) an Hunger und chronischer Unterernährung¹⁵. Die Hauptgründe sind mangelnde Verfügbarkeit und unzureichender Zugang zu Nahrung.

In Peru werden insgesamt nur 19% der Landfläche landwirtschaftlich genutzt, der größte Teil davon (78%) ist Weideland. Der Anteil der Ackerfläche an der gesamten Landfläche beträgt nur 3% (FAO Stat 2015). Die Landwirtschaft ist in weiten Teilen stark abhängig von den Wasserressourcen der Andengletscher. Diese Ressource ist stark gefährdet, da angenommen wird, dass die Gletscher in den nächsten zwei Jahrzehnten nahezu komplett abschmelzen könnten (ASP 2012; IDB 2012). Aufgrund seiner geographischen Lage zählt Peru zu den zehn Ländern der Welt, die am stärksten vom Klimawandel bedroht sind (GWP 2013). Der Klimawandel erschwert die Herausforderungen der Landwirtschaft, vor denen Peru ohnehin steht (ITC 2015). Aber auch ohne den Klimawandel stellen natürliche Phänomene wie El Niño, extreme Wetterereignisse, Erdbeben und Tsunamis eine Herausforderung für die Ernährungssicherung in Peru dar.

Die Karten in Abb. 6-9 im Anhang D zeigen die Orographie und die drei Landschaftsräume Perus. Letztere werden differenziert in die trockenen Küstenregionen (Costa, ca. 12% der Staatsfläche), den Andenraum und das Hochland (Sierra, ca. 28%) und den tropisch und subtropisch feuchten Regen- und Nebelwald (Selva, ca. 60%).

¹⁵ <http://www.foodsecurityportal.org/peru/resources>

1. Klima

1. Rezenten Klima, Trends der letzten Jahrzehnte, Charakterisierung der Besonderheiten (dürregeprägt, Extremereignisse etc.)



a) Niederschlagsverteilung

b) Temperaturverteilung

Quelle: http://www.bestcountryreports.com/Peru_Country_Reports.php#Maps

Abb. 4-1: Mittlere Niederschlagssummen (a) und Temperaturen (b) in Peru.

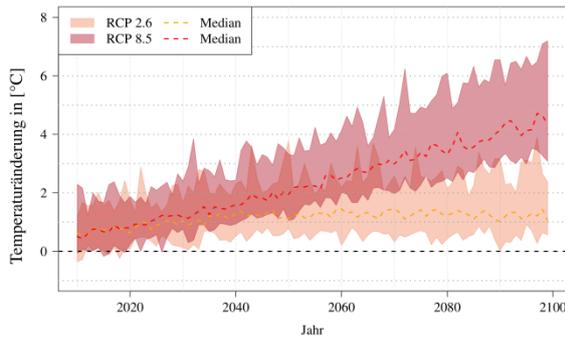
Die Summen der Jahresniederschläge in Peru sind sehr divers und reichen von unter 200 mm/a in den Küstenregionen bis über 3000 mm/a in der Selva (siehe Abb. 4-1a). Die höchsten Temperaturen werden in der Selva und in den Küstenregionen erreicht. Das Hochland ist durch niedrigere Temperaturen gekennzeichnet (siehe Abb. 4-1b).

In Peru gibt es unterschiedliche Niederschlagsregime, die entweder durch ganzjährige Niederschläge charakterisiert sind, wie im Nordosten des Landes, oder bei denen eine Trockenzeit (Winter) und eine Regenzeit (Sommer, September bis April) mit unterschiedlichen Intensitäten unterschieden werden können (siehe Abb. 6-10 im Anhang D).

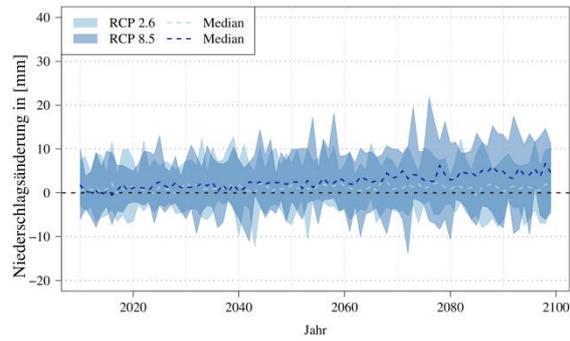
2. Klimaprojektionen

Die folgenden Grafiken basieren auf Projektionen zweier Klimaszenarien (RCP2.6 und RCP8.5) von 18 GCMs für Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen in Peru. Der Zeitraum 1970-1999 dient als Referenz für den Vergleich der beiden zukünftigen Perioden 2030-2059 und 2070-2099. Weitere Informationen zu den Klimaszenarien sind im Kapitel 1.4 und weitere Abbildungen im Anhang D zu finden.

Abb. 4-2 zeigt die Spanne der möglichen Entwicklungen der mittleren Jahrestemperaturen und –niederschläge als Gebietsmittel für Peru. In der Mitte des 21. Jahrhunderts kann mit einer Erhöhung der Temperaturen um 1,0°C bis 2,0°C im Vergleich zur Referenzperiode (1970-1999) gerechnet werden. Am Ende des 21. Jahrhunderts liegt die Spanne zwischen 1,5°C und fast 4,5°C. Für die Ermittlung der Temperaturerhöhung zur vorindustriellen Zeit müssen etwa 0,7°C dazu addiert werden. Die Summen der mittleren Jahresniederschläge zeigen einen positiven Trend, der unter RCP8.5 deutlich stärker ausgeprägt ist.



a) Jährliche Temperaturänderungen



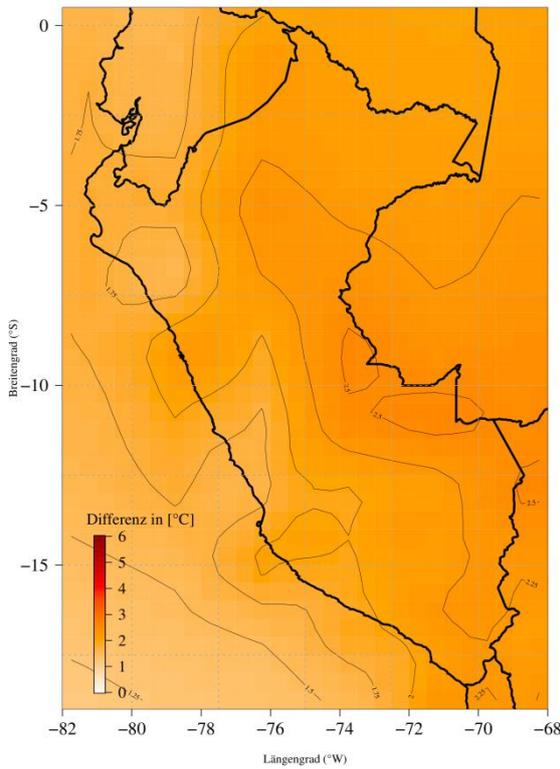
b) Jährliche Niederschlagsänderungen

Abb. 4-2: Projektion jährlicher Temperatur- (a) und Niederschlagsänderungen (b) relativ zum jährlichen Mittel in der Referenzperiode (1970-1999) basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

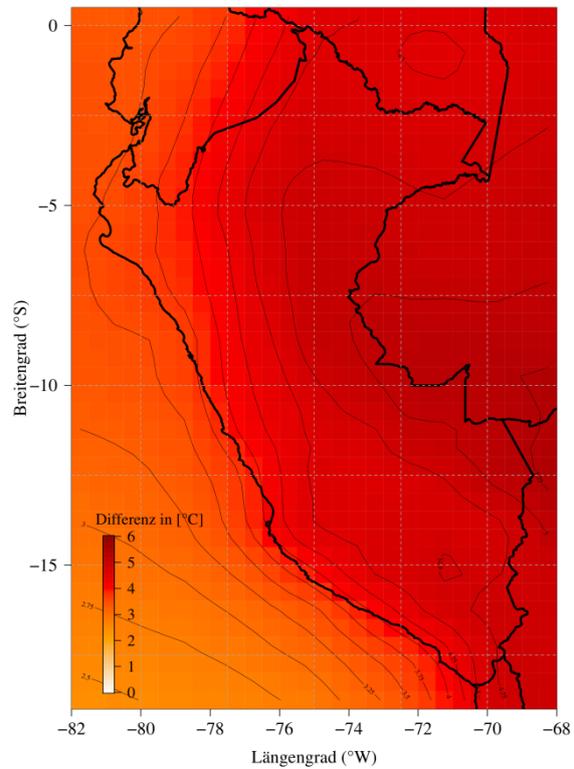
Abb. 4-3 (a und b) und Tabelle 4-1 zeigen die projizierten Temperaturänderungen für die beiden RCPs und Zeiträume (siehe auch Abb. 6-11 im Anhang D). In allen Teilen des Landes wird ein Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen erwartet, der sich tendenziell von Westen nach Osten entwickelt. Somit erfährt die Selva und der östliche Andenraum die größten Temperatursteigerungen.

Tabelle 4-1: Temperaturprojektionen

Szenario	2030-2059	2070-2099
RCP 2.6	+1.25 – 1.75°C	+1.25 – 1.75°C
RCP 8.5	+1.75 – 2.5°C	+3.5 – 5.0°C



a) RCP 8.5 (2030-2059)



b) RCP 8.5 (2070-2099)

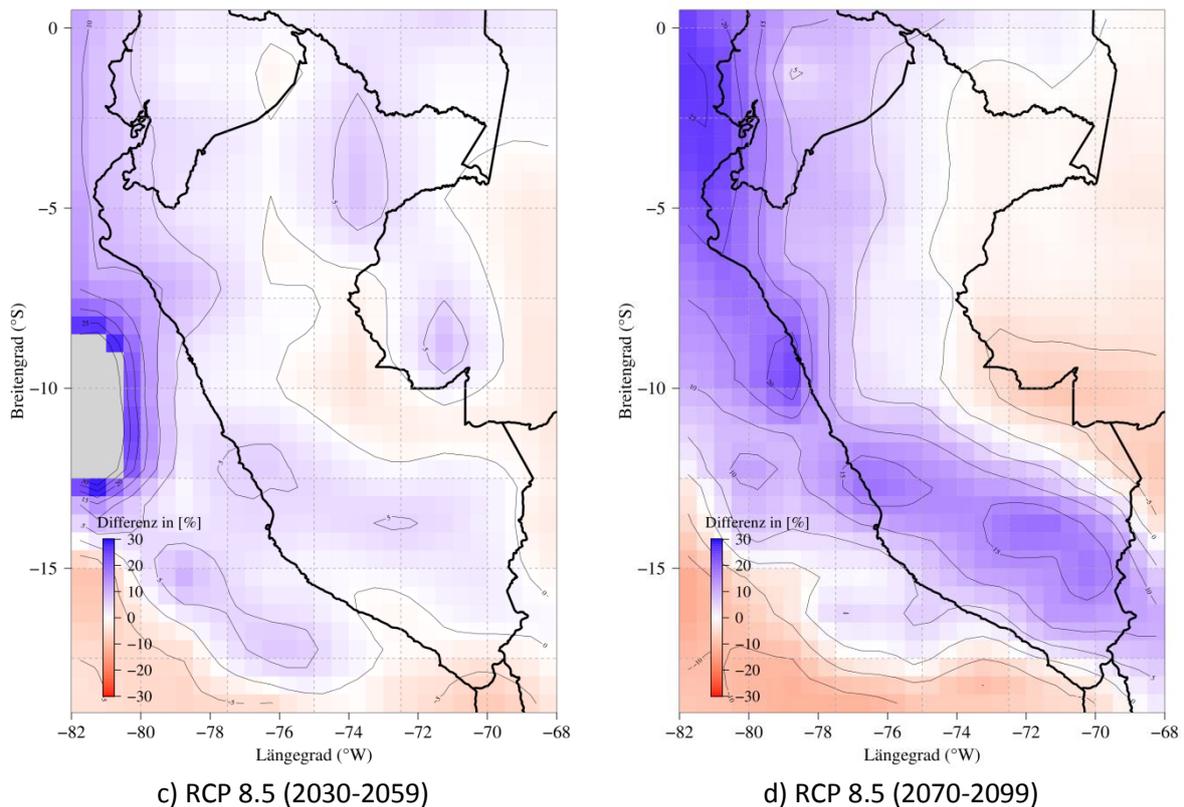


Abb. 4-3: Jährliche Temperatur- (a und b) und Niederschlagsänderungen (c und d) zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

Abb. 4-3 (c und d) und Tabelle 4-2 zeigen die Änderungen der mittleren Jahresniederschläge in Peru (siehe auch Abb. 6-12 im Anhang D). Im Landesmittel ist die Entwicklung in allen Zeiträumen und Szenarien positiv aber räumlich differenziert. Auffällig ist, dass sich die räumlichen Änderungsmuster im Nordosten des Landes in den beiden Zeiträumen unterscheiden. Im Zeitraum P1 wird eine Zunahme, im Zeitraum P2 eine Abnahme der Jahresniederschläge projiziert. Obwohl das Jahresmittel in beiden Szenarien und Zeiträumen positiv ist, sind tendenziell die Gebiete der Selva und die südlichen Küstengebiete von Niederschlagsabnahmen betroffen und für den Andenraum (Sierra) sowie die mittleren und nördlichen Küstengebiete werden Zunahmen projiziert.

Tabelle 4-2: Niederschlagsprojektionen

Szenario	2030-2059	2070-2099
RCP 2.6	-5.0 – (+)5.0%	-5.0 – (+)10.0%
RCP 8.5	-5.0 – (+)5.0%	-5.0 – (+)20.0%

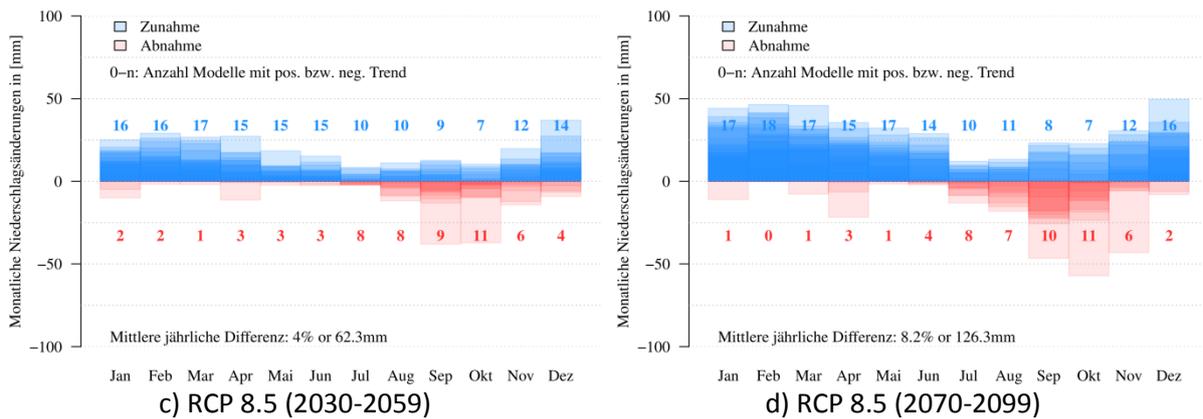


Abb. 4-4: Monatl. Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

In Abb. 4-4 sind die mittleren monatlichen Niederschlagsänderungen der 18 GCMs als Gebietsmittel über die Region, die in Abb. 4-3 dargestellt ist, abgebildet. Jedes GCM wird dabei durch einen halbtransparenten Balken angezeigt. Blaue Balken und Zahlen stehen für positive, rote für negative Entwicklungen. Je höher die Sättigung der Farbe, desto mehr Modelle stimmen in den jeweiligen Bereichen überein. Beide Szenarien zeigen in beiden Zeiträumen, mit unterschiedlicher Ausprägung, zwei Signale. Es gibt eine hohe Übereinstimmung für Zunahmen der monatlichen Niederschläge zwischen November und Juli. Im Zeitraum zwischen August bis Oktober (dem Beginn der Regenzeit in weiten Regionen Perus) sind die Signale der GCMs undifferenziert und zeigen keine konkreten Übereinstimmungen. Je nach Szenario und Zeitraum, gibt es Mehrheiten für Zu- aber auch Abnahmen der monatlichen Niederschläge.

Abb. 4-5 zeigt die projizierten Änderungen der Niederschläge für die ferne Zukunft unter RCP8.5, unterlegt mit dem Relief Perus, um die räumlichen Muster besser den Landschaftsräumen zuordnen zu können. Durch den generellen Anstieg der Jahresniederschläge könnte das Risiko von Überschwemmungen und Hangrutschungen an steilen Hängen in urbanen Regionen steigen, wo hauptsächlich die Ärmsten siedeln (World Bank, 2014). Der Temperaturanstieg in den vergangenen Jahrzehnten führte zu einem Rückgang der Gletscher in den tropischen Anden seit 1980 (IPCC 2013). Ein weiterhin massives Abschmelzen wird erwartet, bei dem bis zum Ende des Jahrhunderts 90% der Andengletscher in einem 2°C-Szenario oder ein komplettes Verschwinden in einer 4°C-Welt angenommen wird (World Bank 2014). Durch Wasserkraft werden 50-70% der elektrischen Energie in Peru erzeugt. Diese Energiequelle wird nach dem Abtauen der Gletscher stark eingeschränkt sein (ASP 2012; IDP 2012). Modellvergleichsstudien zeigen, dass unter einem Anstieg der globalen Temperaturen die Häufigkeit extremer El Niño-Ereignisse zunehmen, die sowohl Dürren als auch Überschwemmungen (abhängig von der Region in Peru) auslösen (World Bank 2014; GWP 2013).

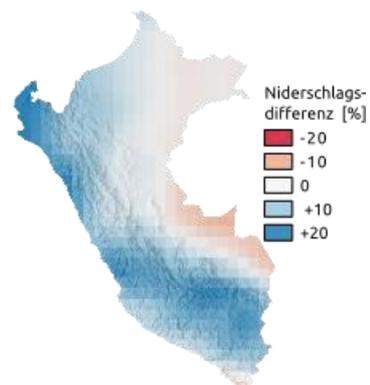


Abb. 4-5: RCP 8.5 (2070-2099)

2. Ernährungssicherung

1. Ausreichende Verfügbarkeit

Die wichtigsten angebauten Kulturen in Peru sind Mais (500 000 ha), Reis (400 000 ha), Kartoffeln (300 000 ha), Weizen und Gerste (beide 150 000 ha) und Quinoa mit 35 000 ha (FAO Stat 2015). Durch die

vielen Klimazonen, in denen sich Peru befindet, ist die Anbaueignung für die jeweiligen Kulturen sehr unterschiedlich. In den Tropen (Selva) können Mais und andere tropische Kulturen angebaut werden. Dies ist im Hochland (Sierra) aufgrund geringerer Temperaturen und in den Küstenregionen (Costa) aufgrund des geringen Wasserangebots nur begrenzt möglich. In den Hochlagen der Anden ist häufig die Wasserversorgung problematisch (da die Niederschlagsmenge gering ist (ca. 500 mm/Jahr), zum anderen haben die flachgründigen Böden nur eine sehr geringe Wasserspeicherfähigkeit.

Die Erträge für Kartoffeln liegen bei 13 t/ha, für Reis bei 7 t/ha, für Mais bei 3 t/ha, für Gerste und Weizen bei 1,5 t/ha und für Quinoa bei 1,0 t/ha (FAO Stat 2015). Diese Erträge sind zwar höher als z.B. die kenianischen Erträge, dennoch gibt es nach oben noch sehr viel Potenzial (e.g. Van Ittersum et al. 2013). Cabello et al. (2012) zeigen, dass verbesserte Sorten sowohl höhere als auch stabilere Erträge erzielen. Landrassen (traditionelle Sorten) sind eher trockenstressanfällig als die verbesserten Sorten.

Die projizierten Klimaänderungen (teilweise extrem stark ansteigende Temperaturen, siehe Abb. 4-3 a und b) sowie veränderte Niederschlagsmuster (Abnahmen sowie Zunahmen als auch zeitliche Veränderungen, siehe Abb. 4-3 (c und d) und Abb. 4-4) können weitreichende Konsequenzen für die landwirtschaftliche Produktion und die Wasserverfügbarkeit zur Folge haben. Aufgrund der räumlichen Heterogenität des Klimas und der Landschaft Perus, müssen die unterschiedlichen Landschaftsräume differenziert betrachtet werden.

Selva (Regen- und Nebelwälder)

Die für die Selva projizierten Abnahmen der Niederschläge stellen vermutlich keine Gefahr für Mensch und Ökosystem dar, da es sich um eine niederschlagsreiche Region handelt. Die starken Temperaturzunahmen, gerade in dieser Region (Abb. 4-3), könnten aber den Kakao- und Kaffeeanbau gefährden, die wichtige Exportprodukte und lokale Einnahmequellen darstellen. Geringe Überschreitungen von Temperaturtoleranzgrenzen führen dabei zu Qualitätseinbußen, starke Überschreitungen können zu Ernteverlusten oder –ausfällen führen. Besonders sensibel ist die Kaffeesorte Arabica (IDB 2012). Für das Nachbarland Ecuador, werden Verluste aufgrund des Klimawandels von 20% für Kakao und Kaffee bis zum Jahr 2080 angenommen (IDB 2012).

Sierra (Andenraum und Hochland)

Für die Region der Sierra werden zukünftig höhere Jahresniederschlagsmengen erwartet. Die daraus resultierenden Chancen und Gefahren sind abhängig von der Art der Niederschlagszunahme. Wird das Plus der Jahresmenge hauptsächlich durch Starkregenereignisse erzeugt, so steigt die Gefahr von Bodenerosion, Hangrutschungen und Ernteverlusten. Wie in Abb. 4-4 dargestellt, bestehen Tendenzen zu einer Verschiebung der Niederschlagsverhältnisse im Zeitraum zwischen August und Oktober, die offenbar bereits heute spürbar sind¹⁶. Dies entspricht in vielen Regionen Perus dem Beginn der Regenzeit und ist somit von außerordentlicher Bedeutung für die Landwirtschaft. Ohne Anpassungsmaßnahmen und verlässlichen kurz- bis mittelfristigen Wettervorhersagen besteht die Gefahr von Ernteverlusten.

Bislang sind in den Anden temperaturbedingt häufig nur Gerste, Hafer und Kartoffeln anbaubar. Mit steigenden Temperaturen steigt die Eignung für C₄-Pflanzen wie Mais. C₃-Pflanzen wie Soja oder Wei-

¹⁶ Most exposed are subsistence farmers who rely on rainfall patterns which are already changing¹⁷⁾

zen könnten in höher gelegenen Regionen angebaut werden. Aber auch die Ausbreitung von Kartoffelschädlingen könnte unter veränderten Klimabedingungen in den tropischen Andenregionen eine neue Dimension annehmen, da Gebiete von Schädlingen erschlossen werden können, die bislang nicht betroffen waren (Crespo-Pérez et al. 2015, IDB 2012). Weiterhin limitieren Temperaturerhöhungen und Wasserstress die Erträge von Kartoffeln (Cabello et al. 2012; IDB 2012).

Der Rückgang, oder gar das komplette Abtauen der Andengletscher, hätte weitreichende Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit in der Andenregion. Dies beträfe hauptsächlich die Trockenzeit zwischen Juni und August, in der die Gletscherschmelze bislang einen kontinuierlichen Beitrag zum Wasserdargebot leistet.

Hauptsächlich Frauen, Kinder und die indigene Bevölkerung in hohen Lagen der Anden werden durch Veränderungen der Gletscherschmelze und der Schneeverhältnisse einem erhöhten Risiko durch Überschwemmungen und Wassermangel ausgesetzt sein (World Bank 2014). In der nördlichen und zentralen Sierra ist die Ernährungssicherung von mehr als fünf Millionen Menschen gefährdet, wo vermehrtes Auftreten von Frost und Dürren die Landwirtschaft und die Viehhaltung bedroht¹⁷.

Costa (Küstengebiete)

In den trockenen Küstengebieten – in denen etwa 53% der Bevölkerung leben (GWP 2013) – wird hauptsächlich Bewässerungsfeldbau praktiziert. Der landwirtschaftliche Wasserbedarf wird zu großen Teilen aus der Gletscherschmelze gedeckt. Unter den für das 21. Jahrhundert projizierten Klimawandelbedingungen besteht ein hohes Risiko, dass in der trockenen Jahreszeit (Juni und August) die Wasserverfügbarkeit bei weitem nicht ausreichend sein wird. Die projizierte Erhöhung der Jahresniederschläge in der Küstenregion wird diesen Verlust vermutlich nicht ausgleichen können.

In den Küstenregionen Perus spielt der Fischfang eine zentrale Rolle für die Ernährung und Ökonomie. Durch den Klimawandel sind die Fischbestände und damit die Nahrungsgrundlage für die Bewohner der Küstenregionen bedroht (Allison et al. 2009). Aufgrund der projizierten Temperatursteigerungen, der Bedeutung der Fischerei für die Ökonomie sowie des geringen Anpassungspotenzials, zählt Peru, aus der Perspektive der Fischerei, zu den Ländern mit der höchsten Vulnerabilität gegenüber Klimaänderungen (Allison et al. 2009).

2. Sicherer Zugang zu Nahrungsmitteln

Für den Aspekt der Ernährungssicherung aus den Beiträgen der Subsistenzwirtschaft, gelten dieselben Punkte, die unter 1 aufgeführt wurden. Ergänzend sei erwähnt, dass 50% der peruanischen Bevölkerung unterhalb der Armutsgrenze leben und viele Kleinbauern an chronischer Unterernährung leiden (IFAD 2012b).

Der Anteil der Nahrung, der nicht aus Subsistenzwirtschaft gedeckt wird, muss dazu gekauft werden. In Peru gibt es große Einkommensdisparität und ein starkes Gefälle von städtischer zu ländlicher Bevölkerung. In Minaflores Lima liegt das durchschnittliche Einkommen bei 19\$ pro Tag und in der ärmsten Region Chugay La Libertad bei 1\$ pro Tag¹⁸. Die effektive Kaufkraft für Nahrungsmittel ist dabei abhängig von den Nahrungsmittelpreisen, die nicht nur regional sondern auch global vom Klimawandel

¹⁷ <http://www.perusupportgroup.org.uk/news-article-692.html>

¹⁸ <http://www.perusupportgroup.org.uk/news-article-692.html>

beeinflusst werden. Obwohl Peru zwischen 2002 und 2012 eine Zuwachsrate des BIPs von 6,4% verzeichnen konnte und das durchschnittliche Einkommen pro Kopf um 50% anstieg, plagen extreme Armut und ungleiche Einkommensverteilung das Land (IFAD 2012b). Trotz vieler Regionen, die in Peru als ernährungsunsicher gelten, hat sich das Land in den vergangenen 15 Jahren zu einem Exporteur von Früchten und Gemüse (z.B.: Spargel, Artischocken und Trauben) entwickelt (Meade et al. 2010). Von dieser Entwicklung profitieren jedoch zu wenige Menschen.

In vielen Regionen in den Anden und im Regenwald ist die Infrastruktur aufgrund der geringen Bevölkerungsdichte deutlich schlechter als in den Küstenregionen. Straßen sind häufig nicht besonders gut ausgebaut bzw. durch Erdbeben zeitweise nicht passierbar. Durch den Klimawandel (vermehrte Extremereignisse) könnte die Gefahr bestehen, dass sich die Anzahl nicht passierbarer Straßen erhöht. Der starke Urbanisierungstrend in Peru (vor allem nach Lima) macht den ländlichen Raum unattraktiver und verhindert Infrastrukturprojekte. Diese wären notwendig, um die Verteilung von Nahrungsmitteln zu erleichtern und würden zugleich einer Verteuerung der zu transportierenden Produkte in schlecht zugängliche Regionen entgegenwirken.

3. Bedarfsgerechte Verwendung und Verwertung der Nahrungsmittel

Etwa elf Millionen Menschen, mehr als ein Drittel der Bevölkerung, können den minimalen Kalorienbedarf von 2100 kcal nicht decken und mehr als 18% der Kinder unter fünf Jahren leiden an chronischer Unterernährung¹⁹. „Versteckter Hunger“ oder Anämie sind ein weiteres ernstes Problem der Ernährungssicherung unter der 50% der Kinder unter fünf Jahren und 42% der schwangeren Frauen leiden. Unterernährung und Mikronährstoffmangel stehen nicht nur in Verbindung mit Armut sondern auch mit geringer Bildung der Mütter sowie neuen Ernährungsgewohnheiten in den Städten (WHH/CO 2014).

Zur Nahrungszubereitung ist Wasser in ausreichender Menge und Qualität notwendig. Die Wasserqualität ist, v.a. in Regionen, in denen Bodenschätze abgebaut werden stark gefährdet. Der Klimawandel kann hier zur Reduzierung des Dargebots und somit auch indirekt zu verminderter Qualität beitragen, wenn Schadstoffkonzentrationen aufgrund geringerer Wassermengen steigen.

Durch veränderte Klimabedingungen könnte die Kartoffeldiversität verloren gehen, dies vermindert den Vorteil einer weiteren Nahrungsdiversität (Burlingame et al. 2009).

4. Zeitliche Beständigkeit

Die Gründe, die zu der hohen Anzahl unter- und mangelernährter Menschen in Peru beitragen, resultieren aus einem erschwerten Zugang zu Lebensmitteln, unzureichender Kinderpflege und -betreuung, Fehlernährung, und geringem Bildungsniveau¹⁹.

Die zeitliche Beständigkeit der Verfügbarkeit, des Zugangs und der Nutzung von Nahrungsmitteln ist mittel- bis langfristig stark durch das Wasserdargebot der abtauenden Andengletscher und die Auswirkungen des El-Niño Phänomens (Dürren und Überflutungen, Fischarmut an der Pazifikküste) gefährdet.

¹⁹ <http://www.foodsecurityportal.org/peru/resources>

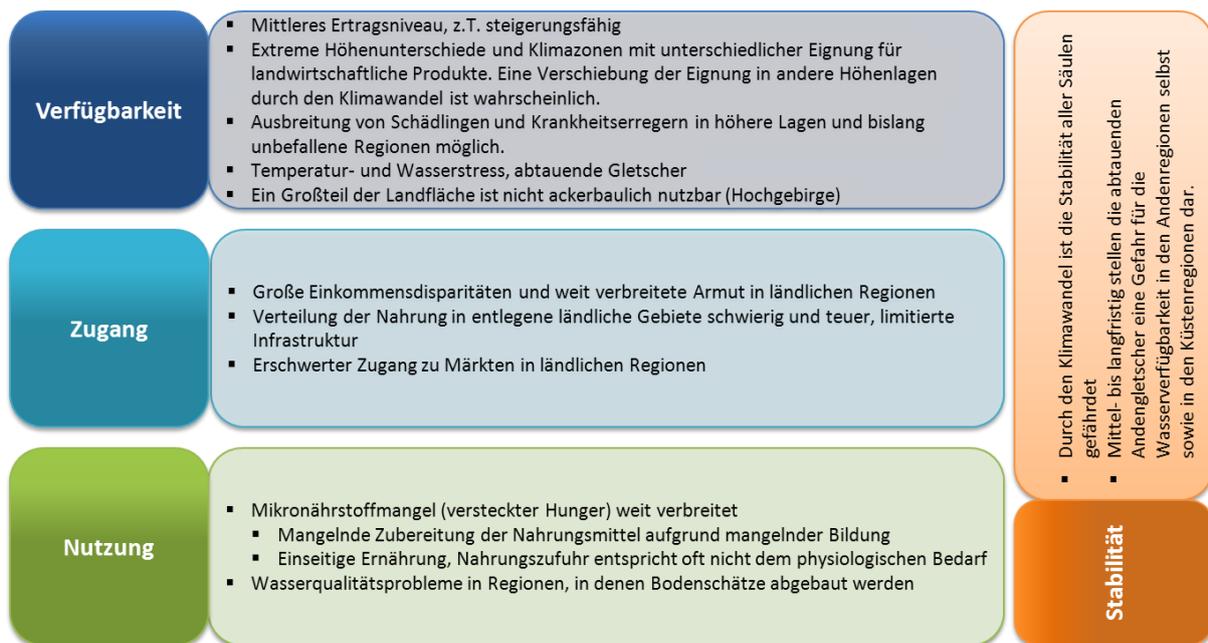


Abb. 4-6: Merkmale der vier Säulen der Ernährungssicherung in Peru und potenzielle Auswirkungen des Klimawandels.

3. Handlungsbedarf

Aufgrund der großen Disparität des Einkommens, der Lebensstandards und der Ernährungssituation zwischen ländlichen und städtischen Regionen, sollte die nachhaltige Entwicklung der ländlichen Regionen priorisiert werden. Von besonderer Bedeutung ist hier die Stärkung der Subsistenzwirtschaft, um die Abhängigkeiten von externen Ressourcen (u.a. Nahrungsmittel) zu verringern. Hierzu müssen Investitionen getätigt werden, die auf eine Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produktion im Einklang mit dem Klimawandel abzielen. Die Unterstützung von Kleinbauern ist in diesem Zusammenhang vielversprechend (Bellon et al. 2015). Die Mehrzahl der befragten Exporteure landwirtschaftlicher Produkte in Peru messen den Herausforderungen des Klimawandels den gleichen Stellenwert wie logistischen und transportbedingten Herausforderungen bei (ITC 2015). Mit dem Klimawandel wird sich die Anbaueignung für viele landwirtschaftliche Produkte verändern. Aufgrund der extremen Höhenunterschiede in Peru, werden sich potenzielle Anbaugelände nicht zwangsläufig verringern sondern in andere Höhenlagen verschieben. Niederschlagsmuster, hauptsächlich zu Beginn der Regenzeit, könnten sich verändern. Diese Erkenntnisse müssen einerseits weiter erforscht werden, um die möglichen Konsequenzen zu verstehen und herkömmliche Anbaumethoden anzupassen (z.B. angepasste hitze- und trockenresistente Sorten, Bewässerungstechniken, veränderte Aussattermine, bisher nicht bewirtschaftete Regionen). Dieses Wissen muss an die Bevölkerung über Forschungs- und Bildungsprogramme herangetragen werden, in denen die ländliche Bevölkerung die Möglichkeit hat aktiv mitzuwirken, um ihr lokales Wissen einzubringen. Weiterhin müssen Anreize für Landwirte geschaffen werden, damit klimaangepasste Praktiken umgesetzt werden (IDB 2012).

Von Dürren und Überschwemmungen, die in Peru hauptsächlich auf das El-Niño-Phänomen zurückzuführen sind, sind hauptsächlich Menschen in schlecht zugänglichen Regionen betroffen. Um in solchen Situationen effektive Hilfe leisten zu können, ist ein Ausbau der Infrastruktur (hauptsächlich Straßen) (IDB 2012) erforderlich.

Zur Verbesserung der Ernährungssicherung und dem Phänomen des versteckten Hungers durch Fehl- und Mangelernährung entgegenzuwirken, bedarf es Hilfs- und Bildungsprogramme. In diesem Bereich könnten NROs einen wertvollen Beitrag leisten, deren Arbeit jedoch in Peru bislang keine bedeutsame Tradition haben (WHH/CO 2014).

Das Abtauen der Andengletscher ist ein ernstzunehmendes Problem für die Wasserversorgung in Gebieten, die stark von dieser Ressource abhängig sind. Mittelfristig wird das Abtauen der Gletscher zu einem höherem Wasserdargebot führen, langfristig jedoch zu Wassermangel, hauptsächlich in niederschlagsarmen Regionen, wie den stark besiedelten Küstengebieten. Laut GWP (2013) gibt es ein hohes Potenzial Wasser einzusparen, da die momentane Ineffizienz der Wassernutzung in sämtlichen Sektoren auf 60% geschätzt wird.

Maßnahmen (zusammengefasst)

- Landwirtschaftliche Produktion
 - Forschungs- und Bildungsprogramme zur Anpassung der Bewirtschaftung an den Klimawandel (andere Höhenlagen, andere Aussaattermine, verbesserte Sorten, Verbreitung von Schädlingen und Krankheiten)
 - Steigerung der Wassernutzungseffizienz. Die Ineffizienz der Wassernutzung und sämtlichen Sektoren wird auf 60% geschätzt (GWP 2013).
- Bildungsprogramme zur Vorbeugung von Unter- und Mangelernährung
 - Stärkere Einbindung bzw. Etablierung von NROs im Gesundheitssektor, in der Alten- und Krankenpflege und im Umweltschutz (WHH/CO 2014).
- Verbesserung der Infrastruktur (hauptsächlich Straßen) (IDB 2012).
- Wassermanagement
 - Vorbereitung und Auseinandersetzung mit der Wassermangelsituation, die nach starkem Rückgang der Andengletscher eintreten wird.
 - Wassersparprogramme in Städten und der Landwirtschaft

5. Fazit

1. Globaler Ausblick und Handlungsbedarf

In der Mitte des 21. Jahrhunderts werden voraussichtlich neun Milliarden oder mehr Menschen auf der Erde leben. Den zukünftigen Nahrungsmittelbedarf abzuschätzen ist eine schwierige Aufgabe, verbunden mit vielen Unsicherheiten bezüglich wirtschaftlicher Entwicklungen, zukünftiger Ernährungsgewohnheiten, des Konsumverhaltens und Verlusten in der Wertschöpfungskette. Modellrechnungen unter verschiedenen Szenarien zufolge wird sich der Nahrungsmittelbedarf im Jahr 2050 mehr als verdoppeln (Tilman et al. 2011; Pradhan et al. 2015; Godfray 2011; Godfray et al. 2010). Die globalen landwirtschaftlichen Erträge sind je nach Szenario rückläufig wobei sich die Verluste mit steigender Globaltemperatur erhöhen. So werden Ertragseinbußen bis 2050 auf 10% bis 38% geschätzt (Müller & Robertson 2014; Rosenzweig et al. 2014; Nelson et al. 2014). Wenn die Anpassungen an den Klimawandel nicht konsequent umgesetzt werden und die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion nicht entsprechend gesteigert wird, dann besteht die Gefahr, dass im Jahr 2050 zwischen zwei und fünf Milliarden Menschen nicht angemessen ernährt werden können (Sakschewski et al. 2014). Ausichtsreiche Ertragssteigerungspotenziale gibt es sowohl im Regen- als auch im Bewässerungsfeldbau (z.B. durch den Anbau stressresistenter Sorten). Etwa 24% der globalen landwirtschaftlichen Flächen werden bewässert und produzieren etwa 40% der gesamten Ernten, obwohl die Effizienz vieler Bewässerungssysteme oft unter 50% liegen (Jägermeyr et al. 2015). Die Potenziale, die Wassermengen beim Bewässerungsfeldbau mittels Effizienzsteigerungen zu reduzieren sind hoch. Durch Optimierung und Anpassung an den Pflanzenbedarf und Verminderung der Verluste durch Verdunstung und Versickerung, kann der Wasserbedarf verringert werden.

Wie im Kapitel 1.2 diskutiert, können wetterbedingte Extremereignisse hohe Ertragseinbußen in Hauptproduktionsregionen verursachen, die sich empfindlich auf Weltmarktpreise für Grundnahrungsmittel auswirken können. Seit 2008 gibt es einen Trend zu steigenden Nahrungsmittelpreisen, in denen beträchtliche Preisspitzen auftreten können (IPCC 2014b). Diese Preisentwicklungen sowie starke Schwankungen treffen hauptsächlich Agrarimportländer und deren ärmsten Bevölkerungsgruppen. Sie beeinflussen das ökonomische Wachstum vieler Entwicklungsländer, das als wichtiger Pfeiler für nachhaltige Entwicklung gilt und potenziell zur Armutsbekämpfung beiträgt (ODI 2014). Preisspitzen werden u.a. durch Produktions- und Nachfrageschocks, Terminmarktgeschäfte, den Rohölpreis und der Nachfrage nach Biokraftstoffen ausgelöst. Die Nahrungsmittelkrise von 2008 wurde z.B. durch die Kombination aus einer generellen Verminderung der landwirtschaftlichen Produktivität und Politikversagen ausgelöst. Letztere ergaben sich aus Exportbeschränkungen einiger Länder, fehlender Transparenz auf den Märkten und schlechten Regulierungen des finanziellen Engagements in Agrarmärkten (Wheeler & von Braun 2013).

Ausländische Direktinvestitionen in Agrarland („Land Grabbing“) können sich negativ auf die lokale Ernährungssicherheit auswirken. Häufig befindet sich dieses Agrarland in Regionen, die von der FAO als „Länder mit unsicherer Ernährungssituation“ eingestuft wurden (Land Matrix Global Observatory 2015). Unter Berücksichtigung sozialer Aspekte könnten Direktinvestitionen aber auch einen Beitrag zur Entwicklung einer Region leisten (z.B. Modernisierung der Technologie, Arbeitsplätze, Effektivitätssteigerung in der Produktion). Nach Rulli et al. (2013) und D’Odorico (2014) könnten bis zu 370 Millionen Menschen zusätzlich mit Nahrung versorgt werden. Die Ernährungssituation kann sich jedoch verschlechtern, sofern keine oder nur schlecht entlohnte Arbeitsplätze für die lokale Bevölkerung geschaffen werden, Menschen umgesiedelt werden, die gesamte Produktion exportiert wird, der Boden nicht

nachhaltig bewirtschaftet wird und die lokalen Wasserressourcen durch Bewässerung nicht mehr für die lokale Bevölkerung ausreichen (Rulli et al. 2013). Um zu gewährleisten, dass Direktinvestitionen in Agrarland einen positiven Beitrag zur Ernährungssicherung leisten, müssen international verbindliche Regelungen aufgestellt und überwacht werden.

Klimaschutzziele können in Konflikt mit der Ernährungssicherung geraten, wenn der Anbau von Biokraftstoffen in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion steht. Lotze-Campen et al. (2014) zeigen wiederum, dass ein vermehrter Bedarf an Biokraftstoffen, als Maßnahme für den Klimaschutz, zukünftig nicht zwangsläufig für hohe Preise von Agrarprodukten verantwortlich sein muss. Auch in einem ambitionierten Klimaschutzszenario mit hohem Anteil an Biokraftstoffen, könnte eine maximale Preiserhöhung von etwa 5% bis 2050 eingehalten werden, wenn potentiell verfügbare Flächen genutzt werden, die nicht mit Flächen für Lebensmittelproduktion konkurrieren bzw. Pflanzen für die Produktion von Biokraftstoffen verwendet / angebaut werden, die einen hohen Wirkungsgrad haben (schnell wachsende Gräser oder Bäume). Die Effekte des Klimaszenarios mit den höchsten angenommenen Emissionen zeigen dagegen einen weitaus höheren Einfluss auf die Preissteigerung (bis zu 25%).

Im OECD-FAO Ausblick für 2011-2020 (OECD/FAO 2011) wird angenommen, dass in Zukunft:

- hohe und schwankende Nahrungsmittelpreise dominieren werden – eine Gefahr für die Ernährungssicherung armer Bevölkerungsschichten in vielen Entwicklungsländern,
- das Speichern/Lagern von Lebensmitteln sich auf die Schwankung der Preise auswirken wird,
- Produktionskosten aufgrund höherer Energiekosten steigen werden,
- die Agrarproduktion langsamer als in vorherigen Jahrzehnten steigen wird,
- eine Steigerung der Fischproduktion nur auf der Grundlage von Aquakulturen erreicht werden kann, und
- die Nachfrage an Fleisch und Milchprodukten hauptsächlich in sich entwickelnden Regionen (Osteuropa, Asien und Lateinamerika) steigen wird.

Wie in den vorherigen Kapiteln geschildert, ist die Ernährungssicherung auf Haushaltsebene nicht ausschließlich von lokalen und regionalen Bedingungen abhängig, sondern muss auch im Kontext komplexer globaler Zusammenhänge zwischen Produktion und Handel gesehen werden. Im Rahmen des Ziels einer globalen nachhaltigen Ernährungssicherung müssen diese Herausforderungen als globale Aufgabe betrachtet und gelöst werden. Hierzu gehören unter anderem: die landwirtschaftliche Produktion nachhaltig zu erhöhen, die Verteilung von Nahrungsmitteln sowohl global als auch regional gerecht zu gestalten, die Weltmarktpreise für Grundnahrungsmittel zu stabilisieren, die globale Erwärmung und den Klimawandel aufzuhalten (Mitigation) sowie geeignete Anpassungsmaßnahmen (Adaptation) umzusetzen, die in Entwicklungsländern durch die Hauptverursacher des Klimawandels (Industrieländer) finanziell und technologisch unterstützt werden müssen. Diese Verantwortung ergibt sich nicht allein aus dem Verursacherprinzip sondern basiert zudem auf der Tatsache, dass in den Weltregionen, die am härtesten vom Klimawandel betroffen sind und sein werden, hauptsächlich Entwicklungsländer liegen. Deren Anpassungskapazitäten sind wesentlich geringer und es besteht die Gefahr, dass neue Bevölkerungsgruppen in die Armut getrieben, Ressourcen-Konflikte entstehen und Migrationsströme ausgelöst werden (World Bank 2014). Neben den Gefahren des Klimawandels müssen auch dessen Potenziale erkannt und genutzt werden, auch wenn diese regional begrenzt sein können.

Ziele und Maßnahmen (zusammengefasst):

- Nachhaltige Intensivierung/Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion (angepasste Sorten, Anbaumethoden, Optimierung der Bewässerung, Investitionen in Technologie und Forschung)
- Einhaltung des 2°C-Ziels, um Ertragsverluste zu minimieren (Reduzierung der CO₂-Emissionen, Förderung regenerativer Energien, Aufforstung etc.)
- Verringerung der Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Biokraftstoffanbau
- Nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung der Entwicklungsländer (Technologietransfer und Forschung ist notwendig, um die extreme Karbonisierungsphase, die heutige Industrieländer durchlaufen haben, zu vermeiden)
- Besserer Zugang zu (Mikro-)Krediten und Versicherungen gegen Ernteauffälle v.a. für Kleinbauern (in Entwicklungsländern)
- Reduzierung des Bedarfs (optimierte Wertschöpfungskette, weniger Verluste, Änderungen der Ernährungsgewohnheiten, z.B. weniger Fleischkonsum)
- Armutsbekämpfung
- Stabilisierung und Transparenz der Weltmarktpreise für Nahrungsmittel (z.B. durch Erhöhung des Angebots basierend auf nachhaltiger Intensivierung)
- Regulierung der ausländischen Direktinvestitionen in Agrarland

2. Fazit: Fallstudienländer

Bei den Ursachen der Ernährungsunsicherheit, den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels und den möglichen Anpassungsstrategien gibt es sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede in den drei Fallstudienländern. Eine Differenzierung der Analysen innerhalb eines Landes für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen, Landschaftsräume oder Klimazonen konnte im Rahmen dieser Studie jedoch nur ansatzweise durchgeführt werden. Um regionalspezifischere Handlungsoptionen zu erarbeiten, müsste an dieser Stelle weiter in die Tiefe gegangen werden.

Alle drei Fallstudienländer sind auf die eine oder andere Art **extremen Umweltbedingungen** ausgesetzt, bei denen wetterbedingte Extremereignisse die Ernährungssicherheit, zumindest temporär oder saisonal, gefährden. Dürren und Überflutungen bedrohen in gewisser Regelmäßigkeit die Ernte und wirken sich in allen drei Ländern negativ auf die Lebensbedingungen aus. Pakistan ist z.B. das Land, das in jüngster Vergangenheit am stärksten von Überflutungen betroffen war. Neben klimatischen Herausforderungen (Regen- und Trockenzeit, saisonale oder permanente Trockenheit, extreme Hitze, Starkniederschläge etc.), spielen in Peru und Pakistan auch geländespezifische Merkmale eine Rolle. Extreme Höhenlagen oder stark zerklüftetes Relief schränken die Zugänglichkeit vieler ländlicher Regionen stark ein. Umweltbedingt, ist die potentielle ackerbauliche Nutzfläche in allen drei Ländern limitiert (Relief, Zugänglichkeit, klimatisch ungeeignet).

In unterschiedlichem Maße gibt es in allen drei Ländern **Potenziale zur Ertragssteigerung**. Maßnahmen zur Ertragssteigerung umfassen den Einsatz von angepassten, hitze- und trockenresistenten Sorten, Anpassung der landwirtschaftlichen Praxis (z.B. Optimierung des Düngereinsatzes, Bewässerung, Effizienzsteigerung und Minimierung der eingesetzten Ressourcen) sowie der Reduktion von Verlusten in der Wertschöpfungskette. In Kenia besteht, im Fallstudienvergleich, das größte Potenzial zur Ertragssteigerung, das hauptsächlich durch optimierte Nährstoff- und Wasserzufuhr (Düngung und Bewässe-

rung) ausgeschöpft werden könnte. In Pakistan besteht die Notwendigkeit, die verfügbaren Wasserressourcen im weltweit größten zusammenhängenden Bewässerungssystem effizienter zu nutzen, die Verteilung gerechter zu gestalten sowie die Wasserverfügbarkeit durch Speicherung zu erhöhen. Bei weiterhin steigenden Temperaturen wird das Temperaturoptimum für Weizen und Reis deutlich überschritten werden, was sich negativ auf Erträge und Qualität auswirken wird. In Peru wird der Klimawandel eine Anpassung der Bewirtschaftung in unterschiedlichen Höhenlagen notwendig machen. Durch die Erwärmung verändert sich die Eignung für bestimmte Sorten in den Höhenlagen. So könnte zukünftig vermutlich Mais in den Anden angebaut werden und Gerste, Hafer und Kartoffeln in höheren Lagen als heutzutage. Veränderte klimatische Bedingungen könnten jedoch auch die Ausbreitung von Schädlingen in Regionen begünstigen, die heutzutage nicht betroffen sind. Steigende Temperaturen können sich negativ auf die Anbaueignung und Qualität der wirtschaftlich wichtigen Exportgüter Kakao und Kaffee auswirken.

Eine gemeinsame Besonderheit zwischen Peru und Pakistan besteht in der **Abhängigkeit von der Art der Hauptwasserquelle** für die städtische, industrielle, und landwirtschaftliche Nutzung. Die trockene Küstenregion in Peru sowie ein großer, niederschlagsarmer Teil Pakistans (Induseinzugsgebiet), sind quasi komplett von einer externen Wasserquelle abhängig, den Gletschern bzw. den Niederschlägen im Gebirge. Im Falle von Peru befindet sich diese innerhalb des Landes, in Pakistan nur teilweise. Hier bestimmt also nicht hauptsächlich der Niederschlag in der Region selbst das Wasserdargebot, sondern die Schmelzwässer der Gletscher und Abflüsse der Gebirgsregionen. Die Projektionen über die Entwicklung der Gletscher in Peru und Pakistan könnten nicht unterschiedlicher sein. Die Fläche der Andengletscher hat sich in den letzten Jahrzehnten bereits um 30 bis 50% reduziert und sie könnten in den nächsten Jahrzehnten komplett abtauen, mit weitreichenden Folgen für die Anden- und Küstenregionen. Die Gletscher, die Pakistan mit Wasser versorgen, erfuhren in der Vergangenheit entweder eine Stagnation oder sogar einen Zuwachs. Unter Klimawandelbedingungen ist jedoch auch hier mit einem Rückgang zu rechnen. In Kenia sind die Menschen hingegen in allen Regionen unmittelbar vom Niederschlag abhängig. Diese Umstände sind v.a. im Zusammenhang mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen bedeutungsvoll.

Alle drei Länder sind in hohem Maße von **Mangel- und Unterernährung** betroffen, wo großen Teilen der Bevölkerung die empfohlene kalorische Energiezufuhr von 2100 kcal nicht zur Verfügung steht. Einseitige Ernährung, meistens bedingt durch Armut oder mangelnde Verfügbarkeit ausgewogener Nahrung, mangelnde Bildung oder mangelnde Ressourcen bei der Zubereitung der Nahrung aber auch der Lebenswandel bei wohlhabenden Bevölkerungsgruppen führen zu Mikronährstoffmangel, an dem etwa zwei Milliarden Menschen weltweit leiden.

Obwohl viele Aspekte der Ernährungsunsicherheit in den drei Fallstudienländern im Zusammenhang mit erschwerten klimatischen und anderen Umweltbedingungen stehen, sind die **Hauptursachen für die Ernährungsunsicherheit** eher struktureller Natur. Die ungleiche und ungerechte Verteilung der verfügbaren Ressourcen, chronische Armut, die oft ineffiziente Bewirtschaftung mit hohen Verlusten, mangelhafte oder fehlende Planung der Ressourcennutzung, geringes Bildungsniveau, Genderaspekte, hohes Bevölkerungswachstum, politische Machtstrukturen, Landeigentumsverhältnisse etc. leisten einen wesentlichen Beitrag zur aktuellen Ernährungssituation. Der projizierte Klimawandel wird die Ernährungsunsicherheit in den Fallstudienländern tendenziell verschärfen, vor allem wenn notwendige Anpassungsstrategien nicht konsequent erforscht und umgesetzt werden. Der globale Wandel kann sich sowohl positiv (Wissenstransfer, Mobilität, Verkauf von Agrarprodukten auf dem Weltmarkt etc.)

als auch negativ (z.B. Abhängigkeit von Importen und Weltmarktpreisen) auf die wirtschaftliche Entwicklung und Ernährungssicherung auswirken.

Das steigende **Bevölkerungswachstum** und dem damit verbundenen steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln, wird hauptsächlich in Kenia (2,6%) und Pakistan (2,1%) negativ auf die Ernährungssicherung wirken. In Peru liegt das Bevölkerungswachstum bei 1,3%²⁰. Die **Ungleichverteilung von Ressourcen** ist besonders hoch in Kenia und Peru, die mit einem GINI-Index²¹ von 43 beziehungsweise 45 eingestuft werden. Peru könnte aufgrund der Verfügbarkeit der natürlichen Ressourcen genügend Nahrung für alle Einwohner produzieren. Die starke Diskrepanz der Einkommen und der Verteilung der Ressourcen äußert sich jedoch in weit verbreiteter Armut und Ernährungsunsicherheit in großen Teilen der Bevölkerung. Nicht nur in Peru, sondern in allen drei Fallstudienländern gibt es ein starkes Gefälle zwischen Stadt und Land. Es leiden hauptsächlich **Menschen in ländlichen Regionen** unter mangelnder Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln für eine ausgewogene Ernährung. Dort gibt es in der Regel einen schlechteren Zugang zu Märkten, die Armut ist ausgeprägter und schränkt somit die nötige Kaufkraft ein, um das Nahrungsangebot durch Zukauf aufzustocken. Aus Sicht der Ernährungssicherung sind Infrastrukturprojekte zur Erschließung ländlicher Regionen und Bildungsprojekte wichtige Maßnahmen zur Reduzierung der Mangel- und Unterernährung. Politische und ethnische **Konflikte**, Unruhen **und militante Auseinandersetzungen** sind ein weiteres Merkmal der drei Fallstudienländer, die oft nachhaltige negative Konsequenzen für die Ernährungssicherung bestimmter bzw. benachteiligter Bevölkerungsgruppen haben.

²⁰ <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW>

²¹ <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2172rank.html>

6. Literatur

- Adenle, A. a., Morris, E.J., Parayil, G. (2013): Status of development, regulation and adoption of GM agriculture in Africa: Views and positions of stakeholder groups. *Food Policy* 43, 159–166. doi:10.1016/j.food-pol.2013.09.006.
- Ahmad, M.; Siftain, H. & M. Iqbal (2014): Impact of Climate Change on Wheat Productivity in Pakistan: A District Level Analysis. Pakistan Institute of Development Economics, Islamabad. Climate Change Working Papers No. 1. http://www.pide.org.pk/pdf/Climate_Change_1.pdf.
- Ahmad, M. Iqbal, M. & Khan, M.A. (2013): Climate Change, Agriculture and Food Security in Pakistan: Adaptation Options and Strategies. Pakistan Institute of Development Economics, Islamabad. <http://www.pide.org.pk/pdf/Climate%20Change%20Brief.pdf>.
- Alcamo, J.; Döll, P.; Henrichs, T.; Kaspar, F.; Lehner, B.; Rösch, T. & S. Siebert (2003): Global estimates of water withdrawals and availability under current and future „business-as-usual“ conditions. *Hydrol. Sci. J.*, 48, 339-348.
- Alexandratos, N. & J. Bruinsma (2012): World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision; FAO: Rome.
- Allison, E.H., Perry, A.L., Badjeck, M.-C., Neil Adger, W., Brown, K., Conway, D., Halls, A.S., Pilling, G.M., Reynolds, J.D., Andrew, N.L., Dulvy, N.K. (2009): Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries* 10, 173–196. doi:10.1111/j.1467-2979.2008.00310.x
- Archer, D. R.; Forsythe, N.; Fowler, H. J. & S.M. Shah (2010): Sustainability of water resources management in the Indus Basin under changing climatic and socio economic conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1669-1680. DOI: 10.5194/hess-14-1669-2010.
- Ariga, J., Jayne, T., and Njukia, S. (2010): Staple Food Prices in Kenya. Prepared for the COMESA policy seminar on “Variation in Staple Food Prices: Causes, Consequences, and Policy options.” Retrieved from http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/58559/2/AAMP_Maputo_26_%20Kenya.pdf.
- Asif, M. (2013): Climate Change, Irrigation Water Crisis and Food Security in Pakistan. Master’s Thesis. Uppsala University.
- ASP (2012). American Security Project. Part Two: Climate Change & Global Security. <http://www.americansecurityproject.org/climate-security-report/>.
- Beese, F. O. (2004): Ernährungssicherung als Produktions- bzw. Verteilungsproblem. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Armutsbekämpfung durch Umweltpolitik". Berlin.
- Bellarby, J., Stirling, C., Vetter, S.H., Kassie, M., Kanampiu, F., Sonder, K., Smith, P., Hillier, J. (2014): Identifying secure and low carbon food production practices: A case study in Kenya and Ethiopia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 197, 137–146. doi:10.1016/j.agee.2014.07.015.
- Bellon, M. R.; Gotor, E. & Caracciolo, F. (2015). Assessing the Effectiveness of Projects Supporting On-Farm Conservation of Native Crops: Evidence From the High Andes of South America *World Development*, 70, 162-176. doi: 10.1016/j.worlddev.2015.01.014.
- BMEL (2012): Ernährungssicherung und nachhaltige Produktivitätssteigerung. Stellungnahme. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

- Briscoe, J. & U. Qamar (2006): *Pakistan's Water Economy Running Dry*. Oxford University Press and the World Bank.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Koo, J., Herrero, M., Silvestri, S. (2012): Can agriculture support climate change adaptation, greenhouse gas mitigation and rural livelihoods? insights from Kenya. *Clim. Change* 118, 151–165. doi:10.1007/s10584-012-0640-0.
- Burke, M.B., Miguel, E., Satyanath, S., Dykema, J. a, Lobell, D.B. (2009): Warming increases the risk of civil war in Africa. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 20670–4. doi:10.1073/pnas.0907998106.
- Burke, M. & D. Lobell (2010): Climate Effects on Food Security: An Overview. In: *Climate Change and Food Security*. Advances in Global Change Research 37, Chapter 2. DOI 10.1007/978-90-481-2953-9_2. Springer Science + Business Media, B.V..
- Burlingame, B., Mouillé, B., Charrondièrè, R. (2009): Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 22, 494–502. doi:10.1016/j.jfca.2009.09.001.
- von Braun und Qaim (2009): Herausforderungen der Weltweiten Lebensmittelversorgung, Rentenbank.
- Bruinsma (2011): The resources outlook: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? In: *Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050*, Editor Piero Conforti, FAO Rom.
- Cabello, R., De Mendiburu, F., Bonierbale, M., Monneveux, P., Roca, W., Chujoy, E. (2012): Large-Scale Evaluation of Potato Improved Varieties, Genetic Stocks and Landraces for Drought Tolerance. *American Journal of Potato Research* 89, 400–410. doi:10.1007/s12230-012-9260-5.
- Cassman, K.G., Grassini, P. (2013): Can there be a green revolution in Sub-Saharan Africa without large expansion of irrigated crop production? *Global Food Security* 2(3), doi:10.1016/j.gfs.2013.08.004.
- CDC, IISD, Saferworld (2009): *Climate change and conflict - Lessons from community conservancies in northern Kenya*, Conservation Development Centre, International Institute for Sustainable Development and Saferworld, http://www.iisd.org/pdf/2009/climate_change_conflict_kenya.pdf.
- CDKN (2012): *Managing Climate Extremes and Disasters in the Health Sector: Lessons from the IPCC SREX Report*. CDKN, London. Available at: www.cdkn.org/wp-content/uploads/2012/10/SREX-lessons-for-health-sector.pdf.
- Connolly-Boutin, L., Smit, B. (2015): Climate change, food security, and livelihoods in sub-Saharan Africa. *Reg. Environ. Chang.* doi:10.1007/s10113-015-0761-x.
- Crespo-Pérez, V.; Régnière, J.; Chuine, I.; Rebaudo, F. & Dangles, O. (2015). Changes in the distribution of multi-species pest assemblages affect levels of crop damage in warming tropical Andes *Global Change Biology*, 2015, 21, 82-96. doi: 10.1111/gcb.12656.
- De Groote, H., Kimenju, S.C., Likhayo, P., Kanampiu, F., Tefera, T., Hellin, J. (2013): Effectiveness of hermetic systems in controlling maize storage pests in Kenya. *J. Stored Prod. Res.* 53, 27–36. doi:10.1016/j.jspr.2013.01.001
- Eisenstein, Michael. 2013. "Plant Breeding: Discovery in a Dry Spell." *Nature* 501 (7468) (September 25): S7–S9. doi:10.1038/501S7a. <http://www.nature.com/doi/10.1038/501S7a>.

- Fader, M.; Gerten, D.; Krausek, M.; Lucht, W. & W. Cramer (2013): Spatial decoupling of agricultural production and consumption: quantifying dependences of countries on food imports due to domestic land and water constraints. *Environmental Research Letters*, 8. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014046.
- FAO (2002): *The State of Food Insecurity in the World 2001*. Rome.
- FAO (2006): *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*.
- FAO (2011): *Recent trends in world food commodity prices: costs and benefits. The state of food insecurity in the world*.
- FAO (2014): *The State of Food and Agriculture 2014. Innovation in family farming*. Rome.
- FAO 2015. *SAVE FOOD: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction*, <http://www.fao.org/save-food/resources/keyfindings/infographics/cereals/en/>.
- FAO Country Stat (2015): *Kenya Production*, <http://countrystat.org/home.aspx?c=KEN&tr=7>.
- FAO, IFAD and WFP (2015): *The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. Rome, FAO.
- FAO Stat (2015): *Kenya Production*, <http://faostat3.fao.org/compare/E>.
- FEWS-NET (2013): *Kenya Food Security Brief. USAID 1–52*. http://www.fews.net/sites/default/files/documents/reports/Kenya_Food%20Security.
- Fischer G. & Shah M. (2010): *Farmland Investments and Food Security*, International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria; Report prepared under World Bank IIASA contract.
- Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A. et al. (2011): *Solutions for a cultivated planet*, *Nature* 478, 337–342.
- Gallaher, C.M., Mwaniki, D., Njenga, M., Karanja, N.K., WinklerPrins, A.M.G.A. (2013): *Real or perceived: the environmental health risks of urban sack gardening in Kibera slums of Nairobi, Kenya*. *Ecohealth* 10, 9–20. doi:10.1007/s10393-013-0827-5.
- Gerten, D.; Heinke, J.; Biemans, H. et al. (2011): *Global Water Availability and Requirements for Future Food Production*. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/2011JHM1328.1.
- Gilbert, N. (2010): *Food: Inside the hothouses of industry*. *Nature* 466, 548–551. doi:10.1038/466548a.
- Godfray, H.C.J. (2011): *Food for thought*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108, 19845–6. doi:10.1073/pnas.1118568109.
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulmin, C. (2010): *Food security: the challenge of feeding 9 billion people*. *Science* 327, 812–8. doi:10.1126/science.1185383.
- Grassini, P.; Eskridge, K. M. & K. G. Cassman (2013): *Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends*. *Nature communications*. DOI: 10.1038/ncomms3918.
- Guo, Z. (2014): *Accessing International Markets: Ports and Portsheds*, in Sebastian, K., *Atlas of African agriculture research and development*, International Food Policy Research Institute. ISBN 978-0-89629-846-0.
- GWP/IWMI (2011): *Climate Change, Food and Water Security in South Asia: Critical Issues and Cooperative Strategies in an Age of Increased Risk and Uncertainty. Synthesis of workshop discussions. A Global*

Water Partnership (GWP) and International Water Management Institute (IWMI) Workshop, 23-25 February 2011, Colombo, Sri Lanka.

GWP (2013): Global Water Partnership South America. National Stakeholder Consultations on Water: Supporting the Post-2015 Development Agenda.

Hewitt, K. (2005): The Karakoram Anomaly? Glacier Expansion and the 'Elevation Effect,' Karakoram Himalaya. *Mountain Research and Development* 25(4), 332-340. DOI: 10.1659/0276-4741(2005)025[0332:TKAGEA]2.0.CO;2.

Hinkel, J.; Lincke, D.; Vafeidis, A.T. et al. (2014): Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *PNAS* 111(9). 3292-3297. DOI: 10.1073/pnas.1222469111.

IDB (2012)- Inter-American Development Bank. Climate Change and Agricultural Production. Technical Notes No. IDB-TN-383.

IFAD (2012a): Spate Irrigation, Livelihood Improvement and Adaptation to Climate Variability and Climate Change. International Fund for Agricultural Development.

IFAD (2012b): Enabling poor rural people to overcome poverty in Peru. International Fund for Agricultural Development (IFAD). http://www.ifad.org/operations/projects/regions/pl/factsheet/peru_e.pdf.

IFPRI (2012): The Food Security System. A New Conceptual Framework by Ecker, O. and Breisinger, C. IFPRI Discussion Paper 01166. <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp01166.pdf>.

IFPRI (2015): <http://www.foodsecurityportal.org/pakistan/resources>

ILO (2009): Regions and countries - Eastern Africa - Kenya, <http://www.ilo.org/public/english/employment/ent/coop/africa/countries/eastafrica/kenya.htm>.

IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://ipcc-wg2.gov/SREX/report/>.

IPCC (2013): Observations: Cryosphere. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 3.* https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter04_FINAL.pdf.

IPCC (2014a): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

IPCC (2014b): Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 7.* http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap7_FINAL.pdf.

IPCC (2014c): Freshwater resources. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 3.* http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap3_FINAL.pdf.

Iqbal, M.; Goheer, M.A. & A.M. Khan (2009): Climate-Change Aspersions on Food Security of Pakistan. *COMSATS – SCIENCE VISION*, 15(1).

- ITC (2015): Climate Change and The Agri-Food Trade. Perceptions of exporters in Peru and Uganda. International Trade Center.
- IUCN (2009): Climate Change Vulnerabilities in Agriculture in Pakistan. https://cmsdata.iucn.org/downloads/pk_cc_agr_vul.pdf.
- Jägermeyr, J.; Gerten, D.; Heinke, J. & W. Lucht (2015): Water savings potentials of irrigation systems: dynamic global simulation. HESS, discussion paper. DOI: 10.5194/hessd-12-3593-2015.
- Kaguongo, W., Maingi, G., Giencke, S. (2014): Post-harvest losses in potato value chains in Kenya - Analysis and recommendations for reduction strategies. Editor: Lohr, K., Pickardt, T., Ostermann, H., Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Kassie, M., Ndiritu, S.W., Stage, J. (2014): What Determines Gender Inequality in Household Food Security in Kenya? Application of Exogenous Switching Treatment Regression. *World Dev.* 56, 153–171. doi:10.1016/j.worlddev.2013.10.025.
- Keino, S.J. (2014). The Double Burden of Malnutrition: A study of food security, physical activity and nutritional status among women and children in Narok County, Kenya. Dissertation , Maastricht University.
- Kenneth G. Cassmann, Patricio Grassini (2013): Can there be a green revolution in Sub-Saharan Africa without large expansion of irrigated crop production? *Global Food Security*, 203-209.
- Khadioli, N., Tonnang, Z.E.H., Muchugu, E., Ong'amo, G., Achia, T., Kipchirchir, I., Kroschel, J., Le Ru, B. (2014): Effect of temperature on the phenology of *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera, Crambidae); simulation and visualization of the potential future distribution of *C. partellus* in Africa under warmer temperatures through the development of life-table param. *Bull. Entomol. Res.* 104, 809–22. doi:10.1017/S0007485314000601.
- Kimatu, J.N., Mcconchie, R., Xie, X., Nguluu, S.N. (2012): The Significant Role of Post-Harvest Management in Farm Management , Aflatoxin Mitigation and Food Security in Sub-Saharan Africa. *Greener J. Agric. Sci.* 2, 279–288.
- Kirsch, T.D.; Wadhvani, C.; Sauer, L.; Doocy, S. & C. Catlett (2012): Impact of the 2010 Pakistan Floods on Rural and Urban Populations at Six Months. *PLOS Currents Disasters*. Ed. 1. DOI: 10.1371/4fdfb212d2432.
- Krishnamurthy, P.; Lewis, K. & Choularton, R. (2014): A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index. *Global Environmental Change* , 2014, 25, 121-132. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.11.004.
- Lagi, M.; Bar-Yam, Y.; Bertrand, K.Z. & Yaneer Bar-Yam (2011): The Food Crises: A quantitative model of food prices including speculators and ethanol conversion. http://necsi.edu/research/social/food_prices.pdf.
- The Land Matrix Global Observatory (2015): The Online Public Database on Land Deals. International Land Coalition (ILC), Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Centre for Development and Environment (CDE), German Institute of Global and Area Studies (GIGA) and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). <http://www.landmatrix.org/en/>.
- Lappé, F.M., Clapp, J., Anderson, M., Broad, R., Messer, E., Pogge, T., Wise, T. (2013): How We Count Hunger Matters. *Ethics & International Affairs.* 27, 251–259. doi:10.1017/S0892679413000191.
- Lewis, L., Onsongo, M., Njapau, H., Schurz-Rogers, H., Lubber, G., Kieszak, S., Nyamongo, J., Backer, L., Dahiye, A.M., Misore, A., DeCock, K., Rubin, C., Group, K.A.I. (2005): Aflatoxin Contamination of Commercial

- Maize Products during an Outbreak of Acute Aflatoxicosis in Eastern and Central Kenya. *Environ. Health Perspect.* 113, 1763–1767.
- Long, S.P., Ainsworth, E. a, Leakey, A.D.B., Nösberger, J., Ort, D.R. (2006): Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science* 312, 1918–21. doi:10.1126/science.1114722.
- Lotze-Campen, H.; von Lampe, M.; Kyle, P. et al. (2014): Impacts of increased bioenergy demand on global food markets: an AgMIP economic model intercomparison. *Agricultural Economics*, 45, DOI: 10.1111/agec.12092.
- Meade, B., Baldwin, K., Calvin, L. (2010). Peru : An Emerging Exporter of Fruits and Vegetables. USDA.
- Marenya, P.P., Barrett, C.B. (2009): Soil quality and fertilizer use rates among smallholder farmers in western Kenya. *Agric. Econ.* 40, 561–572. doi:10.1111/j.1574-0862.2009.00398.x.
- Mathenge, M.K., Smale, M., Olwande, J. (2014): The impacts of hybrid maize seed on the welfare of farming households in Kenya. *Food Policy* 44, 262–271. doi:10.1016/j.foodpol.2013.09.013.
- MDG (2013): The Millennium Development Goals Report 2013. We can end poverty 2015. United Nations, New York. <http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/report-2013/mdg-report-2013-english.pdf>.
- Meinshausen, M.; Smith, S.; Calvin, K.; Daniel, J.; Kainuma, M.; Lamarque, J.-F.; Matsumoto, K.; Montzka, S.; Raper, S.; Riahi, K.; Thomson, A.; Velders, G. & Vuuren, D. (2011): The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, Springer Netherlands 109, 213-241.
- Middleton, N.J., Sternberg, T. (2013): Climate hazards in drylands: A review. *Earth-Science Rev.* 126, 48–57. doi:10.1016/j.earscirev.2013.07.008.
- Moore, N.; Alagarswamy, G.; Pijanowski, B.; Thornton, P.; Lofgren, B.; Olson, J.; Andresen, J.; Yanda, P.; Qi, J. (2011): East African food security as influenced by future climate change and land use change at local to regional scales. *Climate Change* 110, 823–844. doi:10.1007/s10584-011-0116-7.
- Motoshita, M., Itsubo, N., Inaba, A. (2010): Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. *Int. J. Life Cycle Assess.* 16, 65–73. doi:10.1007/s11367-010-0236-8
- Mucheru-Muna, M., Pypers, P., Mugendi, D., Kung'u, J., Mugwe, J., Merckx, R., Vanlauwe, B. (2010): A staggered maize–legume intercrop arrangement robustly increases crop yields and economic returns in the highlands of Central Kenya. *F. Crop. Res.* 115, 132–139. doi:10.1016/j.fcr.2009.10.013.
- Müller, C. & R.D. Robertson (2014): Projecting future crop productivity for global economic modeling. *Agricultural Economics* 45, p.1-14. DOI: 10.1111/agec.12088.
- Müller, C., Waha, K., Bondeau, A., Heinke, J. (2014): Hotspots of climate change impacts in sub-Saharan Africa and implications for adaptation and development. *Glob. Chang. Biol.* 20, 2505–17. doi:10.1111/gcb.12586.
- Mugalavai, E.M., Kipkorir, E.C., Raes, D., Rao, M.S. (2008): Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agric. For. Meteorol.* 148, 1123–1135. doi:10.1016/j.agrformet.2008.02.013.
- Munich Re (2014): After the floods. Natural catastrophes 2013. Analyses, assessments, positions. Topics GEO. Issue 2014. <http://www.preventionweb.net/english/professional/publications/v.php?id=41909>

- Murage, a. W., Midega, C. a. O., Pittchar, J.O., Pickett, J. a., Khan, Z.R. (2015): Determinants of adoption of climate-smart push-pull technology for enhanced food security through integrated pest management in eastern Africa. *Food Secur.* 7, 709–724. doi:10.1007/s12571-015-0454-9.
- Muriithi, B.W., Matz, J.A. (2015): Welfare effects of vegetable commercialization: Evidence from smallholder producers in Kenya. *Food Policy* 50, 80–91. doi:10.1016/j.foodpol.2014.11.001.
- Mutimba, S., Mayieko, S., Olum, P., Wanyatma, K. (2010): Vulnerability and Adaptation Preparedness in Kenya. Editor: Camco Advisory Services (K) Ltd. Publisher: Heinrich Böll Foundation, Regional Office for East & Horn of Africa.
- Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D.B., Bloom, A.J., Carlisle, E., Dietterich, L.H., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N.M., Nelson, R.L., Ottman, M.J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K. a, Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M., Usui, Y. (2014): Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature* 510, 139–42. doi:10.1038/nature13179.
- Nelson, G.C.; Valin, H.; Sands, R.D. et al. (2014): Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *PNAS* 111(9). 3274–3279. DOI: 10.1073/pnas.1222465110.
- ODI (2014): Zero poverty...think again. Impact of climate change on development efforts. <http://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/8863.pdf>.
- OECD/FAO (2011): OECD-FAO Agricultural Outlook 2011-2020, OECD Publishing and FAO. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2011-en.
- Omumbo, J. a, Hay, S.I., Guerra, C. a, Snow, R.W. (2004): The relationship between the Plasmodium falciparum parasite ratio in childhood and climate estimates of malaria transmission in Kenya. *Malar. J.* 3, 17. doi:10.1186/1475-2875-3-17.
- Ongoma, V. (2013): A review of the effects of climate change on occurrence of aflatoxin and its impacts on food security in semi-arid areas of Kenya. *Int. J. Agric. Sci. Res.* 2, 307–311.
- Otieno, A.C., Mugalavai, V., Kamau, E.H. (2013): A Study on Impact of Climate Change on the Food and Nutrition Security in Children of Small Scale Farmer Households of Migori Area. *Glob. J. Biol. Agric. Heal. Sci.* 2, 67–71.
- Oyoo-Okoth, E., Admiraal, W., Osano, O., Manguya-Lusega, D., Ngure, V., Kraak, M.H.S., Chepkirui-Boit, V., Makwali, J. (2013): Contribution of soil, water and food consumption to metal exposure of children from geological enriched environments in the coastal zone of Lake Victoria, Kenya. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 216, 8–16. doi:10.1016/j.ijheh.2012.05.004.
- Oxfam (2013): Growing Disruption. Climate change, food, and the fight against hunger. <https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/ib-growing-disruption-climate-change-230913-summ-en.pdf>.
- Piontek, F.; Müller, C.; Pugh, T.A.M. et al. (2014): Multisectoral climate impact hotspots in a warming world. *PNAS* 111(9). 3233–3238. DOI: 10.1073/pnas.1222471110.
- Piracha, A. & Z. Majeed (2011): Water Use in Pakistan’s Agricultural Sector: Water Conservation under the Changed Climatic Conditions. *International Journal of Water Resources and Arid Environments* 1(3): 170-179.

- Pogge, T. (2015): Poverty, hunger, and cosmetic progress, In: Langford, M., Sumner, A., Yamin, A. E.: The Millennium Development Goals and Human Rights: Past, Present and Future The Millennium Development Goals and Human Rights: Past, Present and Future, Cambridge University Press, p. 571.
- Pradhan, P.; Lüdeke, M.K.B.; Reusser, D.E. & J.P. Kropp (2014): Food Self-Sufficiency across Scales: How Local Can We Go? *Environmental Science & Technology* 48, 9463–9470. DOI: 10.1021/es5005939.
- Pradhan, P.; Fischer, G.; van Velthuisen, H.; Reusser, D.E. & J. Kropp (2015): Closing yield gaps: how sustainable can we be? *PloSOne* (in press).
- Ray, D.K.; Mueller, N.D.; West, P.C. & J.A. Foley (2013): Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050 *PLOS ONE*, Volume 8, Issue 6.
- Rembold, F., Thomas, A.-C., Nkunzimana, T., Pérez-Hoyos, A., Kayitakire, F. (2014): Analysis of the food security situation in Kenya at the end of the 2013-2014 short rains season. *Eur. Comm.*
- Rötter, R., Van de Geijn, S.C. (1999): Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock. *Clim. Chang.* 43, 651–681.
- Rosenzweig, C.; Elliott, J.; Deryng, D. et al. (2014): Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *PNAS* 111 (9), 3268–3273. DOI: 10.1073/pnas.1222463110.
- Rulli, M.C., D’Odorico, P. (2014): Food appropriation through large scale land acquisitions. *Environ. Res. Lett.* 9, 1–8. doi:10.1088/1748-9326/9/6/064030.
- Rulli, M.C., Savioli, A., D’Odorico, P. (2013): Global land and water grabbing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 892–897. doi:10.1073/pnas.1213163110.
- Sakschewski, B.; von Bloh, W.; Huber, V.; Müller, C. & A. Bondeau (2014): Feeding 10 billion people under climate change: How large is the production gap of current agricultural systems? *Ecological Modelling* 288, 103-111. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.05.019.
- Sánchez, P.A. (2010). Tripling crop yields in tropical Africa. *Nat. Geosci.* 3, 299–300. doi:10.1038/ngeo853.
- Sánchez, P.A. (2015). En route to plentiful food production in Africa. *Nat. Plants* 1, 14014. doi:10.1038/nplants.2014.14.
- Schewe, J.; Heinke, J.; Gerten, D. (2014): Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *PNAS* 111(9). 3245–3250. DOI: 10.1073/pnas.1222460110.
- Schmitz, C. et al. (2014): Land-use change trajectories up to 2050: insights from a global agro-economic model comparison, *Agricultural Economics* 45 (2014) 69–84.
- Sen, A. (1981): *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*, OUP Oxford, p.198.
- Sharif, M.; Archer, D. R.; Fowler, H. J. & N. Forsythe (2013). Trends in timing and magnitude of flow in the Upper Indus. *Basin Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1503-1516.
- Sheikh, M. M.; Manzoor, N.; Ashraf, J.; Adnan, M.; Collins, D.; Hameed, S.; Manton, M. J.; Ahmed, A. U.; Baidya, S. K.; Borgaonkar, H. P.; Islam, N.; Jayasinghearachchi, D.; Kothawale, D. R.; Premalal, K. H. M. S.; Revadekar, J. V. & Shrestha, M. L. (2015). Trends in extreme daily rainfall and temperature indices over South Asia *International Journal of Climatology*, 35, 1625-1637.

- Short C., Mulinge W., Witwer M. (2012): Analysis of incentives and disincentives for maize in Kenya, Technical notes series, MAFAP, FAO, Rome.
- Sultana, H.; Ali, N.; Iqbal, M. & A. Khan (2009): Vulnerability and adaptability of wheat production in different climatic zones of Pakistan under climate change scenarios. *Climatic Change*, Springer Netherlands, 94, 123-142. DOI: 10.1007/s10584-009-9559-5
- Tariq, A.; Tabasam, N.; Bakhsh, K.; Ashfaq, M. & S. Hassan (2014): Food Security in the Context of Climate Change in Pakistan. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*, 8, 540-550.
- Thorlakson, T., Neufeldt, H. (2012): Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate change: evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya. *Agric. Food Secur.* 1, 15. doi:10.1186/2048-7010-1-15.
- Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J. & B.L. Befort (2011): Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS* 108(50). DOI: 10.1073/pnas.1116437108.
- Tittonell, P., Vanlauwe, B., Corbeels, M., Giller, K.E. (2008): Yield gaps, nutrient use efficiencies and response to fertilisers by maize across heterogeneous smallholder farms of western Kenya. *Plant Soil* 313, 19–37. doi:10.1007/s11104-008-9676-3.
- Tittonell, P., Giller, K.E. (2013): When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *F. Crop. Res.* 143, 76–90. doi:10.1016/j.fcr.2012.10.007.
- Trenk, H.L., Hartman, P.A. (1970): Effects of Moisture Content and Temperature Aflatoxin Production in Corn. *Appl. Microbiol.* 19, 781–784.
- UNICEF (2013a): Improving Child Nutrition - The achievable imperative for global progress, United Nations Children's Fund, New York, https://www.unicef.ch/sites/default/files/attachments/unicef_pb_nutritionreport.pdf.
- UNICEF (2013b): Kenya Statistics, http://www.unicef.org/infobycountry/kenya_statistics.html
- UNDP (2013): World Population Prospects - The 2012 Revision http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2012_HIGHLIGHTS.pdf
- UNDP (2014): International Human Development Indicators - Indicators by country for the 2014 Human Development Report, <http://hdr.undp.org/en/countries>.
- Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *F. Crop. Res.* 143, 4–17. doi:10.1016/j.fcr.2012.09.009.
- Van Vuuren, D.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; Riahi, K.; Thomson, A.; Hibbard, K.; Hurtt, G.; Kram, T.; Krey, V.; Lamarque, J.-F.; Masui, T.; Meinshausen, M.; Nakicenovic, N.; Smith, S. & Rose, S. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, Springer Netherlands 109, 5-31.
- Von Grebmer, K., Saltzman, A., Birol, E., Wiesmann, D., Prasai, N., Yin, S., Yohannes, Y., Menon, P., Thompson, J., Sonntag, A. (2014): Global hunger index: The challenge of hidden hunger, Synopsis, IFPRI issue brief 83, Publisher: Welthungerhilfe, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Concern Worldwide, <http://dx.doi.org/10.7910/DVN/27557>.

- von Grebmer, K.; Bernstein, J.; Prasai, N.; Yin, S. & Yohannes, Y. (2015): Welthunger-Index 2015: Hunger und bewaffnete Konflikte. Bonn, Washington, D.C. und Dublin: Welthungerhilfe, Internationales Forschungsinstitut für Ernährungs- und Entwicklungspolitik und Concern Worldwide.
<http://dx.doi.org/10.2499/9780896299658>
- Wangai, A. W., Redinbaugh, M.G. , Kinyua, Z.M., Miano, D. W., Leley, P. K, Kasina, M., Mahuku, G., (Scheets, K., Jeffers, D. (2012): First Report of Maize chlorotic mottle virus and Maize Lethal Necrosis in Kenya, *Plant Disease* 96(10), 1582-1583.
- Wassmann, R.; Jagadish, S. V. K.; Sumfleth, K.; Pathak, H.; Howell, G.; Ismail, A.Serraj, R.; Redona, E.; Singh, R. K. & S. Heuer (2009): Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation. In Sparks, editor: *Advances in Agronomy*, Vol. 102, Burlington: Academic Press, pp. 91-133. ISBN: 978-0-12-374818-8.
- West, P.C.; Gerber, J.S.; Engstrom, P.M.; Mueller, N.D.; Brauman, K.A.; Carlson, K.M.; Cassidy, E.S.; Johnston, M.; MacDonald, G.K.; Ray, D.K. & S. Siebert (2014) Leverage points for improving global food security and the environment, *Science*, Volume 345 (6194) p. 325-328.
- WFP (2011): Impacts of Shocks on Household Income and Food Consumption Simulation Modeling. Pakistan. Executive Summary. <http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp236897.pdf>.
- WFP (2014): Pakistan Food Security Bulletin. Issue 2. World Food Programme. <http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp271228.pdf>.
- Wheeler, T. & von Braun, J. (2013): Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science* 2013 Aug 2, 341(6145):508-513. DOI: 10.1126/science.1239402.
- WHH (2011): Nachhaltige Ernährungssicherung bei sich verändernden klimatischen Bedingungen. Grundlagenpapier für strategische Überlegungen. Welthungerhilfe (Hrsg.).
- WHH/CO (2014): Food and nutrition security in Peru – Situational Analysis. WHH Country Office, Zimmermann, I. (Welthungerhilfe, working paper).
- World Bank (2014): Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal. Washington, DC.
- World Bank (2015): Data Kenya, http://data.worldbank.org/country/kenya#cp_wdi and <http://data-bank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&country=KEN&series=&period=>.
- Xie, H.; Ringler, C.; Zhu, T. & A. Waqas (2013): Droughts in Pakistan: a spatiotemporal variability analysis using the Standardized Precipitation Index. *Water International*, 38, 620-631. DOI: 10.1080/02508060.2013.827889.
- Zhu, T.; Ringler, C.; Iqbal, M. M.; Sulser, T. B. & M.A. Goheer (2013): Climate change impacts and adaptation options for water and food in Pakistan: scenario analysis using an integrated global water and food projections model. *Water International*, 38, 651-669. DOI: 10.1080/02508060.2013.830682.
- Zhu, T.; Xie, H.; Waqas, A.; Ringler, C.; Iqbal, M.M.; Goheer, M.A. & Sulser, T. (2014): Climate change and extreme events: Impacts on Pakistan’s agriculture. IFPRI Pakistan Strategy Support Program, Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.1.1106.8966.

Anhang A

Abkürzungen / Definitionen

2°C-Leitplanke	Erwärmung der globalen Mitteltemperatur um 2°C über den vorindustriellen Wert hinaus. Gegenwärtig liegt die globale Mitteltemperatur bereits um 0,8 °C über dem vorindustriellen Niveau. http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/2-Grad-Ziel
AU	Afrikanische Union (African Union)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CGIAR	Beratungsgruppe für internationale Agrarforschung (Consultative Group on International Agricultural Research)
ES	Ernährungssicherung
EU	Europäische Union
FAO	Organisation für Nahrung und Landwirtschaft (Food and Agriculture Organisation)
GCM	Globales Klimamodell (Global or General Circulation Model)
ha	Hektar
IPCC	Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change)
kcal	Kilokalorie
KW	Klimawandel
m.ü.NN	Meter über Normal Null
N	Nitrogen, Stickstoff
NRO	Nicht-Regierungs-Organisation
ppm	Parts per million, 1 Millionstel, 10 ⁻⁶
SSA	Subsahara Afrika
t	Tonne (1000 kg)
UN	Vereinte Nationen (United Nations)
UNDP	Entwicklungsprogramm der UN (UN Development Programme)
UNEP	Umweltprogramm der UN (UN Environmental Programme)
WB	Weltbank (World Bank)
WFC	Welternährungsrat (World Food Council)
WFP	Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen (World Food Programme)
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation)
WTO	Welthandelsorganisation (World Trade Organisation)

Abb. 6-1 veranschaulicht die wesentlichen Faktoren der einzelnen Säulen der Ernährungssicherung. Auf rot umrandete Variablen wirken klimatische Bedingungen direkt, auf orange umrandete indirekt.

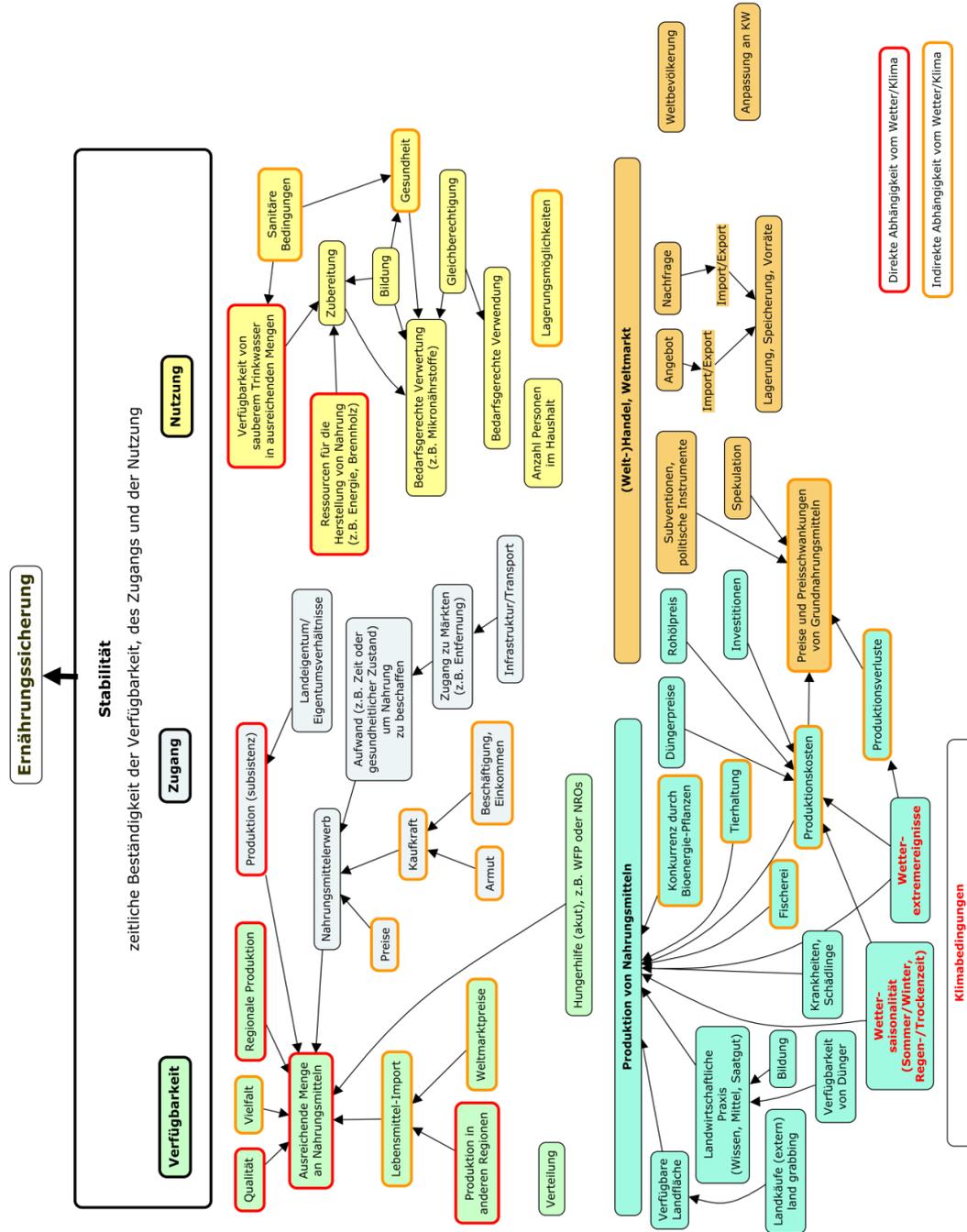


Abb. 6-1: Direkte und indirekte Einflüsse klimatischer Bedingungen auf die 4 Säulen der Ernährungssicherung

Tabelle 6-1: Gegenüberstellung ausgewählter Indikatoren

Indikator	Kenia	Pakistan	Peru	Dtschl.
Armut				
GINI Index ¹⁾ (2000-2014)	48	30-33	45-50	30,6
GHI 2014 ^{2,3)}	16,5 (serious)	19,1 (serious)	5,7 (moderate)	--
Beschäftigungsrate in % ¹⁾ (2013)	61	52	73	94,7
Anteil am Gesamteinkommen der untersten 20% der Bevölkerung	--	9,6	4,2	8,3
Education (Bildungs) Index ⁴⁾ (2013)	0,515	0,372	0,664	0,884
Gender Inequality Index ⁵⁾ (2013)	0,548	0,563	0,387	0,046
Anteil Frauen im Parlament ⁵⁾ (2013)	19,9	19,7	21,5	32,4
Gesundheit				
Unter-oder Mangelernährung in % (Kinder unter 5 Jahren)	16 ²⁾	31,6	3,5	--
Anteil unterernährter Bevölkerung % ²⁾	30,4	19,9	11,2	
Kalorienzufuhr ²⁾	2092	2423	2563	
Agrarproduktion				
Bewirtschaftetes Land in ha pro Einwohner ¹⁾ (2012)	0,13	0,12	0,14	
Getreideerträge ¹⁾ (kg/ha) (2012)	1727	2722	4109	
Beschäftigte im Agrarsektor ¹⁾ % (2012)	--	44	26	
Düngereinsatz ¹⁾ (2012)	44,3	166,9	104,3	
Produktion pro Einwohner ¹⁾ (kg/Kopf)	96,9	200	172,6	

1) <http://data.worldbank.org/indicator/>

2) www.foodsecurityportal.org/ (<http://www.foodsecurityportal.org/api/countries/>)

3) <http://www.welthungerhilfe.de/en/ghi2014-map.html>

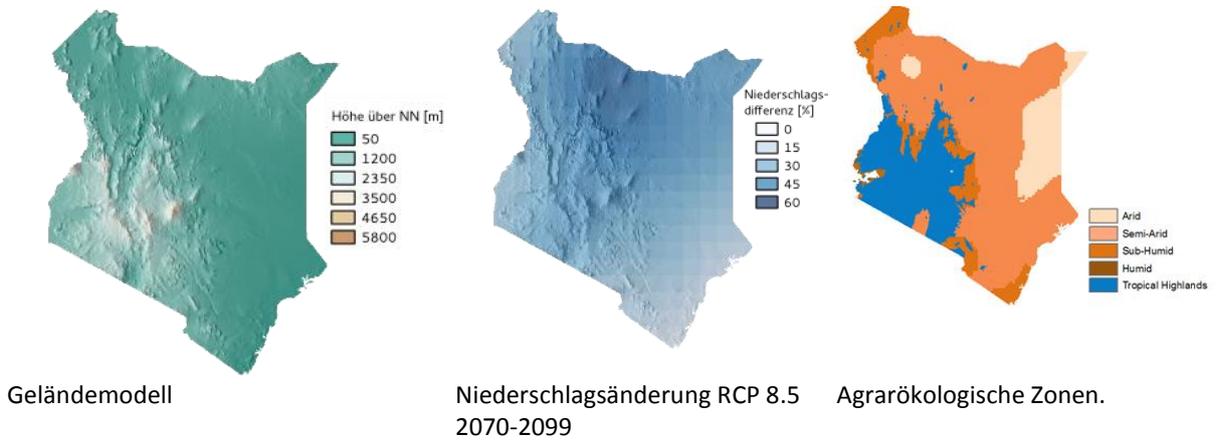
4) <http://hdr.undp.org/en/content/education-index>

5) <http://hdr.undp.org/en/content/table-4-gender-inequality-index>

6) <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/ess-fadata/en/#.VXdtM21ZhKo>

7) <http://foodsecurityindex.eiu.com/Home/Methodology>

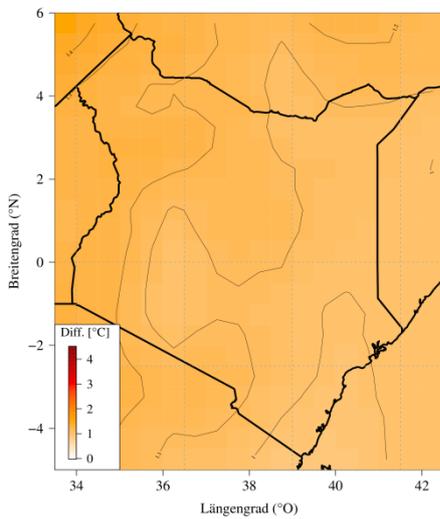
Anhang B: Kenia



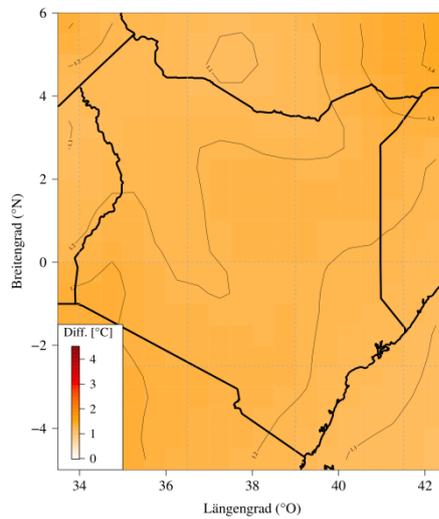
Geländemodell

Niederschlagsänderung RCP 8.5
2070-2099

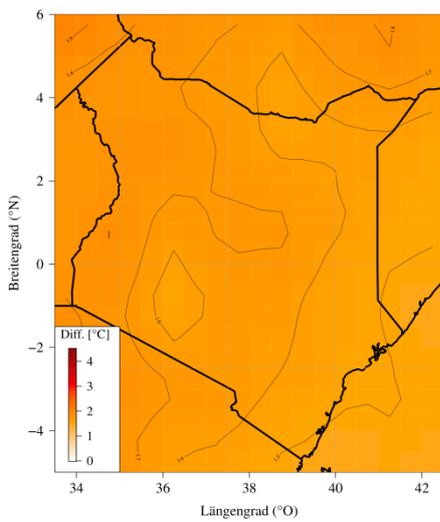
Agrarökologische Zonen.



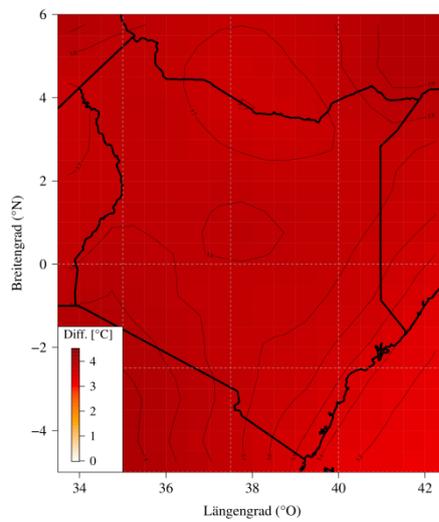
a) RCP 2.6 (2030-2059)



b) RCP 2.6 (2070-2099)

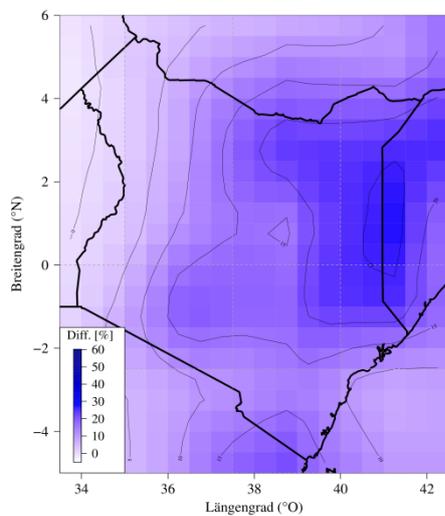


c) RCP 8.5 (2030-2059)

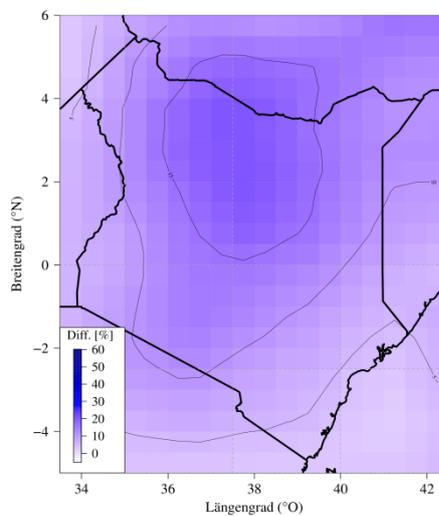


d) RCP 8.5 (2070-2099)

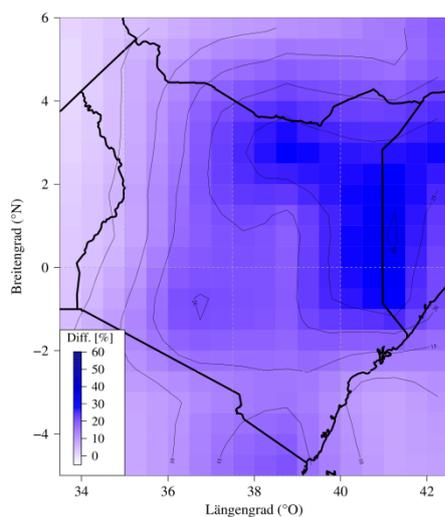
Abb. 6-2: Jährliche Temperaturänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.



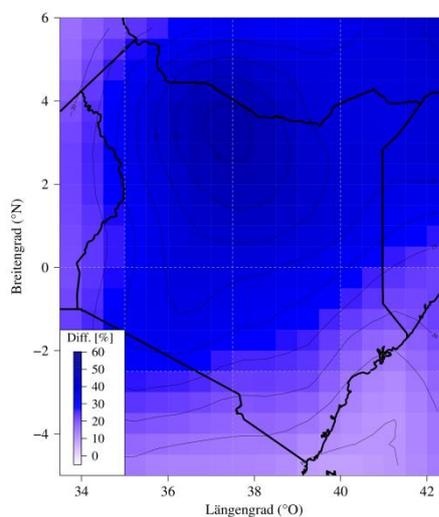
a) RCP 2.6 (2030-2059)



b) RCP 2.6 (2070-2099)



c) RCP 8.5 (2030-2059)



d) RCP 8.5 (2070-2099)

Abb. 6-3: Jährliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

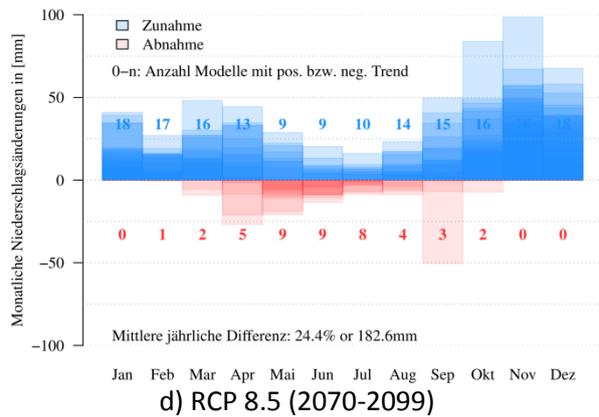
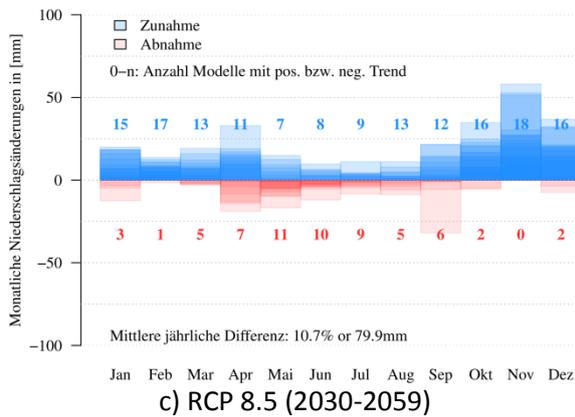
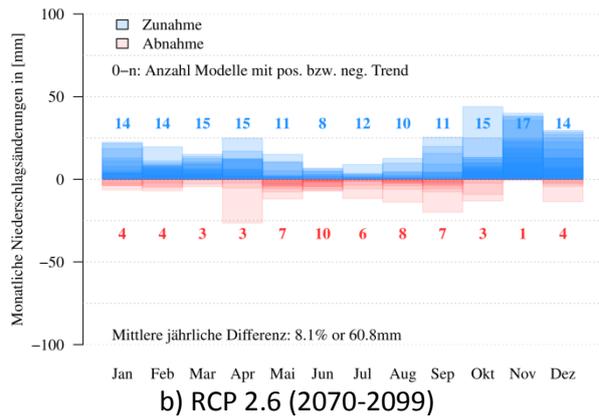
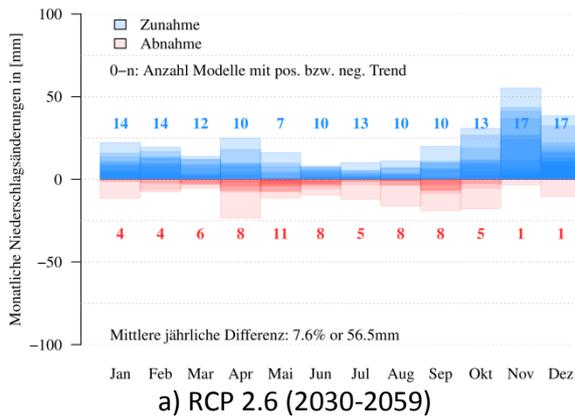
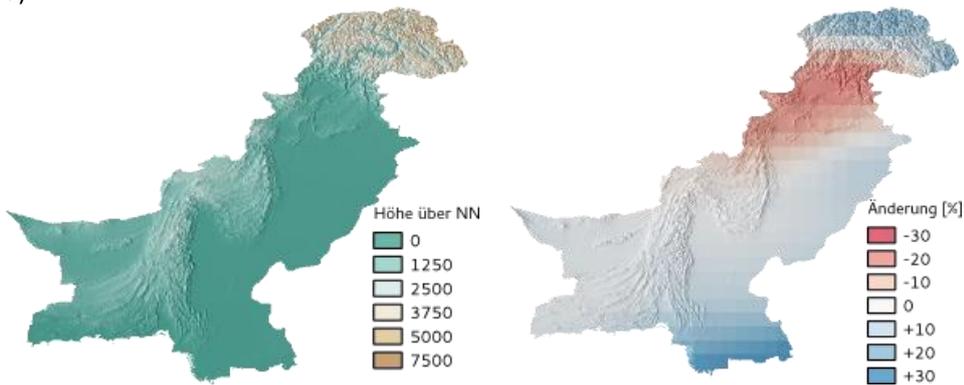


Abb. 6-4: Monatliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

Anhang C: Pakistan



a) ²²

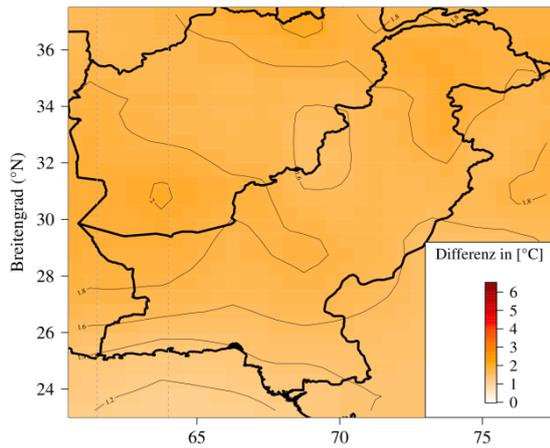


b)

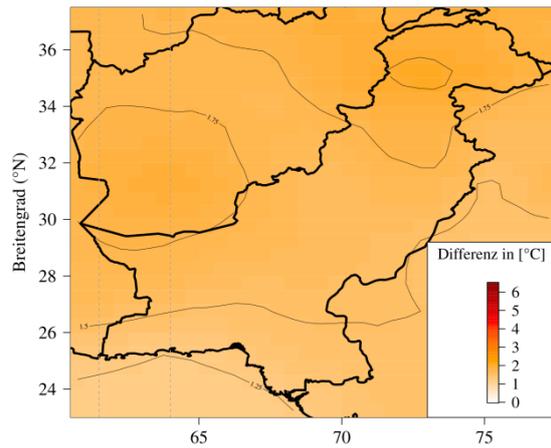
c)

Abb. 6-5: Pakistan Übersicht. a) Regionen, b) Geländemodell, c) Beispiel für projizierte Niederschlagsänderungen für RCP8.5 relativ zum Zeitraum 1970-1999 (vgl. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. d).

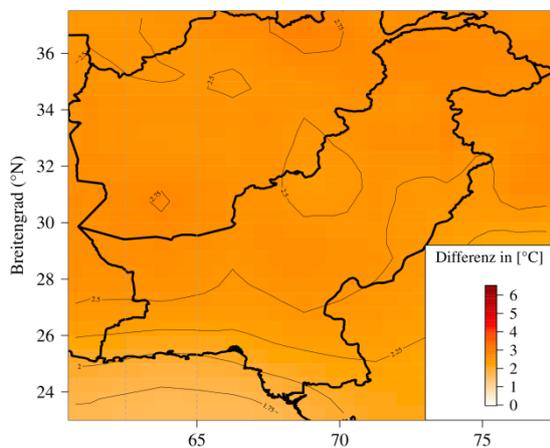
²² <http://www.wfp.org/students-and-teachers/students/blog/field-pakistan>



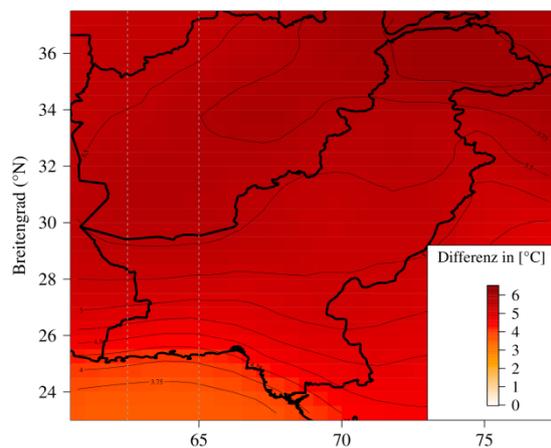
a) RCP 2.6 (2030-2059)



b) RCP 2.6 (2070-2099)

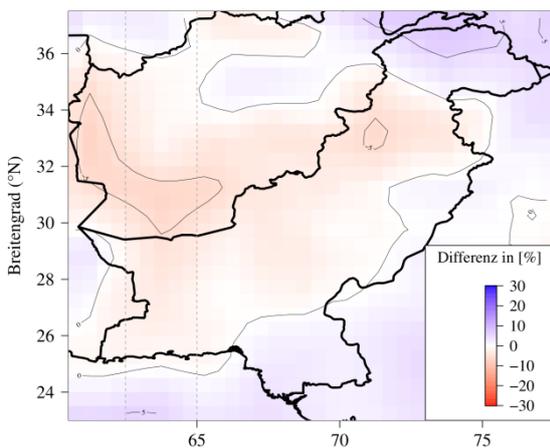


c) RCP 8.5 (2030-2059)

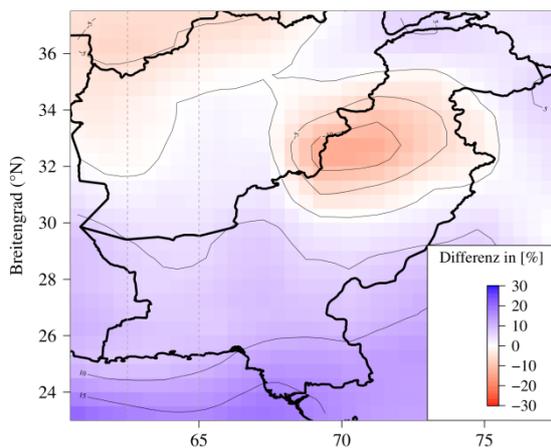


d) RCP 8.5 (2070-2099)

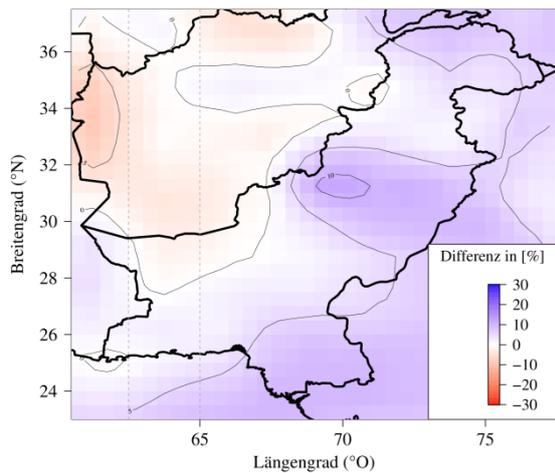
Abb. 6-6: Jährliche Temperaturänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.



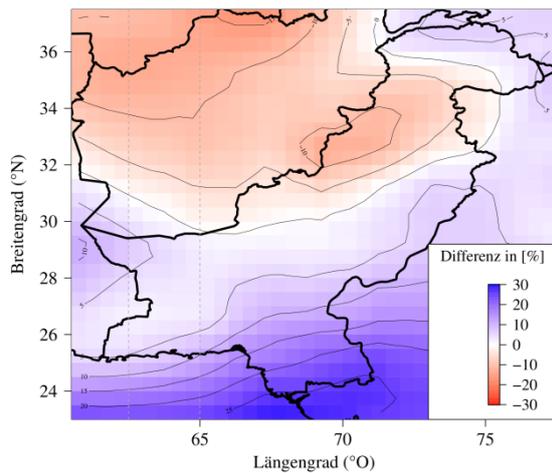
a) RCP 2.6 (2030-2059)



b) RCP 2.6 (2070-2099)

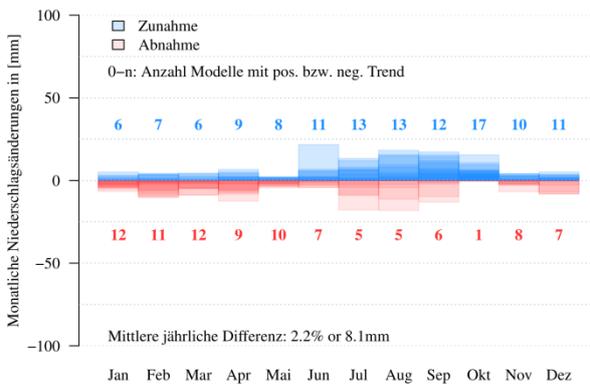


c) RCP 8.5 (2030-2059)

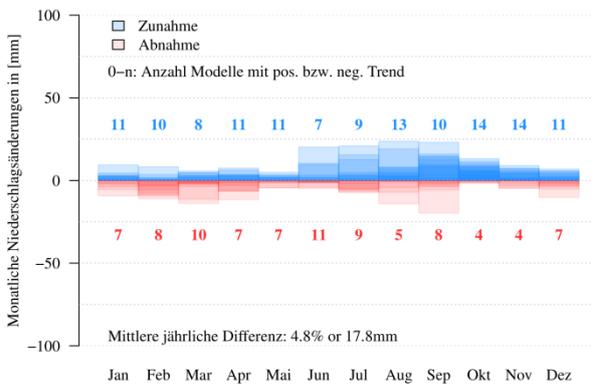


d) RCP 8.5 (2070-2099)

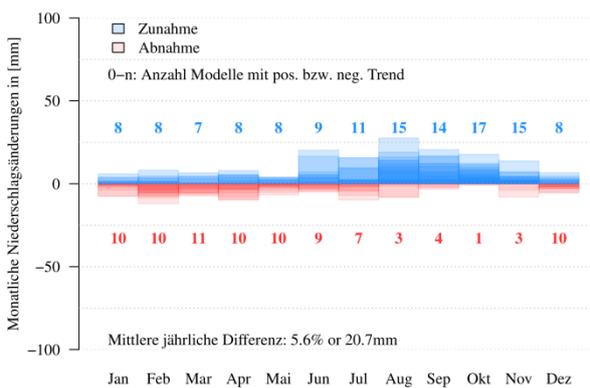
Abb. 6-7: Jährliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.



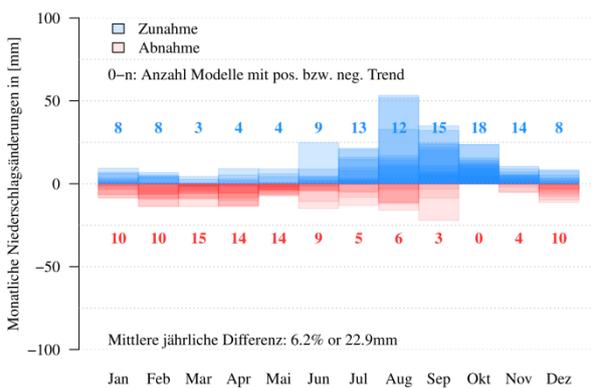
a) RCP 2.6 (2030-2059)



b) RCP 2.6 (2070-2099)



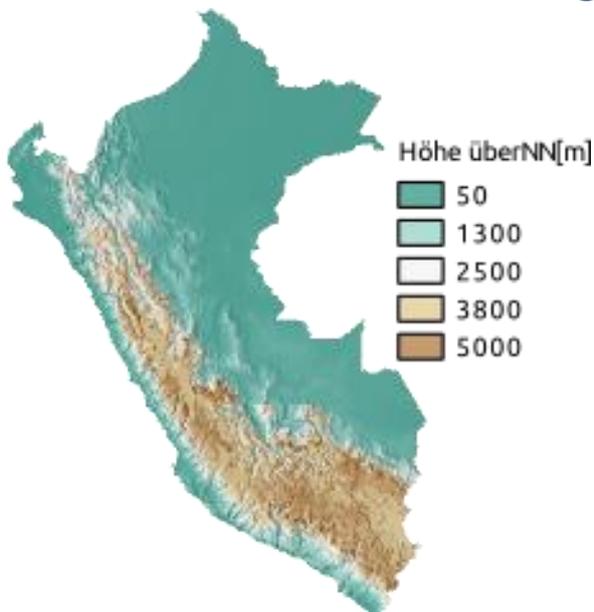
c) RCP 8.5 (2030-2059)



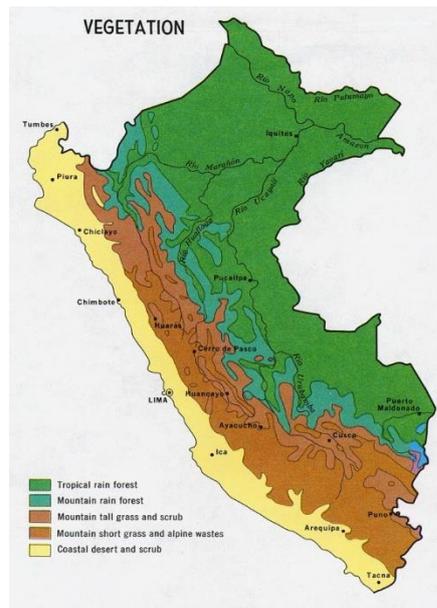
d) RCP 8.5 (2070-2099)

Abb. 6-8: Monatliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

Anhang D: Peru



a) Geländemodell



b) Vegetationszonen²³

Abb. 6-9: Geländemodell (a) und die Vegetationszonen bzw. Landschaftsräume Costa, Sierra, und Selva (b) Perus.

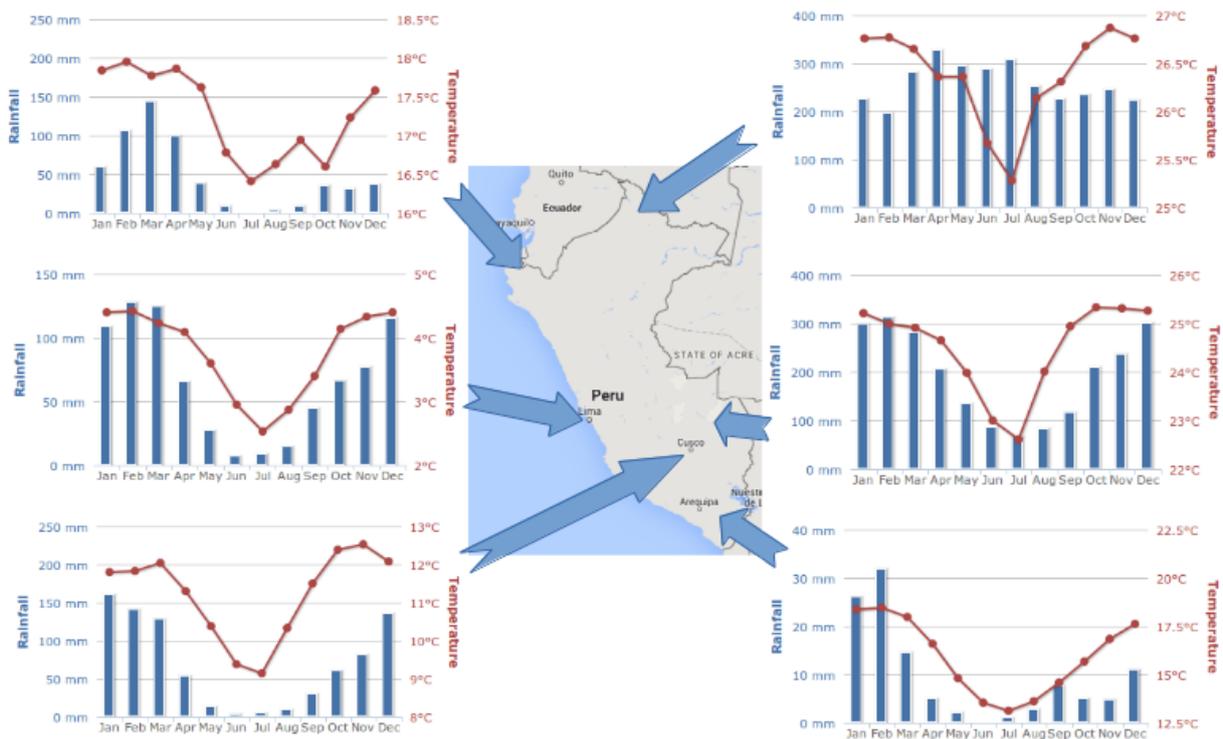
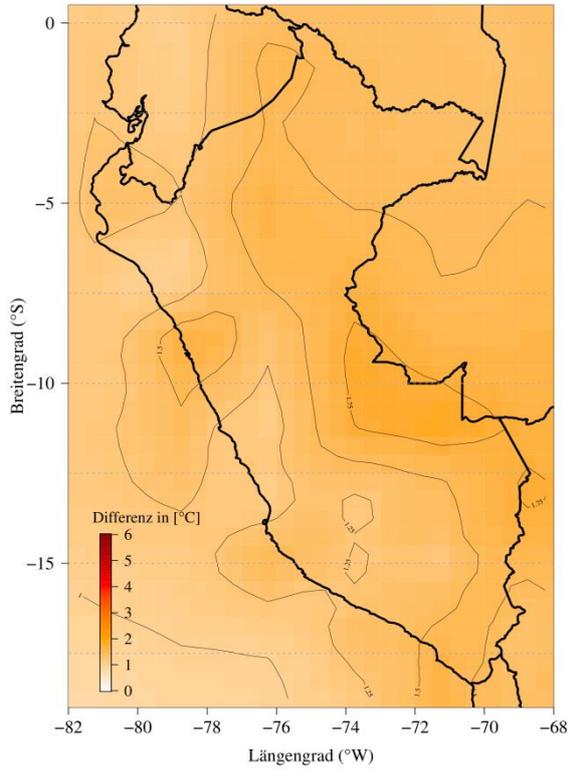


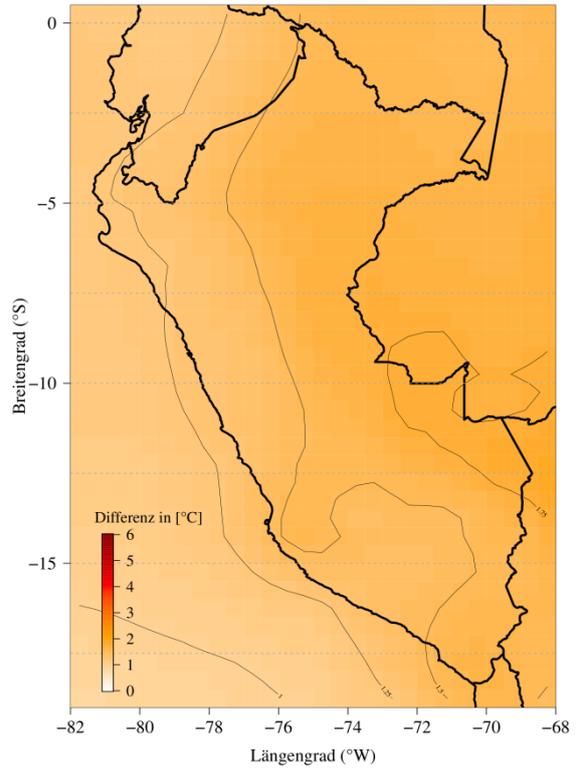
Abb. 6-10: Niederschlags- und Temperaturregime in Peru für den Zeitraum 1960-1990.

Quelle: <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/>

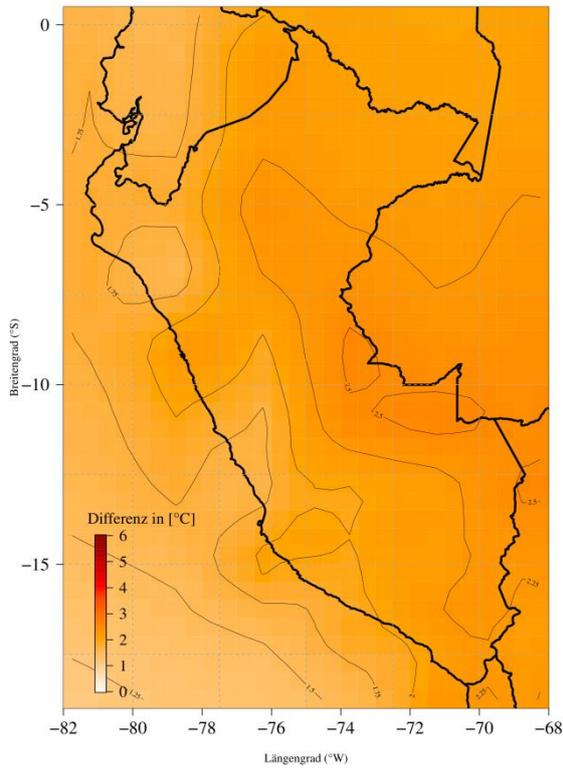
²³ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Peru_veg_1970.jpg



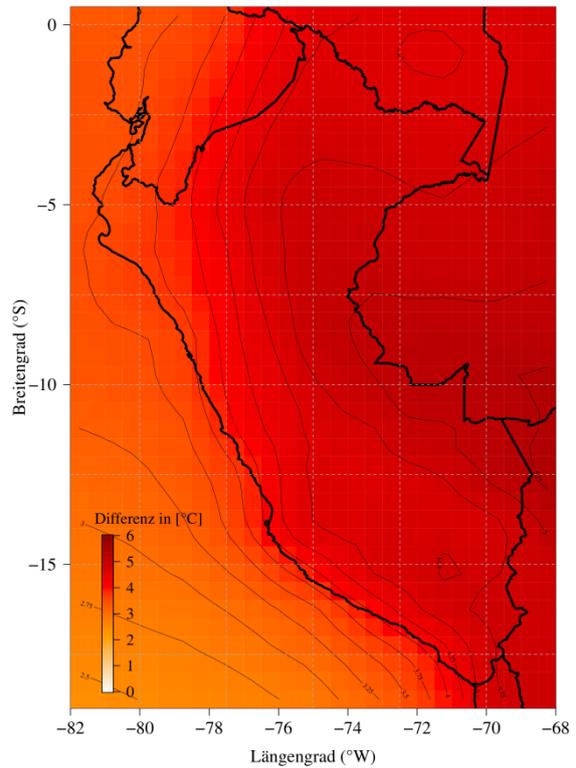
a) RCP 2.6 (2030-2059)



b) RCP 2.6 (2070-2099)

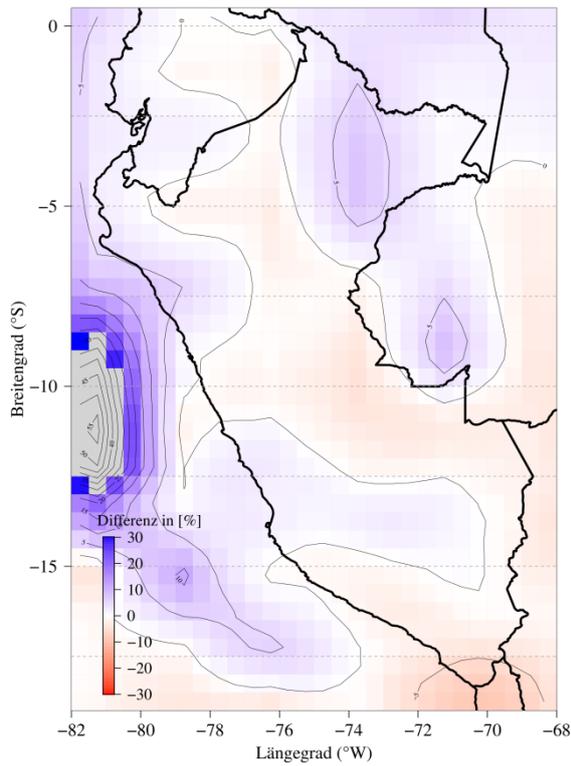


c) RCP 8.5 (2030-2059)

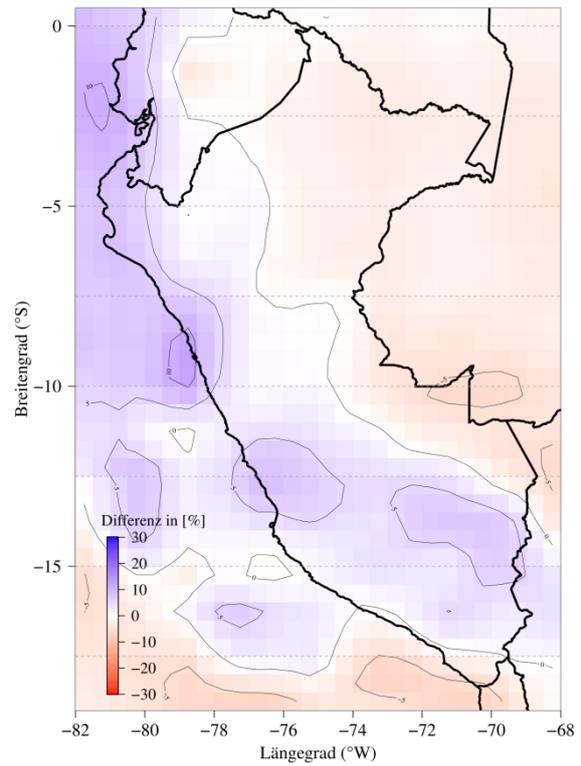


d) RCP 8.5 (2070-2099)

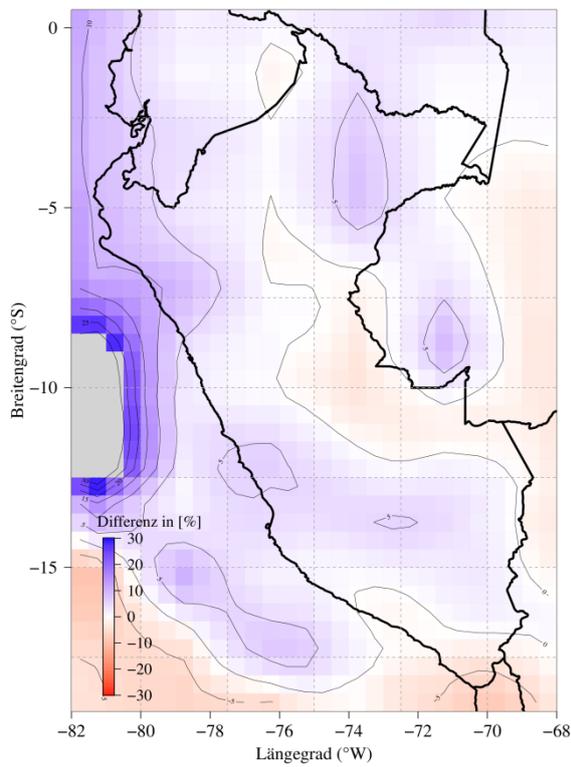
Abb. 6-11: Jährliche Temperaturänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.



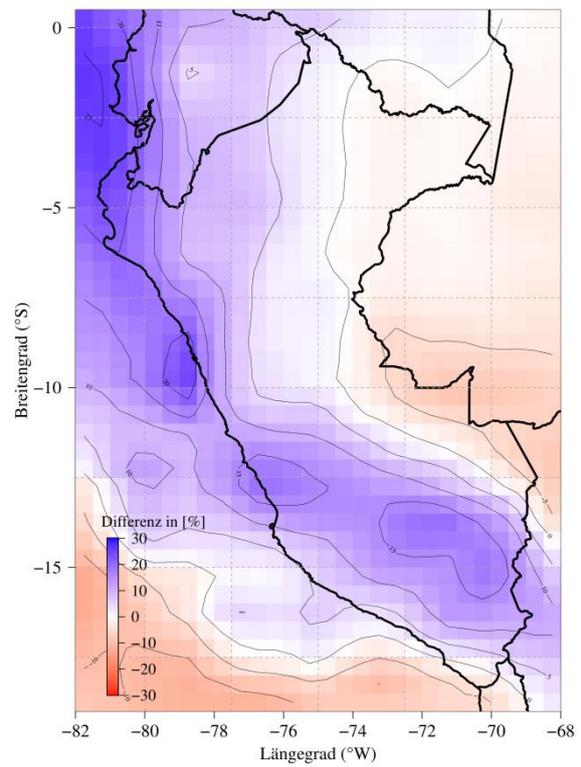
a) RCP 2.6 (2030-2059)



b) RCP 2.6 (2070-2099)



c) RCP 8.5 (2030-2059)



d) RCP 8.5 (2070-2099)

Abb. 6-12: Jährliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.

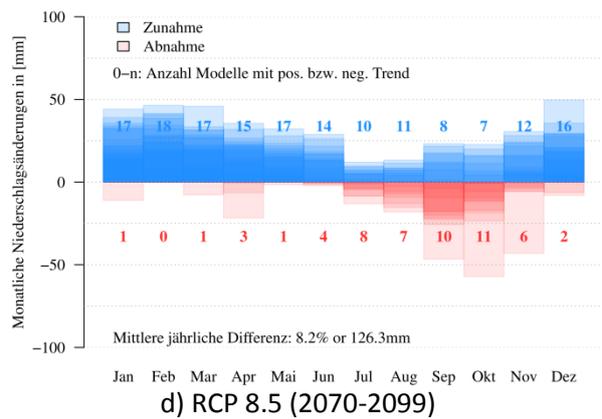
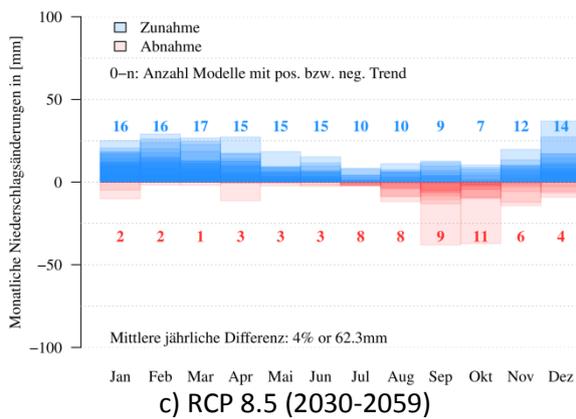
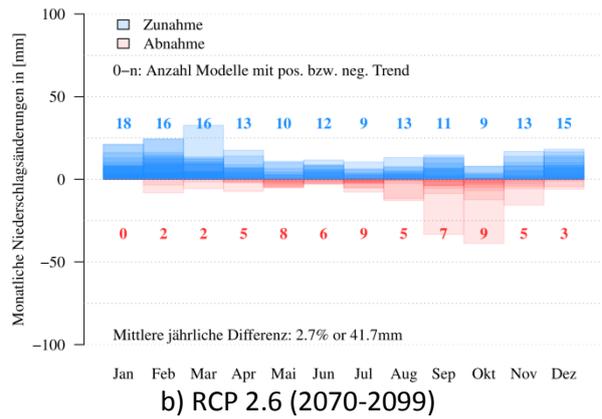
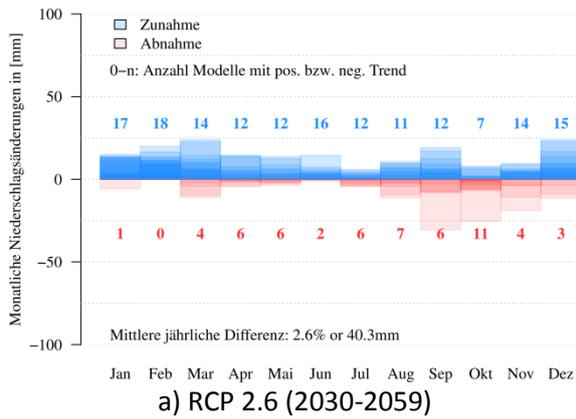


Abb. 6-13: Monatliche Niederschlagsänderungen zwischen Referenzperiode (1970-1999) und Projektionszeitraum basierend auf 18 CMIP5 GCMs.