



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences

Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung

MASTERARBEIT

Thema:

Analyse möglicher Zusammenhänge weltweiter Klimaveränderungen und potenziell abnehmender Erträge bei Getreide unter Beachtung einer zunehmenden Weltbevölkerung - Skizzierung eines potenziellen Beitrags zur Ernährungssicherung durch den erweiterten Anbau von Hirse (*Sorghum sp.*)

Name, Vorname: Ahrens, Martin
Matrikelnummer: 4056368
Geburtstag: 02.07.1982
Studiengang: MBA Agrarmanagement (Fernstudium)

1. Gutachter: Prof. Dr. Heiko Scholz
(Hochschule Anhalt, Bernburg, Deutschland)
2. Gutachter: Dr. Tim Reuter
(Government of Alberta, Lethbridge, Kanada)

Bernburg (Saale), 02.07.2019

Zusammenfassung

Schlagwörter:

Bevölkerungsentwicklung, Klimaveränderung, Handelsströme, Ernährungssicherung, Sorghum, Anbauländer

Das globale Bevölkerungswachstum und die Verschiebung der Wohlstandsgruppen, einschließlich der Absicherung der grundlegenden Bedürfnisse von Menschen mit vergleichsweise geringeren Einkommen, bilden eine der größten Herausforderungen der Zukunft. Zudem zeigt die globale Entwicklung des Klimas zunehmende Veränderungen hinsichtlich der Temperaturen, Bodenbedingungen und Wasserverfügbarkeit, verbunden mit einer daraus resultierenden regionalen Verschiebung der ariden Gebiete. Als Folge dieser Veränderungen werden sich zunehmend Produktionsstandorte und die Bestimmungsländer von Agrarprodukten verschieben.

Basierend auf den Daten dieser Arbeit lässt sich ableiten, dass Sorghum aktuell vor allem in Afrika neben Mais und Reis zu den drei wichtigsten Getreidekulturen gehört und dort in erster Linie für die Humanernährung angebaut wird. Dies resultiert aus der Eignung der Pflanze für warme, aride bis semiaride Regionen, die unter anderem zu trocken für Mais sind. Im Vergleich ist die Toleranz gegenüber leicht salinen Böden bei Sorghum höher als bei Mais.

In naher Zukunft könnten Investitionen in Forschung und Technologie die Leistung und das Wertschöpfungspotential von Sorghum und Hirse weiter verbessern und auch im Sinne einer globalen Ernährungsabsicherung optimieren.

Im Zentrum der Arbeit werden historische und prognostizierte Daten bis zum Jahre 2100 auf eine globale Korrelation von Bevölkerungswachstum, Klimaveränderungen, landwirtschaftliche Produktion und Produktionsflächen, Handelsströme sowie natürliche Ressourcen analysiert und diskutiert.

Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass globale und regionale Entscheidungsträger vor einer komplexen Herausforderung stehen, um auch in Zukunft grundlegende menschliche Bedürfnisse - besonders mit Rücksicht auf Natur und Umweltschutz sowie sich verringenden natürlichen Ressourcen - sicher zu stellen.

Abstract

Key words:

Population development, climate change, trade flows, food security, sorghum, food-growing countries

Global population growth and the shifting of wealth groups, including the task of covering basic needs of people with particularly low income, pose one of the greatest challenges of the future. Further, the global climate development shows increasing change in regards to temperatures, soil conditions and availability of water - which links to a resulting regional shift of arid regions. As a consequence of these changes, relocation of production locations and purchaser countries will take place.

Deriving from the data of this thesis, sorghum can be currently considered as one of the three major grain crops, especially in Africa, and is cultivated mainly for human nutrition needs - besides maize and rice.

This is a result of the plant's capability of warm and arid to semi-arid regions, which e.g. may be too dry for maize. Comparing to same, sorghum's tolerance to slightly saline soil is higher. In the near future, investments in development and technology could further improve the outcome and the potential in added value of sorghum and millet, also in respect of securing global food availability.

As a central part of this thesis, historical and predicted data up to the year 2100 is analysed and discussed in relation to a global correlation of population growth, climate change, agricultural production and production space, trade flows, as well as natural resources.

In conclusion, it can be determined that global and regional decision-makers are facing complex challenges to further secure basic human needs in the future - especially regarding nature and environmental protection, as well as shrinking natural resources.

Résumé

Mots clés :

Développement de la population, changement climatique, flux commerciaux, sécurité alimentaire, sorgho, terre cultivable

La croissance de la population mondiale, ajoutée à l'augmentation du niveau de vie et à la protection des besoins de première nécessité des personnes ayant de faibles revenus constitue l'un des plus grands défis de notre futur. A cela s'accompagne le changement climatique mondial qui entraîne une augmentation progressive des températures, une transformation des conditions des sols et une réduction de la disponibilité de l'eau potable provoquant un déplacement des zones arides. Ce qui engendrera des changements des lieux de production des matières premières et un changement des pays destinataires de ces produits agricoles.

Se basant sur des données scientifiques, notre travail nous mènera de l'état actuel du sorgho, qui avec le maïs et le blé appartient aux 3 plus importantes cultures céréalières d'Afrique et qui sera bientôt en première ligne en ce qui concerne l'alimentation de la population mondiale. Nous montrerons l'adaptation des plantes comme le sorgho au réchauffement climatique dans les régions arides ou semi-arides, trop sèches pour des plantes comme le maïs et plus tolérant aux sols plus salés.

Dans un futur proche des investissements dans la recherche et la technologie pourraient non seulement améliorer la valeur ajoutée du sorgho et du mil mais aussi par extension optimiser la sécurité alimentaire mondiale.

Au centre de notre travail seront analysées et discutées des données historiques et pronostiques allant jusqu'à l'année 2100 en corrélation avec la croissance de la population mondiale, le réchauffement climatique, la production agricole, les surfaces de production, les flux commerciaux et la diminution des ressources naturelles.

En conclusion nous donnerons les décisions prises au niveau mondial et régional pour faire face à ce défi complexe et garantir les besoins de la population en ce qui concerne les premières nécessités - dont les ressources naturelles - tout en respectant la nature et l'environnement.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei mehreren Menschen bedanken, die mich auf meinem Weg zum Studienabschluss begleitet haben.

Zuerst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Heiko Scholz für die gemeinsame Formulierung der Forschungsfrage bedanken. In diesem Zusammenhang weiterhin für die sehr gute Betreuung meiner gesamten Zeit und der Masterarbeit, die weitere Motivation und die wirklich tolle fortwährende Unterstützung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. Tim Reuter bedanken, dass er sich immer Zeit für die inspirierenden und sachlichen Diskussionen, die kritische Prüfung der Ergebnisse und daraus entstandenen großartigen Ansätze genommen hat.

Ein ganz besonderer Dank gebührt zudem meiner Frau Anne-Sophie, die mich bei der Abschlussarbeit und den gesamten Studien unterstützt und mich immer wieder zum Weitermachen ermutigt hat. Ohne Dich wäre das alles und viel mehr nicht möglich gewesen!

Zum Schluss möchte ich mich auch bei meinen Kommilitonen und vor allem unserer Fahrgemeinschaft bedanken, mit deren Hilfe ich so manche Hürde im Laufe des Studiums überwunden und einige tausend Kilometer zurückgelegt habe. Ein weiterer besonderer Dank gilt auch meinen Freunden, die trotz teilweise langen Studienstrecken und Abwesenheiten immer da waren und mich unterstützt haben.

Vielen Dank!

I. Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract	4
Résumé	5
Danksagung	6
I. Inhaltsverzeichnis	7
II. Abbildungsverzeichnis	9
III. Tabellenverzeichnis	11
1. Einleitung	13
2. Zielstellung	17
3. Material und Methode	18
4. Vorstellung und Differenzierung der Hirse	20
4.1 Ursprung	20
4.2 Beschreibung der Arten und Sorten	20
4.3 Anbaubedingungen	23
4.4 Anbauländer	23
4.5 Erntedaten	26
4.6 Ernährungsphysiologische Betrachtung	28
4.7 Wirtschaftliche Bedeutung	29
5. Bevölkerungsentwicklung	34
5.1 Aktuell	34
5.2 Entwicklung / Prognose	36
6. Klimadaten	41
6.1 Auslöser und aktuelle Klimadaten	41
6.2 Entwicklung / Prognose	45
6.3 Auswirkung auf Wasserversorgung und Böden	46
7. Handelsströme	50
7.1 Aktuell	52
7.2 Import- / Exportdaten Getreide (je Top 10 Länder)	56
7.3 Import- / Exportdaten Sorghum (je Top 10 Länder)	58
7.4 Entwicklung / Prognose	60

8. Diskussion.....	62
8.1 Anbaubedingungen und Ursprungsländer.....	68
8.2 Bevölkerungsentwicklung.....	73
8.3 Klimaveränderung.....	77
8.4 Verschiebung der Produktionsmengen und Bestimmungsländer	84
9. Fazit	93
10. Literaturverzeichnis	96
11. Internetquellen.....	98
12. Selbstständigkeitserklärung.....	105

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sorghum bicolor (Bestand Ernte Korn).....	22
Abbildung 2: Globale Anbaufläche Sorghum (2010 – 2017, ha)	24
Abbildung 3: Globale Anbaufläche Sorghum (Durchschnitt 2010 – 2017).....	24
Abbildung 4: Hauptanbauländer Sorghum-Hirse (2017, flächenbezogen)	26
Abbildung 5: Erträge Sorghum TOP10 Länder (2010 - 2017)	27
Abbildung 6: Globale Anbaufläche diverser Getreidearten (2010, 2014, 2017).....	30
Abbildung 7: Globale Anbaufläche ausgewählter Getreidearten (Durchschnitt, 2010 - 2017)	31
Abbildung 8: Getreideanbau Afrika (ha, 1961 - 2017).....	32
Abbildung 9: Getreideanbau Afrika (t, 1961 - 2017).....	32
Abbildung 10: Preisindex Sorghum TOP10 Länder (2004 - 2016)	33
Abbildung 11: Anteil Bevölkerung pro Kontinent (2017).....	34
Abbildung 12: Bevölkerungsentwicklung nach Kontinenten (1950 - 2100).....	37
Abbildung 13: Bevölkerungsentwicklung Afrika & Asien (Regionen, 1950 - 2100)	37
Abbildung 14: Bevölkerung mit geringem, mittlerem, hohem Einkommen (1950 - 2100)	38
Abbildung 15: Geburtenrate / Anzahl Kinder nach Kontinenten (1950 - 2100)	39
Abbildung 16: Anteil 65+ zu 20 bis 64-jährigen nach Kontinenten (1950 - 2100)	40
Abbildung 17: Länder > 100 Millionen Einwohner (2017, 2030, 2050, 2100)	40
Abbildung 18: Aussterberate unterschiedlicher Arten in geologischen Zeiträumen	41
Abbildung 19: Übersicht Temperatur & CO2 Konzentration in geologischen Zeiträumen.....	42
Abbildung 20: Temperaturdiagramm „Hockey-Stick“ (1000 – 1990).....	43
Abbildung 21: Anteil zum Treibhauseffekt der langlebigen Treibhausgase (2016)	44
Abbildung 22: Entwicklung und Zustand „Hothouse Earth“	45
Abbildung 23: Globale Verteilung von Trockengebieten (Mittelwerte, 1961 – 1990)	48
Abbildung 24: Globale Getreidemengen, Agrarflächen und Erträge pro ha (TOP20, 2017) .	51
Abbildung 25: Import Export Getreidemengen pro Kontinent (2016).....	51
Abbildung 26: Exportmengen von Getreide - Global nach Kultur (1990 – 2016)	55
Abbildung 27: Exportmengen von Getreide - Global nach Gesamtanteil (1990 – 2016).....	55
Abbildung 28: Import Getreide - TOP10 Länder (2016)	56
Abbildung 29: Export Getreide - TOP10 Länder (2016)	57
Abbildung 30: Import Sorghum - TOP10 Länder (2016).....	58
Abbildung 31: Export Sorghum - TOP10 Länder (2016)	59
Abbildung 32: Yield change with 2°C 4°C global warming	60

Abbildung 33: Routendarstellung konventionell vs. Nordostpassage	61
Abbildung 34: Wahrnehmung der globalen Risiken in der Bevölkerung	64
Abbildung 35: Zusammenhänge und Trends globaler Risiken	65
Abbildung 36: Einteilung Agrarland und Forstflächen (Kontinente, 2016)	66
Abbildung 37: Einteilung mehrjährige Kulturen, Weideland, kulturfähiges Land (Kontinente, 2016)	67
Abbildung 38: Globale Ertragsentwicklung von Getreide (1961 - 2017)	68
Abbildung 39: Verschiebung der ariden Unterteilung durch Abnahme der Niederschläge ...	70
Abbildung 40: Verschiebung der ariden Unterteilung durch Zunahme der Niederschläge....	70
Abbildung 41: Betroffene Länder Verschiebung Erträge (Niederschläge Temperaturen) ...	72
Abbildung 42: Bevölkerungsentwicklung der 42 Länder (Gesamt).....	76
Abbildung 43: Verlauf und Übersicht Treibhausgase (1970 - 2014).....	78
Abbildung 44: CO ₂ Quellen und Verlauf (1990 - 2010)	78
Abbildung 45: CH ₄ Quellen und Verlauf (1990 - 2008).....	79
Abbildung 46: N ₂ O Quellen und Verlauf (1990 - 2010)	79
Abbildung 47: Emissionsszenarien in Abhängigkeit der Klimapolitik (2010 - 2100).....	81
Abbildung 48: Globaler Temperaturverlauf und Sonnenfleckenzyklus (1880 - 2010)	82
Abbildung 49: Übersicht der Temperaturverläufe der letzten 2000 Jahre (Nordhalbkugel) ..	83
Abbildung 50: Erträge von Mais, Reis, Soja, Weizen mittels Solar-Radiation-Management.	84
Abbildung 51: Länder mit hohen Versorgungslücken (2100).....	88
Abbildung 52: Anteil der Flächenentwicklung bei Getreide zur globalen Agrarfläche nach Kontinenten (2010, 2050, 2100).....	91

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung der Getreidearten gemäß FAOstat (engl. / dtsh.)	19
Tabelle 2: Übersicht Hirsearten	20
Tabelle 3: Anbaufläche Sorghum TOP10 Länder und jeweils Flächenanteile & Vergleich Getreide (2017)	25
Tabelle 4: Erträge Sorghum TOP10 Länder (2010 – 2017)	27
Tabelle 5: Inhaltsstoffe Sorghum	28
Tabelle 6: Anteil und Bevölkerungszahl pro Kontinent (Vergleich 1950 zu 2017).....	35
Tabelle 7: Anteil und Bevölkerungszahl TOP30 Länder (2017).....	35
Tabelle 8: Ariditätsindex (AI).....	48
Tabelle 9: Verteilung Bewässerungskulturen Anteil Getreideanbau (Global, 2006).....	49
Tabelle 10: Globale Getreidemengen, Agrarflächen und Erträge pro ha (TOP20, 2017)	50
Tabelle 11: Weizen - Erntemengen TOP10 Länder (2017)	52
Tabelle 12: Mais - Erntemengen TOP10 Länder (2017)	52
Tabelle 13: Reis - Erntemengen TOP10 Länder (2017).....	53
Tabelle 14: Gerste - Erntemengen TOP10 Länder (2017)	53
Tabelle 15: Sorghum - Erntemengen TOP10 Länder (2017)	54
Tabelle 16: Import Getreide - TOP10 Länder (2016)	56
Tabelle 17: Export Getreide - TOP10 Länder (2016)	57
Tabelle 18: Import Sorghum - TOP10 Länder (2016).....	58
Tabelle 19: Export Sorghum - TOP10 Länder (2016)	59
Tabelle 20: Routenberechnung und Einsparung konventionell vs. Nordostpassage	61
Tabelle 21: Betroffene Länder Verschiebung Erträge (Niederschläge Temperaturen)	71
Tabelle 22: Produktionsmengen der 42 Länder (2017)	73
Tabelle 23: Produktionsmengen Global - Anteil der 42 Länder (2017)	73
Tabelle 24: Aufteilung und Zunahme der ariden Gebiete bis 2100	85
Tabelle 25: Ernte und Produktionsdaten Sorghum (World; 42 Länder; 2017)	86
Tabelle 26: Szenarien der kalkulatorischen Ernteauffälle Mais, Reis, Soja, Weizen (42 Länder, 2017).....	86
Tabelle 27: Flächen- und Ertragsentwicklung bei Getreide analog der Bevölkerungsentwicklung von 1970 bis 2010 sowie die prognostizierte Bevölkerung und bedarfsdeckende landwirtschaftliche Entwicklung im Jahre 2050 und 2100 global und nach Kontinenten gegliedert	89

Tabelle 28: Anteil der Flächenentwicklung bei Getreide zur globalen Landfläche und globalen Agrarfläche nach Kontinenten (2010, 2050, 2100)	90
Tabelle 29: Einfluss unterschiedlicher Fleischverzehrmenen und Substitution durch pflanzliche Proteinträger auf den Flächenbedarf pro Tag	92

1. Einleitung

Nach der grünen Revolution der letzten Jahrzehnte müssen jetzt die grünen technischen Innovationen entwickelt werden. Aktuell sind etwa 821 Millionen Menschen unterernährt, das heißt jeder neunte Mensch auf der Welt - obwohl es gegenwärtig ausreichend Nahrung für die gesamte Erdbevölkerung gibt. Dies ist auf die bislang gestiegenen Produktionsmengen pro Hektar Agrarland zurückzuführen. Seit 1961 konnte zum Beispiel die Leistung bei Getreide global etwa um das 3-fache pro Hektar gesteigert werden – bei einer 2,5-fachen Zunahme der Bevölkerung (FAOstat, 2019). Die Zunahme der Weltbevölkerung ist wissenschaftlich belegt und einer der relevantesten Faktoren bezogen auf die globale Versorgung. Aktuelle Hochrechnungen (VEREINTE NATIONEN [UN], 2017) deuten darauf hin, dass im Jahr 2050 etwa 10 Milliarden Menschen und im Jahr 2100 circa 11 Milliarden Menschen im Vergleich zu etwa 7,6 Milliarden (2018) auf der Erde leben werden. Global siedeln jährlich 26,4 Millionen Menschen in andere Länder um, wobei zu 86% klimabedingte und zu 14% geophysische Gründe angegeben wurden (Durchschnitt 2008 bis 2014, WHO 2019). Nach Schätzungen der FAO (*Food and Agricultural Organisation of the United Nations*) wird die Lebensmittelproduktion bis 2050 um weitere 70% steigen müssen. Die Nachfrage nach Fleisch und abwechslungsreicher Nahrung wird nach aktuellen Schätzungen infolge des Anstiegs der Lebensstandards und den steigenden Ansprüchen der wachsenden Mittelschicht vor allem in Afrika und Asien bis 2020 voraussichtlich um 55% steigen, in diesem Zusammenhang wird auch die Nachfrage von Getreide für die tierische Versorgung jährlich um circa 3,5% ansteigen (ZAHEER/REUTER, 2017).

Mit dem gravierenden Bevölkerungsanstieg der letzten und vor allem zukünftigen Jahre - und der Ernährungssicherheit (*Food Security*) ebendieser - müssen wir uns intensiv beschäftigen. An die grüne Revolution der vergangenen Jahrzehnte muss mit „grünen technischen Innovationen“ (FLACHOWSKY et al., 2019) angeknüpft werden, um die Versorgung sicherstellen zu können. Dabei sind die natürlichen Ressourcen, wie Land, Wasser und Rohstoffe, limitiert. Es gibt verschiedene Ansätze, über die in der Wissenschaft diskutiert wird. Aktuell sind etwa 37% der globalen Landfläche Agrarflächen. Damit gäbe es die Möglichkeit der weiteren Intensivierung. Bei der Intensivierung der Anbaumethoden müssen allerdings auch der Schädlingsdruck und die möglicherweise neuen Pflanzenkrankheiten respektive Resistenzen betrachtet und beachtet werden, die daraus resultieren können. Die Wasserknappheit von verfügbarem Süßwasser ist ein absolut limitierender Faktor für alle Pflanzen, Salzwasser stünde in ausreichenden Mengen zur Verfügung. In diesem Zusammenhang kann die Beobachtung des Salzgehaltes in den Meeren und Ozeanen wichtig

sein, ob es eventuelle Verschiebungen und/oder Verminderungen gibt. Eine Modifikation von Pflanzenmaterial kann ebenfalls eine Lösung bieten, zum Beispiel die CRISPR/Cas9 Technik (ZAHEER/REUTER, 2017). Dabei können die pflanzeigenen Gene modifiziert werden, ohne Fremdmaterial einzusetzen – z.B. in Richtung einer höheren Salztoleranz, höheren Trockenstresstoleranz, Toleranzen gegen bestimmte Schädlinge oder Krankheiten, Anbaumöglichkeiten in aktuell noch ungeeigneten Gebieten und vor allem höheren Ertragsmöglichkeiten, besserer Photosyntheseleistung und einer Verbesserung der Pflanzeninhaltsstoffe. In diesem Zusammenhang muss auch der nachgelagerte Sektor in Form der Tierernährung eingeschlossen werden, dass auch an der Stelle mit den modifizierten Pflanzen entsprechende Fortschritte in der Zunahme und Verfügbarkeit von tierischem Protein gemacht werden. Eine Grundlage eben dieser Forschungen kann die Sorghum-Hirse bieten, da diese Pflanze bereits ein Fundament an Möglichkeiten mitbringt, die weiterentwickelt werden können.

In diesem Zusammenhang kann auch die Frage nach dem Nutzen und Wert des Geldes bzw. den monetären Möglichkeiten gestellt werden, wenn es nicht mehr genügend Nahrung und Wasser für die Versorgung geben wird. Es sollten auch weiterhin Alternativen zu den klassischen Proteinquellen tierischen Ursprungs diskutiert werden, ebenso die Nachbildung entsprechender Lebensmittel oder noch kaum genutzte Potentiale, wie Einzellerproteine (*Single Cell Protein* [SCP; Pilze, Algen etc.]), Insekten oder In-vitro Fleisch bzw. ob nicht auch unsere domestizierten Haustiere in Konkurrenz zu der primären Humanernährung stehen (FLACHOWSKY et al., 2019).

Zu dem Themenfeld des massiven Bevölkerungswachstums und der Verknappung von verfügbaren und nutzbaren Wasserquellen, kommt auch der andauernde Klimawandel erschwerend hinzu. Die Eisschilde in den Polarmeeren schmelzen, weltweit steigen als Konsequenz die Meeresspiegel an und auch die unterschiedlichen Wetterextreme, wie Dürren, Starkregen, Überschwemmungen oder auch Verschiebungen der Saisonzeiten nehmen immer weiter zu (WHO, 2019). In aktuellen Zeiträumen und Klimaperioden haben die sogenannten Hitzewellen nicht nur die deutsche Landwirtschaft betroffen, auch global ist dies ein relevanter Faktor (WEF, 2019). Wichtig ist an dieser Stelle zu ergänzen, dass diese Hitzewellen die Landwirtschaft wiederholt und in kürzeren Abständen betroffen haben. Durch die Beobachtungen seitens der Wetterdienste, Ableitungen wissenschaftlicher Arbeiten und daraus resultierender Prognosen bezüglich des globalen Wandels und der Klimaaktivitäten (PROCTER et al., 2018; CAT, 2018), werden diese Hitzewellen weltweit in Zukunft noch häufiger auftreten, sich die Wetterphänomene intensivieren und Wetterfenster verschieben. Daher müssen national und international Lösungen gefunden werden, wie die Landwirtschaft und der gesamte Agrarsektor damit umgehen kann. Unterstützt wird diese These bereits von

vielen Arbeiten und Studien, wie unter anderem der globalen Erwärmung durch Treibhausgasemissionen (SÉVELLEC, 2018). Auch die stark ansteigenden CO₂-Werte haben eine negative Wirkung auf die jeweiligen Erträge der unterschiedlichen Kulturen (TIGCHELAAR, 2018). Weiterhin sei auf den Sonderbericht „*Global Warming of 1.5°C*“ des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2018) verwiesen. Der klimatische Wandel hat eine Auswirkung auf den weltweiten Getreidemarkt und kann diesen sogar destabilisieren (TIGCHELAAR, 2018). Als Folge des Klimawandels gehen Trockenperioden, aber auch Starkregenphasen und daraus jeweils entsprechend resultierende Ernteausfälle aufgrund von Trockenstress und Salinität einher. Dies kann durch die Reduzierung vor allem in den Haupterzeugerländern eine globale Versorgungslücke und ergebende Preissteigerungen hervorrufen. In den Anbauländern selber wird die Versorgung zunächst sichergestellt sein. Allerdings werden die Ausfälle auf die Exportmengen Auswirkungen haben, da diese sich reduzieren bis ganz aussetzen werden. Verstärken können dieses Szenario noch parallele Ernteausfälle in mehreren Regionen und Hauptanbauländern. Auch das Geoengineering mittels *Solar-Radiation-Management* (SRM), bei dem beispielsweise künstlich Schwebeteilchen in der Atmosphäre ausgebracht werden, um die Sonnenstrahlen zu reflektieren, ist in der landwirtschaftlichen Praxis aktuell noch keine Lösung, da trotz Temperaturreduktion von ungefähr 0,5°C mittels SRM, die Ernterträge von Mais, Soja, Weizen und Reis weiter um ca. 5 – 10% abnehmen (PROCTOR et al., 2018). Dieser Ansatz wird in der Diskussion weiter ausgeführt. Resultierend daraus werden sich die globalen Warenströme der Erzeugerländer mit Missernten, und dem entgegenstehend die Erzeugerländer mit Überkapazitäten oder neu erschlossenen Anbauregionen und geeigneten Kulturen, verschieben. Es sollte also bereits vorausschauend in nächster Zeit eine Lösung gefunden und präsentiert werden. Getreide hat global in allen Ländern und Kulturen eine hohe Bedeutung – sowohl für die Humanernährung, als auch für die tierische Versorgung. Mais, Weizen, Reis und Gerste sind vor Sorghum-Hirse international die bedeutendsten Anbaukulturen. Weltweit ernteten 2017 die 10 größten Produktionsländer zusammen 67% der globalen Getreideproduktion (FAOstat, 2018). Die Top 5 der Erzeugerländer auf die Erntemengen bezogen, sind China, USA, Indien, Russland und Brasilien. Auf die Sorghum-Hirse bezogen ernteten 2017 die 10 größten Produktionsländer weltweit zusammen 76% der Produktionsmengen (FAOstat, 2018). Die Top 5 der Erzeugerländer für Sorghum sind USA, Nigeria, Mexiko, Äthiopien und Indien.

Die Kultur Sorghum *bicolor* L. (Körnerhirse) zählt heute bereits zu den fünf Weltwirtschaftspflanzen. Die Pflanze zeigt zwar unter anderem die Eigenschaft, dass es sich um eine frostempfindliche Kultur handelt - wie bereits einleitend beschrieben, wird dies allerdings nicht die Herausforderung des klimatischen Wandels sein. Der Vorzug dieser Kultur

ist vielmehr eine jeweilige Hitzetoleranz, geringe Wasseransprüche und somit eine hohe Dürre-resistenz. Eine leichte Salinität der Böden, zusammenhängend hervorgerufen durch deren Austrocknung, kann die Pflanze bis zu einem geringen Grad tolerieren. Diese Toleranz ist bei Hirse höher ausgeprägt als bei Mais. Hirse stellt in vielen Ländern bereits oder auch wieder eine der ernährungsphysiologischen Säulen als Grundnahrungsmittel dar. Die Karyopsen (Getreidekörner) können ähnlich dem Reis als Nahrungsmittel zubereitet und für die Herstellung von Brei, Grützen und Fladen verwendet werden. LIEBEREI und REISDORFF vermuteten bereits 2012, dass „...*in Anbetracht des Klimawandels Hirsen wahrscheinlich an Bedeutung gewinnen werden...*“. An dieser Stelle kann mit den bereits vorhandenen positiven Eigenschaften, mittels neuer Technologien weitergearbeitet werden.

In dieser Arbeit wird anhand der vorliegenden meteorologischen Daten, Studien und Prognosen gearbeitet und ein Zusammenhang der weltweiten Klimaveränderungen und potentiell abnehmenden Erträge beim Getreide, unter Beachtung einer Zunahme der Weltbevölkerung analysiert. Es gibt einige Studien, die diesen Ansatz bereits auf eine Region oder ein Land bezogen und mittels dortigen Veränderungen untersuchen, dagegen fehlt bei diesen Arbeiten der globale Ansatz inklusive der Warenströme – mit dieser Arbeit werden entsprechende Hypothesen und mögliche Veränderungen dargestellt und untersucht. Daraus resultierende Hypothesen und Annahmen sollen zur Diskussion von lösungsorientierten Umsetzungen anregen - besonders in den aktuell und auch zukünftig potentiell betroffenen Regionen und momentanen Entwicklungsländern. Diese werden sich vermutlich durch weitere Investitionen strukturstarker Regionen aus dem Status der Entwicklungsländer zu Schwellenländern weiter entwickeln und durch technischen Fortschritt dem Stand eines Industriestaates nähern. An dieser Stelle sind die Forderungen an die jeweiligen Entscheidungsträger adressiert. Das Thema dieser Arbeit hat sich aus der bereits internationalen Ausrichtung im beruflichen Netzwerk und dem Interesse, sowie der Nähe zur globalen und nachhaltigen Landwirtschaft ergeben. Als ein möglicher Lösungsansatz gilt der Beitrag zur Ernährungssicherung durch die Erweiterung von Anbauregionen und dem Pflanzenmaterial am Beispiel Hirse (*Sorghum sp.*). Die jeweiligen Fragen und Lösungsansätze finden sich in der Zielstellung und der späteren Diskussion respektive dem Fazit der Arbeit wieder.

2. Zielstellung

In dieser Arbeit sollen mögliche Zusammenhänge der weltweiten Klimaveränderungen und damit potentiell abnehmender Erträge in den Regionen bei Getreide allgemein, unter Betrachtung einer zunehmenden Weltbevölkerung analysiert werden. In diesem Zusammenhang werden auch die jeweiligen Mehrerträge respektive Mindererträge der fünf Weltwirtschaftspflanzen (Weizen, Mais, Reis, Gerste und Sorghum) skizziert und die daraus resultierenden Warenströme erfasst. Weiterhin soll ein möglicher Beitrag des erweiterten Anbaus von Hirse (*Sorghum sp.*) zur globalen Sicherung der Ernährung diskutiert und betrachtet werden.

Aus der Einleitung dieser Arbeit ergeben sich die nachfolgenden Fragenstellungen.

1. Wie werden sich die Erntemengen von Getreide durch klimatische Schwankungen weltweit verändern?
2. Kann der Anbau von Hirse in den Gebieten mit zunehmender Trockenheit die verminderten Erträge von konventionellem Getreide teilweise ausgleichen und wie könnte der Anbauumfang der Hirse gesteigert werden?
3. Wie können sich die Handelsströme von Hirse bei klimatischen Schwankungen und entsprechend abnehmenden Erträgen ähnlicher Kulturen entwickeln?
4. Welches sind zukünftige Länder und Ziele der Handelsströme und des direkten Anbaus von Hirse in ebendiesen?
5. Welche Regionen bieten aktuell und in Zukunft die klimatischen Bedingungen für den Anbau von Hirse?

3. Material und Methode

In dieser Arbeit wurden mögliche Zusammenhänge weltweiter Klimaveränderungen und potenziell abnehmender Erträge beim Getreide unter Beachtung einer zunehmenden Weltbevölkerung analysiert. Weiterhin wurde ein potenzieller Beitrag zur Ernährungssicherung durch den erweiterten Anbau von Hirse (*Sorghum sp.*) skizziert.

Als erstes Themenfeld wurden die wirtschaftlichen Daten der Hirse und des Getreides mit den jeweiligen Arten betrachtet. Zur Erstellung der Tabellen und daraus gebildeten Grafiken wurden die Datenbanken der FAO (FAOstat) unter <http://www.fao.org/faostat/en/#data> in der jeweils gültigen Fassung genutzt. Mit daraus gebildeten Datengrundlagen sind die Grafiken und Diagramme erstellt und entsprechende Hypothesen abgeleitet worden. Auf dieser Basis wurden zudem auch die Handelsströme erstellt und abgeleitet.

Das zweite Themenfeld sind die Bevölkerungs- und Entwicklungsdaten. Diese wurden aus der Datenbank der OECD unter <https://data.oecd.org/> (*Organisation for Economic Co-operation and Development* [Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung]), sowie der UN unter <https://population.un.org/wpp/DataQuery/> (*United Nations, DESA / Population Division* [Vereinte Nationen]) erstellt. Anhand dieser Quellen konnten die bevölkerungsspezifischen Daten nachvollzogen und abgebildet werden.

Das dritte Themenfeld, die Klimadaten, wurden aus den im Quellenverzeichnis angegebenen Arbeiten und Artikeln gezogen und ausgewertet. Dabei war es wichtig, dass diese Daten gemäß den Quellen zu der Grundlage der Auswertungen, bezogen auf die spezifischen Länder, Regionen und die Richtung der Arbeit passen. An dieser Stelle sollten vor allem die Arbeiten von FENG/FU (2013) und TIGCHELAAR et al. (2018) als Datengrundlage genannt sein. Hinsichtlich weiterer Betrachtungen und bereits untersuchten Ansätzen sollte auch auf die Arbeiten von PROCTOR et al. (2018) bezogen auf das SRM (*Solar Radiation Management*), sowie ZAHEER/REUTER (2017) und FLACHOWSKY/REUTER (2017) bezogen auf übergreifende Ansätze hingewiesen werden.

Das Themenfeld und die Abbildungen der Einleitung der Diskussion, bezogen auf die globalen Risiken und Zusammenhänge sowie die Abhängigkeiten, die aus den aktuellen weltweiten Veränderungen resultierten, sind in dem *14. Global Risk Report* des WEF (2019) beschrieben und konnten in dem Bericht weiter nachvollzogen werden.

Mittels der zuvor genannten Datenbanken und Quellen konnten die Resultate nachvollzogen und in ihrer Vollständigkeit reproduziert werden. Sämtliche Quellen sind unabhängig und wissenschaftlich aus öffentlich zugänglichen Institutionen entnommen. Die Datenbanken

wurden als CSV-Datei in Excel importiert und die Diagramme und Abbildungen daraus eigens erstellt.

In den Statistiken und Auswertungen dieser Arbeit wurde mit den Datensätzen und Begriffen der FAO, OECD und UN gearbeitet. Für die Lesbarkeit, Zuordnung und die Reproduktion der genauen Daten wurden die Begriffe und Kulturen nachfolgend übersetzt, den Gruppen zugeordnet und aufgeschlüsselt (Tab. 1). Es ist der lateinische Name oder die Subspezies zur Unterscheidung mit angegeben. Die Kulturen sind in der FAOstat Datenbank unter „Cereals“ (Getreide) als übergeordnete Gruppe zusammengefasst. Der *Item Code* ist die Klassifizierungsgruppe der FAOstat, der HS07 Code ist das „*Harmonized Commodity Description and Coding System*“ der World Customs Organization (WCO).

Tabelle 1: Zuordnung der Getreidearten gemäß FAOstat (engl. / dtsh.)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

Begriff (engl.)	Begriff (dtsh.)	Item Code	WCO HS07 Code
Wheat	Weizen (<i>Triticum spp.</i>)	15	100110, 100190
Maize	Mais (<i>Zea mays</i>)	56	100510, 100590
Rice, paddy	Reis, ungeschält (<i>Oryza spp.</i>)	27	100610
Barley	Gerste (<i>Hordeum spp.</i>)	44	100300
Sorghum	Sorghum Hirse (<i>Sorghum spp.</i>)	83	100700
Millet	Millet Hirse	79	100820
Oats	Hafer (<i>Avena spp.</i>)	75	100400
Rye	Roggen (<i>Secale cereale</i>)	71	100200
Cereals, nes	Sonstiges Getreide	113	110419, 110423, 110429
Triticale	Triticale (\times <i>Triticosecale</i>) Kreuzung Weizen & Roggen	97	100890
Buckwheat	Buchweizen (<i>Fagopyrum spp.</i>)	89	100810
Grain, mixed	Menggetreide/Gemenge, auch Meslin (zeitgl. Aussaat)	103	100890
Fonio	Fonio Hirse (<i>Digitaria spp.</i>), auch Hungerreis	94	100890
Canary seed	Kanariengras (<i>Phalaris canariensis</i>)	101	100830
Quinoa	Quinoa (<i>Chenopodiaceae spp.</i>)	92	100890

4. Vorstellung und Differenzierung der Hirse

4.1 Ursprung

Der Ursprung der Pflanze liegt in Afrika und wurde vor etwa 5.000 Jahren in Äthiopien domestiziert. Anschließend verteilten sich die einjährigen Gräser vor circa 3.000 Jahren in den asiatischen Raum respektive nach Indien und dann weiter nach Südostasien und China (WYK, 2005). Hirse wird heute weltweit in allen tropisch warmen und subtropischen Regionen angebaut.

4.2 Beschreibung der Arten und Sorten

Unter der Gattung Hirse gibt es diverse kultivierte Sorten und Arten als Nutzpflanzen. Allgemein werden unter diesem Begriff mehrere tropische Getreidearten der Untergattungen *Chloroideae* (Kleinhirse oder *Millet*) und *Panicoideae* (großsamige *Sorghum*-Hirse) eingegliedert. *Sorghum*-Hirsens sind großkörnige Nutzpflanzen mit höheren Hektarerträgen (1,4 bis 1,7 t/ha). *Millet*-Hirsens sind Nutzpflanzen, die kleinere Körner an den Rispen (ähnlich der Ähren) ausbilden und geringere Hektarerträge (0,7 bis 0,9 t/ha) haben (LIEBEREI/REISDORFF, 2012), allerdings weniger wärmebedürftig sind. Im Folgenden die unterschiedlichen Hirsens mit den jeweils lateinischen Namen und der Unterfamilie (Tab. 2).

Tabelle 2: Übersicht Hirsearten

Trivialname	Lateinischer Name	Unterfamilie
Fingerhirse	<i>Eleusine coracana</i>	<i>Chloroideae</i>
Foniohirse	<i>Digitaria exilis</i>	<i>Panicoideae</i>
Kodahirse	<i>Paspalum scrobiculatum</i>	<i>Panicoideae</i>
Kolbenhirse	<i>Setaria italica</i>	<i>Panicoideae</i>
Kutkihirse	<i>Panicum sumatrense</i>	<i>Panicoideae</i>
Mohren-/Körnerhirse	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Panicoideae</i>
Perlhirse	<i>Pennisetum glaucum</i>	<i>Panicoideae</i>
Rispenhirse	<i>Panicum miliaceum</i>	<i>Panicoideae</i>
Teff-/Zwerghirse	<i>Eragrostis tef</i>	<i>Chloroideae</i>
Weizenhirse	<i>Echinochloa frumentacea</i>	<i>Panicoideae</i>

Die Körnerhirse (*Sorghum bicolor* L. [auch Mohrenhirse oder Kaffernkorn]) ist als Nahrungsmittel die wichtigste Art dieser Gattung. Die einjährige Pflanze kann sortenabhängig bis zu 5m hoch werden und ist äußerlich vom Aufbau stark an die Maispflanze angelehnt. Die unterschiedlichen Sorten der Körnerhirse werden aus arbeitstechnischen Gründen mit einem mittelhohen Wuchs (bis zu 1,5m Höhe) favorisiert. An den Halmen trägt die Pflanze zweizeilige

schmale, längliche, bandförmige Blätter. An den Enden der Halme trägt die Pflanze aufrechte, je nach Sorte kompakte bis lockere Rispen zwischen 10cm bis 60cm Länge, die dünn verästelt zwei schmale Ähren tragen. Die in den Ähren befindlichen Körner zählen zu den Karyopsen, haben sortenspezifisch einen Durchmesser von 4mm bis 8mm und können ebenfalls je nach Sorte und Reifegrad rötlich, gelblich oder weiß gefärbt sein. Bei fehlender Wasserversorgung geht die Pflanze in eine Art Trockenstarre. Sobald Wasser jedwelchen Ursprungs (künstliche Beregnung, Niederschläge) wieder verfügbar ist, kehrt die Pflanze zum Wachstum bzw. der weiteren Entwicklung zurück. Weiterhin bildet die Pflanze dann neue Seitentriebe (BEYEL, 2003) und kann mittels größerer und neuer Photosyntheseflächen schneller in eine weitere Wachstumsphase kommen.

Von der Körnerhirse werden nur die Körner (Karyopsen) genutzt. Weiterhin gibt es noch Futterhirse, Faserhirse und Zuckersorghum. Faserhirse mit überdurchschnittlichem Zelluloseanteil wird als Faserrohstoff für Körbe und Dächer verwendet. Die Zuckerhirse (*Sorghum saccharatum* L.) hat einen vergleichsweise hohen Zuckergehalt im Stängel (7% bis 15% Saccharose [LIEBEREI/REISDORFF, 2012]). Die letzteren genannten Arten werden in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet, sind allerdings für die Tierernährung, zur energetischen und industriellen Nutzung in einigen Sektoren und Teilen der Welt gefragt. Nach BEYEL (2003) unterliegt Sorghum dem Mais aufgrund wertgebender Inhaltsstoffe bei der Fütterung von Nutztieren.

Hirse ist äußerlich vom Aufbau dem Mais ähnlich. Die Pflanzen sind verwand und gehören zur Familie der Süßgräser (*Poaceae*). Beides sind C₄-Pflanzen im Unterscheid zu den anderen Getreidearten wie Weizen, Gerste, Roggen oder Hafer. Daraus können auch der Zusammenhang und die Eigenschaft bzw. Gemeinsamkeit als C₄-Pflanze hergeleitet werden. Weitere C₄-Pflanzen sind Amarant, Chinaschilf, Zuckerhirse und Zuckerrohr. Diese Nutzpflanzen haben einen biophysiologicalen Vorteil (im Vergleich zu den C₃-Pflanzen [Kohlenstoffverbindung mit drei C-Atomen]) durch den höheren Durchlauf der C₄-Photosynthese (ein weiterer C-Atom-Fixierungspunkt) bei geringerem Wasserverbrauch, geringeren CO₂-Kompensationspunkten (zur CO₂-Assimilation) und unterdrückter Photorespiration (LÜTTGE et al., 2010). Durch die steigenden Temperaturen und unregelmäßigen Niederschläge bzw. dadurch fehlende Wasserversorgung entsteht ein weiterer entscheidender Vorteil dieser Pflanzen, da Sorghum somit erst später Ertragsdepressionen durch Trockenstress zeigt (JÄKEL, 2013). Zum Verständnis der Vorteile dieser Pflanzen soll nachfolgend noch weiter auf den C₄-Kreislauf eingegangen werden. Dabei ist dem Calvin-Zyklus (zyklische Folge, mittels der CO₂ zu Glucose bzw. einem Kohlenhydrat [Energie] im Stroma der Chloroplasten reduziert wird – auch als Dunkelreaktion bezeichnet, da diese lichtunabhängig abläuft) eine weitere CO₂-Fixierung vorgeschaltet. Durch diese

können die C₄-Pflanzen an sonnigen und trockenen Standorten CO₂ mittels der Carboxylierung von Phosphoenolpyruvat (PEP) von dem Enzym PEP-Carboxylase (PEPC) vorab bereits katalysieren, um anschließend mittels des Calvin-Zyklus die Kohlenhydrate daraus zu bilden. Somit steigt die Netto-Photosyntheseaktivität (LÜTTGE et al., 2010). Ein weiterer Punkt ist der Aufbau der Blattmorphologie. Die C₄-Pflanzen haben die Bündelscheidenzellen, die einen Ring um die Leitbündel im Mesophyll bilden. Darin fixiert die PEPC dass aus der Luft aufgenommene Kohlenstoffdioxid und kann durch die dortige Decarboxylierung eine bis zum Zehnfachen der CO₂-Konzentration speichern (LÜTTGE et al., 2010). C₃-Pflanzen schließen bei erhöhten Temperaturen die Stomata. Eine weitere CO₂-Aufnahme, Metabolisierung und Photosynthese ist bei diesen Pflanzen dann nicht mehr möglich. Zudem erfolgt bei den C₃-Pflanzen ein Wasserverlust durch die Transpiration mittels der Stomataöffnungen und offenen Leitbündeln, der negative Folgen auf die Photosyntheseleistung hat. Das heißt C₄-Pflanzen können durch den Unterschied des Abbaus respektive der PEPC Katalysierung und der differenten Blattgewebe effektiver das CO₂ binden bzw. einschließen, transportieren und mittels Photosynthese verarbeiten. Damit kann schneller Biomasse (u.a. Wurzelwerk) zur Erschließung von zusätzlichem Wasser und Blattwerk zur Photosynthese aufgebaut und die C₄-Pflanzen an wärmere Regionen mit höherer Lichtintensität (tropisches und subtropisches Klima) angepasst werden.



Abbildung 1: Sorghum bicolor (Bestand | Ernte | Korn)

Quelle: KÖPPL, 2016

4.3 Anbaubedingungen

Sorghum-Hirse hat flache Wurzeln und ist mit einem extensiven Wurzelsystem ausgestattet. Die frostempfindliche Kultur zeigt eine entsprechende Hitzetoleranz, stellt geringe Wasseransprüche und verfügt somit über eine hohe Dürre-resistenz. Beim Anbau ist die Feldhygiene zu beachten, um späteren Schäden durch etwa Verunkrautung bereits vorzubeugen. Für die Keimung und zügige Jugendentwicklung sollte die Bodentemperatur etwa +12°C bis +15°C betragen. Eine Saatbettbereitung von 3cm bis 5cm Saatgutablagertiefe wird empfohlen (JÄKEL, 2013). Fröste können in dieser Phase bereits zu nicht mehr reparablen Schäden und weitergehenden Ausfällen führen. Bei normalverteilten Niederschlägen von 500mm bis 800mm pro Jahr ist die Anbau- und Entwicklungsdauer eines kompletten Zyklus in etwa drei bis vier Monaten mit der Ernte abgeschlossen. Ein weiterer positiver Aspekt ist auch die Toleranz von hohen Anbauregionen (bis zu 2.300m in tropischen Regionen) und die hohen Optimaltemperaturen von +25°C bis +31°C (BRINK/BELAY, 2006). Hirse kann zur Biodiversität, die aus möglichst vielgliedrigen Fruchtfolgen besteht, und der Vielfalt auf dem Feld beitragen. Wenn sich die möglichen Anbauregionen für Hirse durch die klimatischen Gegebenheiten ausweiten, kann mittels züchterischen Fortschritts eine vollständig eingefahrene Fruchtfolge aufgebrochen, entzerrt und weiterentwickelt werden. Es wären neue Generationen von Fruchtfolgen möglich und zur Rekultivierung von Ackerland einsetzbar, die auf dem Fundament der Hirse aufbauen. Hirse kann damit zur Entzerrung von durch Mais dominierten Fruchtfolgen beitragen. Der Pflanzenschutz und die Nährstoffversorgung ist in der jeweiligen Region entsprechend anzupassen. Auch hinsichtlich des Maiswurzelbohrers [*Diabrotica virgifera*] und als eingesetztes Fruchtfolgeglied nach entsprechend früher geernteten Kulturen ist Hirse interessant. Ein aktueller Ansatz ist die klimatische Veränderung und die Verschiebung respektive Prolongation von immer weiteren Trockenperioden in bestimmten Gebieten. Pflanzen die an Salzstandorte angepasst sind, heißen *Halophyten*, nicht angepasste Pflanzen sind *Glykophyten*. Nach KOYRO/LIETH (1998) entwickeln sich Glykophyten bei NaCl-Gehalten von 0 bis 7g/l Bodensubstanz, das entspricht einem Gehalt von bis zu 0,7% NaCl für Glykophyten im Boden. Niedrigsalztolerante Pflanzen entwickeln sich bei 7 bis 25g/l und Halophyten bei 25 bis 65g/l.

4.4 Anbauländer

Die in dieser Arbeit behandelte Körnerhirse wird quantitativ nach Anbaufläche (ha) zum Großteil in Afrika angebaut (Abb. 2 und 3), daran orientiert sich auch die weltweite Erntemenge im Verlauf der letzten Jahre (FAOstat, 2018). Über die Jahre 2010 bis 2017 ist ein Anstieg der weltweiten Gesamtmenge bezogen auf die Anbaufläche von Sorghum von etwa 2% zu verzeichnen. An dieser Stelle wurde sich bewusst für die flächenbezogene Darstellung

entschieden, da somit die schwankenden Erntemengen von guten und schlechten Ertragsjahren in diesem Fall nicht relevant sind. Die jeweiligen Erntemengen aus 2017 werden in Kapitel 7.1 für die fünf Weltwirtschaftspflanzen mit den jeweils zehn Hauptanbauländern angeführt.

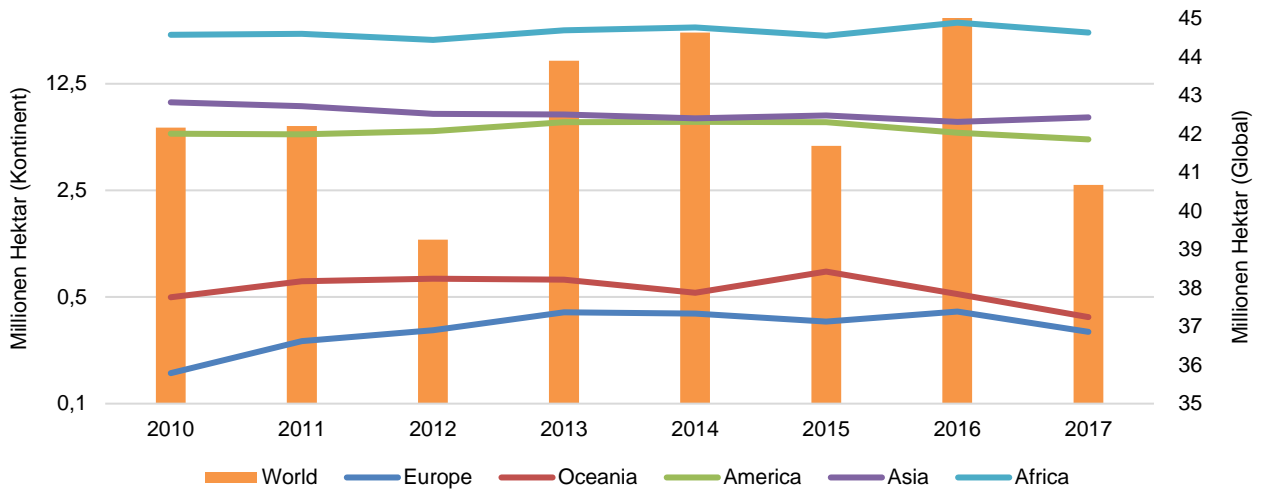


Abbildung 2: Globale Anbaufläche Sorghum (2010 – 2017, ha)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen)

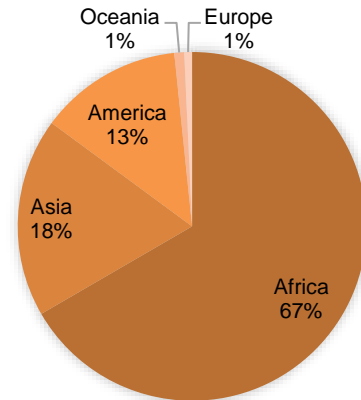


Abbildung 3: Globale Anbaufläche Sorghum (Durchschnitt 2010 – 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, %-Anteil)

Weiterhin sind nachfolgend die zehn Länder mit den weltweit größten Anbauflächen angegeben (Tab. 3). Die Hauptanbauggebiete für Sorghum liegen in Afrika und entsprechen 52% der globalen Anbaumenge. In der Tabelle sind zudem der jeweilige Flächenanteil an der weltweiten Anbaufläche von Sorghum angegeben, sowie der Flächenanteil am gesamten

Getreideanbau in dem jeweiligen Land. Im Vergleich hat Deutschland keinen signifikanten Anbau für Sorghum.

Tabelle 3: Anbaufläche Sorghum TOP10 Länder und jeweils Flächenanteile & Vergleich Getreide (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, gerundet, ha Angaben in Millionen)

Land	Menge (ha)	Flächenanteil Sorghum weltweit (%)	Flächenanteil im Land an Getreide, ges. (%)
India	5,8	14,4	5,9
Nigeria	5,8	14,3	29,5
Sudan	5,4	13,3	69,7
Niger	3,8	9,4	35,1
USA	2,0	5,0	3,8
Ethiopia	1,8	4,5	17,8
Burkina Faso	1,7	4,1	41,4
Mali	1,6	3,9	27,3
Mexico	1,4	3,5	14,5
Chad	1,1	2,8	34,9

Die in Tabelle 3 gezeigten Daten sind in der Abb. 4 grafisch dargestellt. Einmal die Länder mit den größten Flächenanteilen (Tab. 3) und die Länder mit den höchsten Erntemengen (Tab. 4). Weiterhin wurden die Länder gestreift eingefärbt, die nur in der Liste mit den höchsten Erntemengen genannt sind. Somit lässt sich ableiten, dass diese Länder (Argentinien, Brasilien und China) geringere Flächenanteile haben, allerdings mit einem höheren Technisierungsgrad oder auch besseren Anbaubedingungen einen höheren Hektarertrag erzielen. Die Länder Burkina Faso, Mali und der Tschad sind hingegen nur in der Liste der Länder mit den größten Flächenanteilen genannt und haben sicherlich einen entsprechend geringeren Technisierungsgrad. Weitere Gründe sind die ebenfalls stark differenten Produktionsstandards hinsichtlich des Einsatzes von Düngern und eventueller Bewässerung bzw. allgemeinen klimatischen Gegebenheiten zum Beispiel in den Gebieten Afrikas, in denen die Unterstützung von Produktionsmitteln geringer ausfällt als vergleichsweise in den USA (BEYER, 2003).



Abbildung 4: Hauptanbauländer Sorghum-Hirse (2017, flächenbezogen)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung [dunkle Einfärbung = größte Anbauflächen; helle Einfärbung = geringe Fläche aber hohe Erntemengen])

4.5 Erntedaten

Die Hirse kann mit der Technik analog zum Getreide gedroschen werden. Es gibt bereits Zwergformen oder kurze Sortenvarietäten der Hirse, die mit dem Mähdrescher geerntet werden können. Wichtig sind je nach Technisierungsgrad die maschinellen Einstellungen, dass möglichst wenig Bruch und damit einhergehende Verluste verhindert werden. Einstellungsrichtwerte können dabei die Rapsernte geben. Die Ernte kann sonst auch manuell bei Vollreife durchgeführt werden. Durch den verhältnismäßig hohen Fettgehalt in den Körnern (3,2% [SOUCI et al., 2000] bzw. 4% bis 6% [BEYER, 2003] je nach Sorte), müssen die beschädigten Körner frühzeitig ausgesiebt werden, damit es während der Lagerung zu keiner Kontamination des intakten Erntegutes kommt und die Körner nicht ranzig werden. Beim Drusch ist auch das Schlägeln wichtig, damit der grüne Anteil der Pflanzen möglichst nicht den Druschkorb und die darin befindlichen Körner befeuchten. Die Trocknung des Erntegutes sollte auf unter 14% Wassergehalt erfolgen. In Ländern mit entsprechend klimatischen Bedingungen, bei denen der Wassergehalt bei der Ernte bereits < 14% im Korn beträgt, kann auf die Trocknung verzichtet werden. Die Blätter und das Stroh dienen unter anderem als Viehfutter.

Die Hektarerträge werden im Anschluss auf die zehn größten Anbauländer hinsichtlich der Anbaufläche bezogen. Durch die Teilung des Sudans durch ein Referendum im Jahr 2011 werden erst Zahlen ab 2012 angegeben bzw. später weiterhin als gemeinsame Mengen dargestellt. Die Daten (Tab. 4, Abb. 5) geben die Erträge in t/ha von 2010 bis 2017 für Sorghum an. In Relation zu den in Tab. 4 dargestellten Erträgen, werden meist auf intensiv betreuten

Versuchsfeldern in Deutschland etwa 7 bis 9,5 Tonnen pro Hektar (t/ha) erzielt. Diese Erträge sind zurzeit durch die kleinparzelligen Versuche, die entsprechenden Böden, unterstützenden Produktionsmitteln wie Dünger, Verfügbarkeit von Wasser und dem hohen Technisierungsgrad in Deutschland zu realisieren. In anderen Staaten sind diese Erträge durch den großflächigen Anbau und den geringeren Produktionsstandards aktuell noch nicht zu erzielen.

Tabelle 4: Erträge Sorghum TOP10 Länder (2010 – 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung; Angaben in t/ha, gerundet; n.v. = nicht verfügbar)

Land	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
USA	4,5	3,4	3,1	3,7	4,2	4,8	4,9	4,5
Mexico	3,9	3,7	3,8	3,7	4,2	3,1	3,3	3,4
Ethiopia	2,0	2,1	2,1	2,3	2,4	2,6	2,5	2,6
Nigeria	1,4	1,2	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,2
Mali	1,0	0,7	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9
Chad	0,7	0,6	1,0	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Burkina Faso	1,0	0,9	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,8
India	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8
Sudan	n.v.	n.v.	0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	0,7
Niger	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5

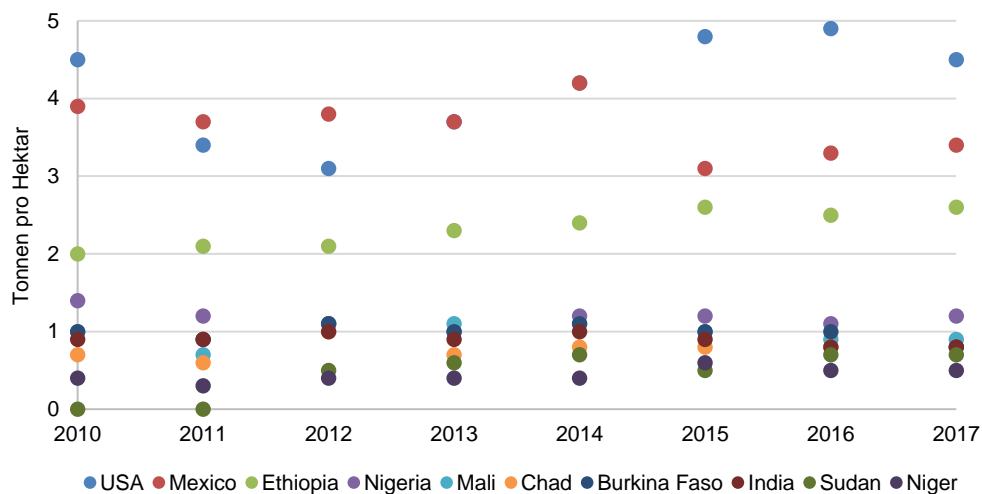


Abbildung 5: Erträge Sorghum TOP10 Länder (2010 - 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

4.6 Ernährungsphysiologische Betrachtung

In vielen Anbauregionen der Welt ist Hirse ein wichtiges Grundnahrungsmittel. Die Kultur bzw. das daraus resultierende Produkt hat aus ernährungsphysiologischer Sicht eine umfassende Qualität (Tab. 5). Auch der Punkt des glutenfreien Getreides verhilft der Hirse unter ernährungsphysiologischen Aspekten in Zeiten der *Zöliakie* (Glutenunverträglichkeit) in einzelnen Ländern zu wachsender Bedeutung. Dabei können seitens der Forschung und Pflanzenentwicklung z.B. mittels der CRISPR Technologie (ZAHEER/REUTER, 2017) zur Modifikation des Pflanzenmaterials oder auch durch züchterischen Fortschritts noch weitere Schritte unternommen werden. In Tabelle 5 sind die jeweiligen Hauptbestandteile bzw. Inhaltsstoffe in jeweils 100g essbaren Anteils nach SOUCI et al. (2000) als Mittelwert angegeben. Weiterhin ist auch die Nährstoffdichte des jeweiligen Inhaltsstoffes berechnet und bildet den Quotient aus der jeweiligen Menge des Inhaltsstoffes und dem Gesamtenergiegehalt (Megajoule [MJ]). Dies gibt den Energiebedarf respektive Leistungsumsatz an (1MJ = 239kcal). Für den Grundumsatz hat die WHO mit der FAO gemeinsam spezifische Formeln entwickelt (ELMADFA/LEITZMANN, 2015).

Mit der Formel der DGE wurde beispielhaft berechnet, dass 100g Sorghum-Hirse etwa 17% des täglichen Proteinbedarfes einer bestimmten Personengruppe (82kg, männlich, 25 bis 51 Jahre) decken.

Auf Grundlage der Formel nach der WHO/FAO kommt die Kalkulation zu dem Ergebnis, dass 100g Sorghum-Hirse etwa 19,5% des täglichen Proteinbedarfes dieser Personengruppe (82kg, männlich, 25 bis 51 Jahre) decken.

Tabelle 5: Inhaltsstoffe Sorghum

Quelle: SOUCI et al. (2000)

Mittelwert	Nährstoffdichte	Inhaltsstoff
69,7g	47,1g/MJ	Kohlenhydrate
11,4g	7,7g/MJ	Wasser
11,1g	7,5g/MJ	Protein (Stickstoff [N; 1,78g] x 6,25 lt. EG 276/40)
3,7g	2,5g/MJ	Ballaststoffe
3,2g	2,2g/MJ	Fett
1,75g	1,2g/MJ	Mineralstoffe
3,3mg	2,2mg/MJ	Nicotinamid (Nicotinsäure auch Vitamin B ₃)
0,34mg	0,23mg/MJ	Vitamin B ₁
0,15mg	0,10mg/MJ	Vitamin B ₂

Hinsichtlich der Inhaltsstoffe von Hirse ist im Allgemeinen noch zu beachten, dass die Keimlinge und Jungpflanzen in der Frischesubstanz Blausäure enthalten (v.a. Dhurrin), die metabolisiert toxisch wirken kann. Daher ist von einer Beweidung der Flächen dringend

abzuraten, da diese zum Tod der Tiere führen kann. Bei Abreife sind die cyanogenen Inhaltsstoffe hingegen meist abgebaut (PETERSEN, 2014). Wichtig ist dies ebenfalls bei der Nutzung der Ganzpflanze als Tierfutter zu beachten (BEYER, 2003).

Ein weiterer Aspekt für die Hirse ist die Vorbeugung der Vitaminunterversorgung bzw. Niacinavitaminose „Pellagra“. Das Nicotinamid (Amid der Nicotinsäure) wird im menschlichen Körper als Baustein der Coenzyme NAD⁺ (NADH) und NADP⁺ (NADPH) für den Zellstoffwechsel benötigt. Sorghum enthält mit 3,3mg etwa 220% des Nicotinamid-Gehaltes der im Mittelwert in Mais vorkommt (1,5mg). Weiterhin enthält Sorghum-Hirse nach Reis (5,2mg [unpoliert] bzw. 1,3mg [poliert]), Weizen (5,1mg) und Gerste (4,8mg) den vierthöchsten Gehalt an Nicotinamid aller Getreidearten (SOUCI et al., 2000) und ist in diesem Zusammenhang ernährungsphysiologisch wertgebend.

4.7 Wirtschaftliche Bedeutung

Wie zuvor bereits geschrieben, ist Sorghum eine der Weltwirtschaftspflanzen und stellt in vielen Ländern bereits oder auch wieder einen essentiellen Baustein als Grundnahrungsmittel dar. Angebaut werden auch weitere ertragsschwächere Hirsearten, wie die Millet-Arten (z.B. Rispenhirse) oder die Foniohirse (auch *Hungerreis* genannt), siehe Kapitel 4.2. Die Karyopsen können ähnlich dem Reis als Nahrungsmittel zubereitet und für die Herstellung von Brei, Grützen und Fladen verwendet werden. Weitere Verwendung findet *Sorghum bicolor* (L.) vor allem in Teilen Afrikas mittlerweile auch im Brauprozess. Als Zusatznutzen kann entsprechendes Bier für Menschen mit *Zöliakie* (Glutenunverträglichkeit) hergestellt werden. Im Zutatenverzeichnis von Müsli, Molkereiprodukten und in Geschmacksstoffen findet sich Hirse mittlerweile ebenfalls wieder. Die sogenannten Fasertypen dienen zur Herstellung von Besen, als Baumaterial, für Dächer, zur Herstellung von Papier und die Blätter als Tierfutter. Die Zuckertypen dienen zur Herstellung von Melasse, Grünfutter und zur Silage. In den Industrieländern wird dieser Typus auch zur Herstellung von Bioethanol und als Substrat für die Biogasanlagen genutzt. Die nachfolgende Grafik (Abb. 6) ist auf die Anbauflächen (ha) bezogen und zeigt die jeweiligen Werte der Jahre 2010, 2014 und 2017. Weltweit ist Weizen, bezogen auf die Fläche, die am meisten angebaute Kultur vor Mais. Der Maisanbau wurde in den letzten Jahren immer weiter forciert, dass u.a. auch auf die steigenden Temperaturen (C₄-Pflanze) zurückzuführen sein kann. Mais ist bezogen auf die Erntemengen führend, vor dem Weizen. Auch Reis (ungeschält), Gerste und Sorghum zählen zu den dominierenden Kulturen und sogenannten Weltwirtschaftspflanzen. Evident ist der hohe Anteil der beiden Hirsearten Sorghum und Millet zusammen, wobei Millet mit den kleineren Körnern leicht rückgängig ist und Sorghum mit den größeren Körnern entsprechend leicht zugenommen hat. Zusammen

nehmen die beiden Hirsearten mit ca. 71,8 Millionen ha Anbaufläche (2017) den vierten Platz vor der Gerste ein.

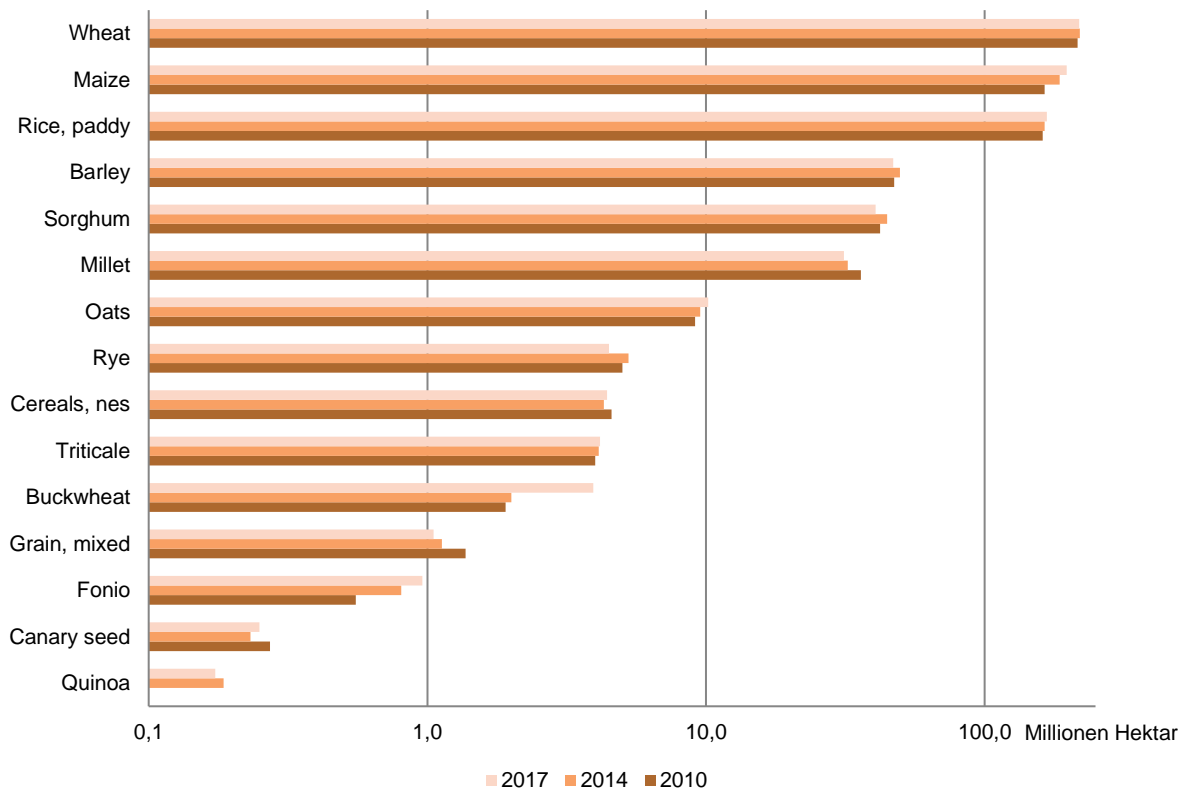


Abbildung 6: Globale Anbaufläche diverser Getreidearten (2010, 2014, 2017)
 Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen [ha])

In Abbildung 7 sind die Durchschnittswerte der Jahre 2010 bis 2017 mit den jeweiligen Flächenanteilen der Kulturen angegeben. Weizen hat mit knapp einem Drittel, gefolgt von Mais und Reis mit jeweils einem weiteren Viertel die größten Flächenanteile. Die Summe aller Hirsekulturen (Sorghum, Millet und Fonio) hat einen globalen Anteil von etwa 10,5% und liegt über dem der Gerste. Die Kulturen unter 0,5% der weltweiten Flächenanteile sind Quinoa (0,02%), Canary seed (0,03%), Fonio (0,1%), Grain, mixed (0,2%) und Buckwheat (0,4%).

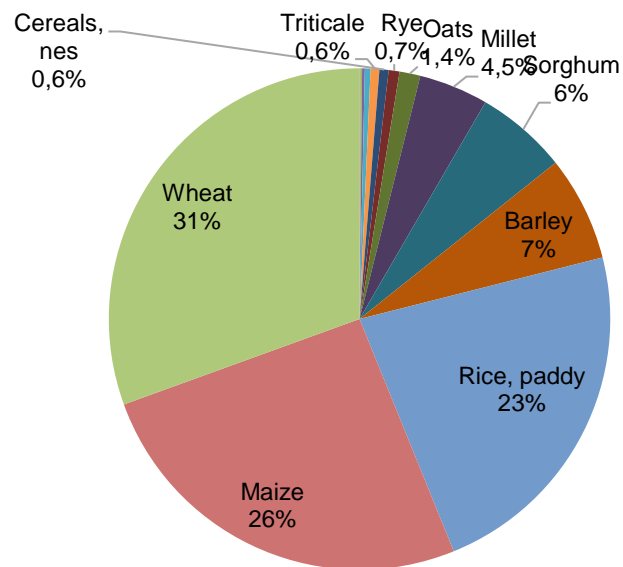


Abbildung 7: Globale Anbaufläche ausgewählter Getreidearten (Durchschnitt, 2010 - 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben gerundet; Cereals, nes = sonstiges Getreide)

Während Sorghum im globalen Vergleich auf dem fünften Platz steht, ist die Kultur auf dem afrikanischen Kontinent nach Mais die zweite (bis 2008/2009) bzw. aktuell die dritte Kultur (FAOstat, 2018) bezogen auf die Anbaufläche. Für die Übersichtlichkeit der Diagramme (Abb. 8 und 9) wurden die sechs quantitativ am meisten angebauten Getreidekulturen in der jeweiligen Abbildung dargestellt und die weiteren Kulturen aus der Abbildung entfernt, da Gesamterträge und Anbauflächen unter den dargestellten Daten liegen. Generell haben die Flächenerträge in den letzten zehn Jahren z.B. bei Mais zugenommen. Dies ist einerseits sicherlich auf den Züchtungsfortschritt bei dieser Kultur zurückzuführen, lässt aber auch auf das Entwicklungspotential bei den anderen Kulturen, wie z.B. Sorghum schließen, da die klimatischen Veränderungen den C₄-Pflanzen am ehesten entgegenkommen. Weiterhin ist auf dem afrikanischen Kontinent auch die Millet Hirse gegenüber der Gerste auf der Anbaufläche und bei den Erntemengen dominant. Im internationalen Vergleich bietet Afrika für sämtliche Hirsearten die besten und aussichtsreichen Anbaubedingungen.

Global ist Sorghum unter anderem für die Fütterung von Nutztieren relevant (BRINK/BELAY, 2006). In Afrika wird Sorghum allerdings vielmehr für die Selbstversorgung angebaut. In Südafrika und Ostafrika wird Sorghum mittlerweile auch zum Bierbrauen verwendet und hat sich mit ca. 150.000t pro Jahr zu einem weiteren Industriezweig entwickelt. In Südafrika wird Sorghum für die direkte Ernährung als Frühstückscerealie verwendet, diese hat ähnliche Qualitätskriterien wie Weizen oder Mais, ist aber bedeutend preiswerter. In den Regionen Westafrikas, speziell Burkina Faso, werden die rötlichen Blattscheiden bzw. Blättchen

getrocknet und als veredeltes Pulver zum Kochen auf den lokalen Märkten verkauft (BRINK/BELAY, 2006).

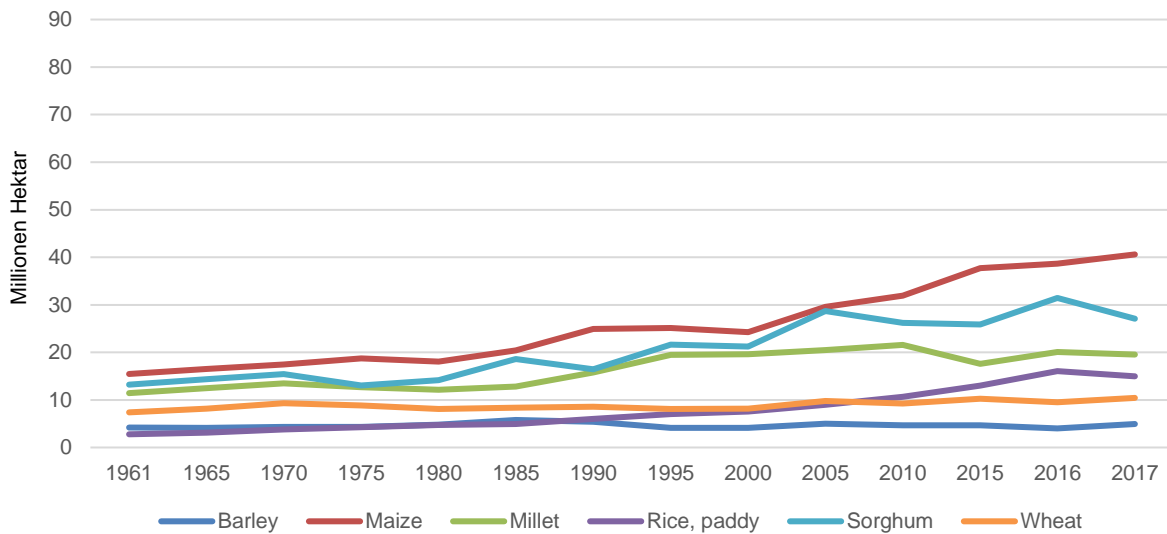


Abbildung 8: Getreideanbau Afrika (ha, 1961 - 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angabe in Millionen)

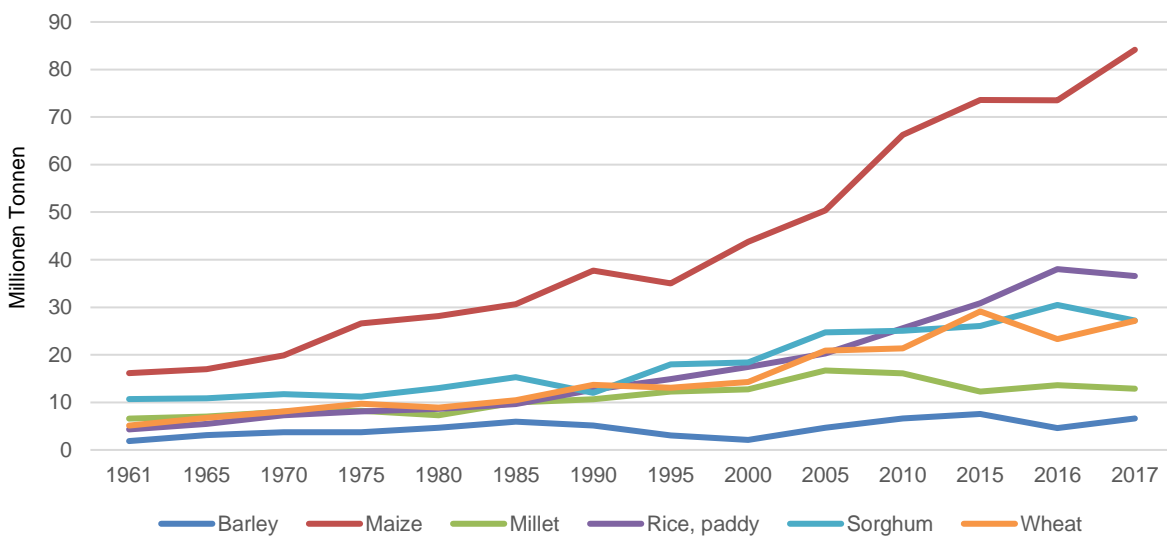


Abbildung 9: Getreideanbau Afrika (t, 1961 - 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angabe in Millionen)

Ein weiterer wirtschaftlicher Faktor ist die landesspezifische Preisentwicklung für die Sorghum-Hirse. Im folgenden Diagramm (Abb. 10) ist die Preisentwicklung als Index der Jahre 2004 bis 2016 für die flächenmäßig größten Länder (Tab. 3) angegeben. Der Zeitraum 2004 bis 2006 wurde von der FAO als Grundlage (=100) gesetzt und die preisliche Entwicklung der Landeswährung umgerechnet.

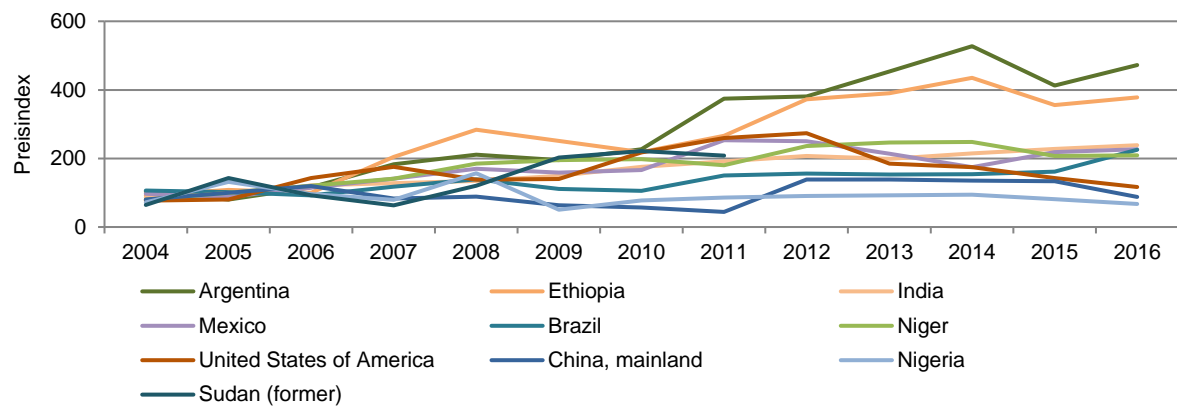


Abbildung 10: Preisindex Sorghum TOP10 Länder (2004 - 2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

Es ist zu erkennen, dass sich fast alle Preise in den größten zehn Anbauländern nach oben entwickelt haben und ein gewisser ökonomischer Zusammenhang der Nachfrage sicherlich abzuleiten ist. Dies spricht ebenfalls für die Intensivierung und Nachfrage der Sorghum-Hirse als alternative Getreidekultur.

5. Bevölkerungsentwicklung

5.1 Aktuell

Die Betrachtung des Bevölkerungszuwachses ist für alle globalen Faktoren und vor allem die weltweiten Ressourcen relevant. Das Zusammenspiel des Wachstums der Bevölkerung, einhergehend mit ökonomischen Marktgegebenheiten und den steigenden bzw. anspruchsvolleren Ernährungsgewohnheiten treibt die Verknappung der natürlichen Ressourcen immer stärker und schneller voran. Der Anstieg der Bevölkerungszahlen nimmt also einen essentiellen Einfluss, wann sich die sogenannte "Grenze des Wachstums" nähert. 1804 wurde auf der Erde erstmalig die Milliardengrenze überschritten, 123 Jahre später, also 1927, waren es bereits 2 Milliarden Menschen und nur 32 Jahre später, ab 1959, lebten bereits über 3 Milliarden Menschen auf der Erde (DSW, 2017). Wie bereits einleitend beschrieben wird im Jahr 2050 mit circa 10 Milliarden Menschen und 2100 mit etwa 11 Milliarden Menschen auf der Erde gerechnet. Dies ist ein weiterer Anstieg zum Jahr 2017 von 32,5% (2050) bzw. 45,7% (2100). Es kommt hinzu, dass auch die Mittelschichten immer weiter anwachsen und der Wohlstand und die damit verbundenen Ernährungsgewohnheiten respektive Änderungen der Ernährung sich weiter verschieben. Dazu zählen auch die wechselnden Ernährungsgewohnheiten und der steigende Konsum von Fleisch. Indessen wächst die untere Einkommensschicht in ihrer Anzahl und den Ansprüchen und Rechten der Grundsicherung. Zu diesen Zahlen und Ansätzen folgt in diesem Kapitel der aktuelle Status Quo, sowie die voraussichtlichen Entwicklungen lt. UN und World Bank. Im Jahr 2017 lebten auf der Erde ca. 7,5 Milliarden Menschen. Diese verteilten sich wie folgt auf die Kontinente (FAOstat, 2018):

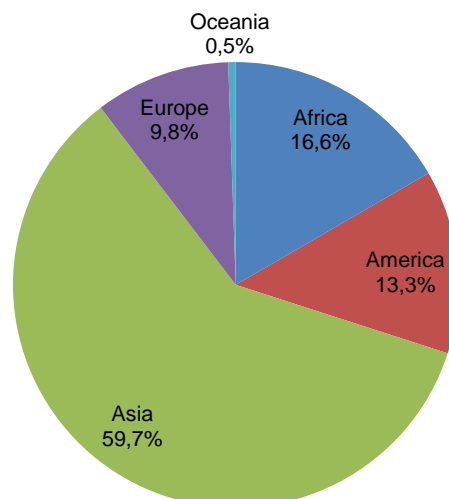


Abbildung 11: Anteil Bevölkerung pro Kontinent (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

Zu der aktuellen Grafik (Abb. 11) und Aufteilung soll noch der Bevölkerungsstand von 1950 gezeigt werden, um die Entwicklung der Einwohnerzahlen auf den Kontinenten ebenfalls nachvollziehen zu können. Die nachfolgende Tabelle 6 stellt den Anstieg bzw. die Veränderung der Einwohnerzahlen zwischen 1950 zu 2017 dar. Dabei ist zu sehen, dass Europa den geringsten Zuwachs in der Zeitspanne hatte. Die Kontinente Afrika und Asien haben hingegen den größten Zuwachs der Bevölkerung. Dies ist auch anhand der Geburtenrate (Abb. 15) im Weiteren nachvollziehbar. Global ist zu beachten, dass sich die weltweite Bevölkerung in den Jahren zwischen 1950 zu 2017 fast verdreifacht respektive um 298% zugenommen hat.

Tabelle 6: Anteil und Bevölkerungszahl pro Kontinent (Vergleich 1950 zu 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen, gerundet)

	1950	Anteil Bevölkerung (%)	2017	Anteil Bevölkerung (%)	Veränderung 1950 zu 2017 (%)
World	2.536		7.550		298
Asia	1.404	55,4	4.504	59,7	321
Africa	229	9,0	1.256	16,6	549
America	341	13,5	1.007	13,3	295
Europe	549	21,7	742	9,8	135
Oceania	13	0,5	41	0,5	322

Die bevölkerungsreichsten 30 Länder im Jahr 2017 finden sich in nachfolgender Tabelle 7, diese bildeten bereits 77,5% der globalen Bevölkerung ab. Aktuell sind 194 Staaten von der UN anerkannt. Weiterhin sind in der Tabelle noch die Kontinente eingefügt, zu denen die Länder gehören, um zu sehen wie sich diese verteilen, sowie der Anteil des jeweiligen Landes an der globalen Bevölkerung und der Bevölkerung des dazugehörigen Kontinentes.

Tabelle 7: Anteil und Bevölkerungszahl TOP30 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen, gerundet)

Land	Einwohner	Kontinent	Anteil Weltbevölkerung (%)	Anteil Kontinentalbevölkerung (%)
China, mainland	1.410	Asia	18,7	31,3
India	1.339	Asia	17,7	29,7
United States of America	324	America	4,3	32,2
Indonesia	264	Asia	3,5	5,9
Brazil	209	America	2,8	20,8
Pakistan	197	Asia	2,6	4,4
Nigeria	191	Africa	2,5	15,2
Bangladesh	165	Asia	2,2	3,7
Russian Federation	144	Asia	1,9	3,2
Mexico	129	America	1,7	12,8

Japan	127	Asia	1,7	2,8
Ethiopia	105	Africa	1,4	8,4
Philippines	105	Asia	1,4	2,3
Egypt	98	Africa	1,3	7,8
Viet Nam	96	Asia	1,3	2,1
Germany	82	Europe	1,1	11,1
Democratic Republic of the Congo	81	Africa	1,1	6,5
Iran (Islamic Republic of)	81	Asia	1,1	1,8
Turkey	81	Asia	1,1	1,8
Thailand	69	Asia	0,9	1,5
United Kingdom	66	Europe	0,9	8,9
France	65	Europe	0,9	8,8
Italy	59	Europe	0,8	8,0
United Republic of Tanzania	57	Africa	0,8	4,6
South Africa	57	Africa	0,8	4,5
Myanmar	53	Asia	0,7	1,2
Republic of Korea	51	Asia	0,7	1,1
Kenya	50	Africa	0,7	4,0
Colombia	49	America	0,7	4,9
Spain	46	Europe	0,6	6,3

5.2 Entwicklung / Prognose

Die Bevölkerung der Erde steigt weiter an. Nachfolgend sollen dazu entsprechende Grafiken der Vereinten Nationen (UN [*United Nations*]) folgen, die diese Anstiege und Zunahmen entsprechend belegen und regionsbezogen darstellen. Alle 10 Tage wächst die Bevölkerung in Afrika lt. UN um 1 Million Menschen. In Afrika wird bis 2050 die Bevölkerungszahl voraussichtlich auf zweieinhalb Milliarden Menschen ansteigen, in Asien werden dann voraussichtlich über fünf Milliarden Menschen leben.

Die Abbildung 12 zeigt die Bevölkerungsentwicklung pro Kontinent in Milliarden von 1950 bis 2100. Weiterhin sind die jährlichen Zuwachsraten in dem Diagramm auf der Sekundärachse abgebildet. Ab 2017 sind die Zahlen als mediane Prognose der UN kalkuliert. Dabei nehmen unter anderem die Geburtenraten und Altersentwicklung der Bevölkerung einen großen Einfluss. Diese Faktoren werden in den Abbildungen 15 und 16 betrachtet und prognostiziert.

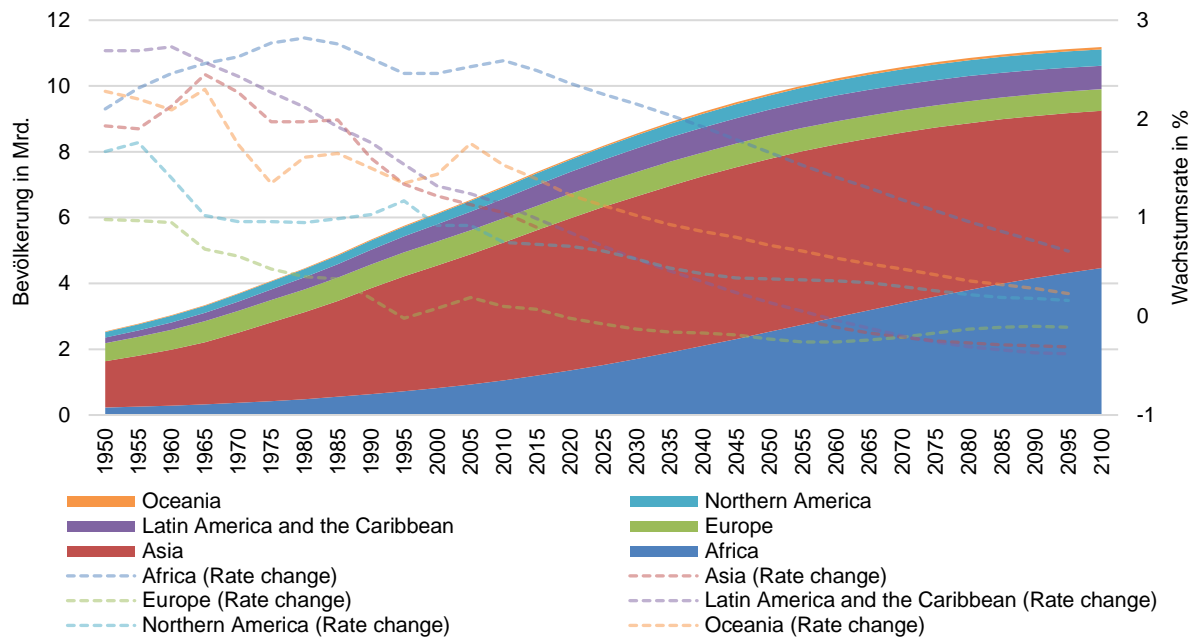


Abbildung 12: Bevölkerungsentwicklung nach Kontinenten (1950 - 2100)

Quelle: UN Data Query, 2018, Medianer Verlauf (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Milliarden [Primärachse])

In der zuvor gezeigten Grafik ist bereits ersichtlich, dass die Bevölkerungszahlen in Asien und Afrika am meisten ansteigen. Die jeweiligen Regionen in Asien (als kumulierte Fläche dargestellt) und Afrika (als kumulierte Säulen dargestellt) werden in Abbildung 13 weiter betrachtet. In Asien sind die Regionen im Osten und in Süd-Zentralasien die Regionen mit den größten Zuwächsen, unter anderem in China, Indien, Pakistan und Indonesien. In Afrika werden die Regionen in Westafrika und in Ostafrika die größten Zuwächse verzeichnen. Dies werden unter anderem die Länder Nigeria, Äthiopien und Tansania, sowie später auch Uganda und die Republik Kongo (Mittelafrika) sein.

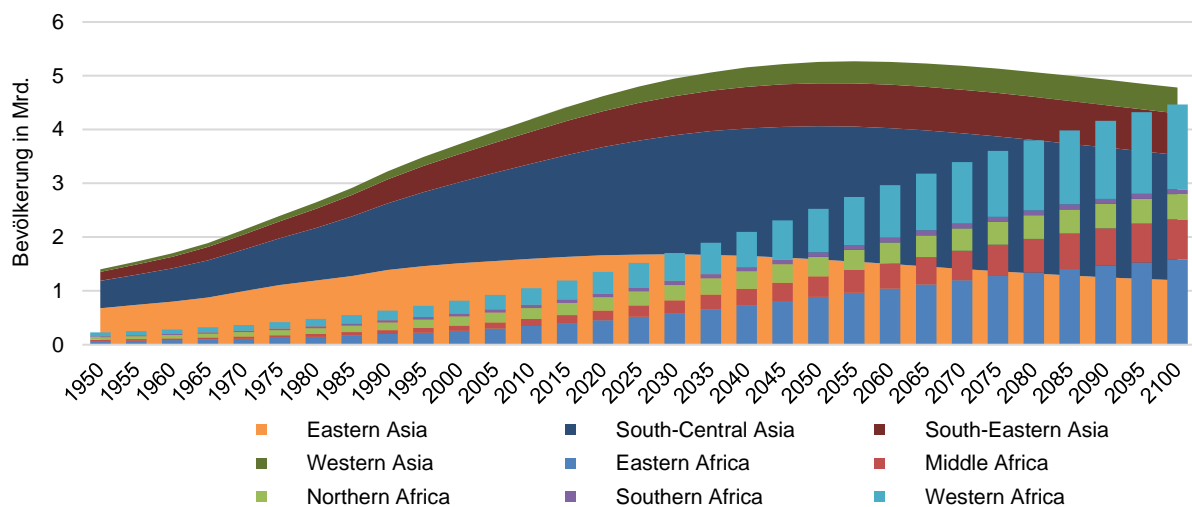


Abbildung 13: Bevölkerungsentwicklung Afrika & Asien (Regionen, 1950 - 2100)

Quelle: UN Data Query, 2018, Medianer Verlauf (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Milliarden)

In dieser Arbeit wurde die wachsende Mittelschicht bereits mit den steigenden Ansprüchen an abwechslungsreicher Nahrung und dem Fleischkonsum erwähnt. Weitere Faktoren, die dieser Gruppe zuzuordnen sind, ist die ansteigende Kaufkraft und die damit einhergehend größer werdenden wirtschaftlichen Möglichkeiten, sowie generelle ökonomische Relevanz dieser Gruppe. Aus der nachfolgenden Grafik (Abb. 14) ist der hohe globale Anteil dieser Gruppe ersichtlich. Weiterhin wird die Gruppe der Länder mit vergleichsweise geringen Einkommen ebenfalls eine wichtige Rolle spielen, vor allem hinsichtlich der Grundnahrungsmittel und der Grundsicherung. An dieser Stelle sei auch auf die SDG (*Sustainable Development Goals*) der UN hingewiesen. Diese 17 Ziele und Aktionspläne wurden in einer Sitzung der UN vom 25. bis 27. September 2015 im Hauptsitz in New York durch die Mitgliedsstaaten ratifiziert. Unter anderem werden dabei als Überpunkte *No Poverty* (Keine Armut), *Clean Water and Sanitation* (Sauberes Wasser und Hygiene), *Industry, Innovation and Infrastructure* (Industrie, Innovation und Infrastruktur), *Climate Action* (Klimaschutz) und *Life on Land* (Leben auf dem Land) genannt. Zum Vergleich nachfolgend die voraussichtliche prozentuale Zunahme der jeweiligen Ländergruppen von 2015 bis 2100 prognostiziert:

- Länder mit hohem Einkommen (*High-income countries*; > \$ 12.475):
+ 9,2% (2100: 11,5% der Weltbevölkerung = 1,29 Mrd. Menschen)
- Länder mit mittlerem Einkommen (*Middle-income countries*; \$ 1.026 bis \$ 12.475):
+ 32,7% (2100: 66,0% der Weltbevölkerung = 7,38 Mrd. Menschen)
- Länder mit geringem Einkommen (*Low-income countries*; < \$ 1.026):
+ 292,0% (2100: 22,5% der Weltbevölkerung = 2,52 Mrd. Menschen)

Die jeweiligen Ländergruppen hat die UN nach dem GNI (*Gross National Income* [Bruttonationaleinkommen]) per capita 2016, d.h. pro Kopf-Einkommen innerhalb eines Jahres, von der World Bank gruppiert (World Bank, 2016). Zum Vergleich lag das GNI in Deutschland 2017 bei \$43.490, die Schweiz lag mit \$80.560 an der Spitze. Weltweit lag das GNI 2017 bei \$10.371 im Durchschnitt, kein afrikanisches Land lag 2017 darüber (World Bank Data, 2018).

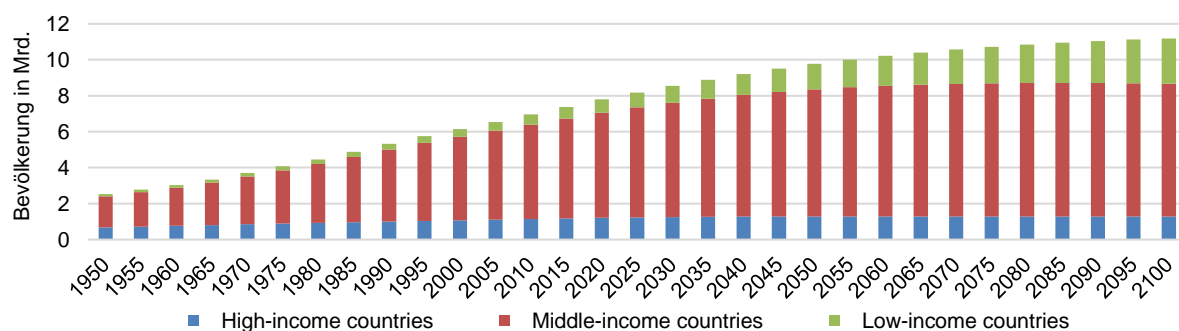


Abbildung 14: Bevölkerung mit geringem, mittlerem, hohem Einkommen (1950 - 2100)

Quelle: UN Data Query, 2018, Medianer Verlauf (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Milliarden)

Die Anzahl der Kinder pro Frau auf dem jeweiligen Kontinent wird in der Abbildung 15 dargestellt. Die Aufklärungsarbeit und der Umgang mit Verhütungsmitteln sind ein wesentlicher Faktor, um den Bevölkerungszuwachs zu steuern. Dieser Zugang zur Aufklärungsarbeit muss für Menschen vor allem in den Entwicklungsländern sichergestellt werden, um unter anderem ungewollte Schwangerschaften zu vermeiden. Aber auch der Anstieg der Lebenserwartung und der medizinische Fortschritt bei der Säuglingssterblichkeit spielen dabei eine wichtige Rolle. Auf dem asiatischen Kontinent hat die sogenannte Ein-Kind-Politik in China 1979 zu einer starken Abnahme der Geburtenziffer geführt. Diese Maßnahme wurde aufgrund des bereits starken Bevölkerungswachstums eingeführt, mittlerweile aber wieder etwas gelockert. Indessen sind auch religiöse Faktoren hinsichtlich der Anzahl der Kinder sicherlich relevant. In den 1950er Jahren haben sich die Anzahl der Kinder pro Kontinent noch stark unterschieden. Weltweit lag der Durchschnitt bei 5 Kindern, wobei die Länder auf den Kontinenten Asien, Lateinamerika und Afrika mit 6 bzw. 7 Kindern im Durchschnitt darüber lagen. Heute liegt die durchschnittliche Anzahl der Kinder statistisch bei 1,5 bis 2,5 Kindern pro Frau weltweit. Afrika liegt mit durchschnittlich 4,5 Kindern pro Frau weiterhin darüber.

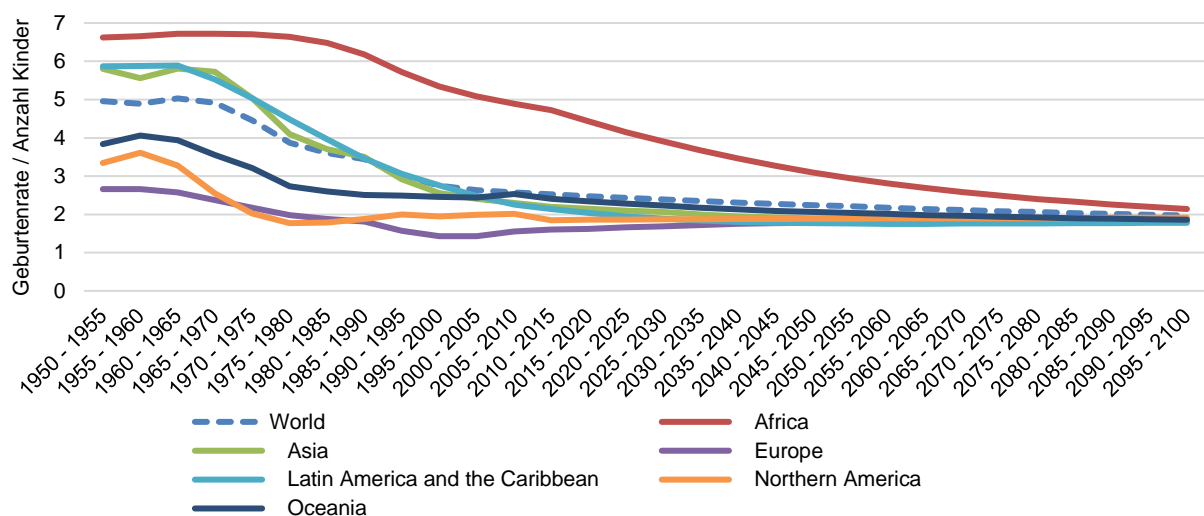


Abbildung 15: Geburtenrate / Anzahl Kinder nach Kontinenten (1950 - 2100)
 Quelle: UN Data Query, 2018, Medianer Verlauf (Ahrens, eigene Darstellung)

Analog der Reduzierung der globalen Geburtenkennzahlen muss auch der Altersdurchschnitt und der Zuwachs respektive die Verschiebung der Anteile betrachtet werden. In Abbildung 16 ist der steigende Anteil in Prozent der über 65-jährigen Menschen auf 100 Personen 20 bis 64-jähriger Menschen dargestellt. Diese Grafik stellt den gegensätzlichen Verlauf zur vorherigen Grafik dar. Beispielhaft können in den Abbildungen die Kennzahlen des afrikanischen Kontinentes gegenübergestellt werden. Wenn der Kontinent die höchste

Geburtenrate hat, muss der Kontinent demzufolge auch die geringste Alterungsquote haben, dies lässt sich entsprechend aus den Abbildungen 15 und 16 ablesen. Ähnliches zeigt sich auch bei den anderen Kontinenten bzw. im globalen Durchschnitt.

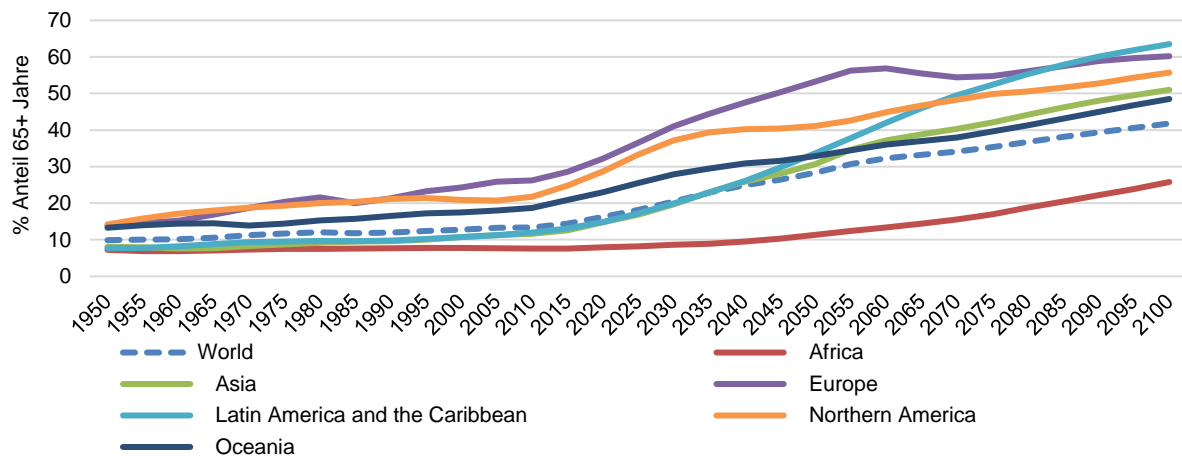


Abbildung 16: Anteil 65+ zu 20 bis 64-jährigen nach Kontinenten (1950 - 2100)

Quelle: UN Data Query, 2018, Medianer Verlauf (Ahrens, eigene Darstellung)

Nachfolgend eine Liste der Länder mit über 100 Millionen Einwohnern in den Jahren 2017, 2030, 2050 und 2100 (Abb. 17, Angaben in Mio.). Nach 2017 wird sich die Anzahl der Länder (13) mit der entsprechenden Einwohnerzahl bis 2100 voraussichtlich fast verdoppeln (24). Die bevölkerungsreichsten Länder sind über die Jahre China, Indien und die USA, später kommen noch Nigeria und die Republik Kongo hinzu. Das starke Wachstum vor allem in den afrikanischen Ländern erschließt sich bereits aus den zuvor angeführten Abbildungen und Diagrammen.

2017			2030			2050			2100		
Rank	Country	Population	Rank	Country	Population	Rank	Country	Population	Rank	Country	Population
1	China	1 410	1	India	1 513	1	India	1 659	1	India	1 517
2	India	1 398	2	China	1 441	2	China	1 384	2	China	1 621
3	United States of America	324	3	United States of America	355	3	Nigeria	411	3	Nigeria	794
4	Indonesia	254	4	Indonesia	296	4	United States of America	350	4	United States of America	447
5	Brazil	209	5	Nigeria	264	5	Indonesia	322	5	Democratic Republic of the Congo	378
6	Pakistan	197	6	Pakistan	244	6	Pakistan	307	6	Pakistan	352
7	Nigeria	191	7	Brazil	225	7	Brazil	233	7	Indonesia	308
8	Bangladesh	165	8	Bangladesh	186	8	Bangladesh	262	8	United Republic of Tanzania	304
9	Russian Federation	144	9	Mexico	148	9	Dem. Rep. of the Congo	197	9	Ethiopia	250
10	Mexico	129	10	Russian Federation	141	10	Ethiopia	191	10	Uganda	214
11	Japan	127	11	Ethiopia	140	11	Mexico	184	11	Egypt	198
12	Ethiopia	105	12	Philippines	125	12	Egypt	153	12	Niger	182
13	Philippines	105	13	Japan	122	13	Philippines	151	13	Brazil	180
			14	Democratic Republic of the Congo	120	14	United Republic of Tanzania	138	14	Bangladesh	174
			15	Egypt	120	15	Russian Federation	133	15	Philippines	173
			16	Viet Nam	106	16	Viet Nam	115	16	Angola	173
			17			17	Japan	108	17	Iraq	156
			18			18	Uganda	106	18	Mexico	151
						19			19	Kenya	142
						20			20	Sudan	139
						21			21	Mozambique	135
						22			22	Russian Federation	134
						23			23	Viet Nam	108
						24			24	Côte d'Ivoire	104

Abbildung 17: Länder > 100 Millionen Einwohner (2017, 2030, 2050, 2100)

Quelle: UN, 2018 (World Population 2017 – Wallchart)

6. Klimadaten

6.1 Auslöser und aktuelle Klimadaten

Das Klima ist in Verbindung mit Sauerstoff (O₂), Wasser (H₂O) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) seit jeher ein essentieller Faktor und grundlegender Taktgeber aller Organismen auf der Erde. Der Wechsel und die Veränderungen der klimatischen Bedingungen existieren, seitdem es die Erde gibt. Daher hatte jeder intensive Umschlag des Klimas immer auch großen Einfluss auf die Lebensbedingungen (BOND/GRASBY, 2017). Im Laufe der Millionen von Jahren wechselten sich wiederkehrend die sogenannten Eiszeiten und Heizeiten mit unterschiedlichen CO₂ Gehalten ab. Auf die CO₂ Werte soll später noch genauer eingegangen werden. Das größte Artensterben hat sich vor ca. 250 Millionen Jahren im Wechsel zwischen den Abschnitten Perm (P) und Trias (Tr) ereignet (Abb. 18), auch das Aussterben der Dinosaurier ist in der Abbildung kenntlich gemacht (vor ca. 75 Mio. Jahren, Kreide-Paläogen-Grenze) und soll als Orientierung gelten. Bei diesen Wechseln kann meist auch zeitlich analog ein hoher Anstieg der Durchschnittstemperatur abgelesen werden (Abb. 19), wenn diese beiden Abbildungen gegenübergestellt werden. Die jeweils relativen Maxima der Aussterberate gehen häufig mit einer starken Veränderung des Klimas einher. Bei diesen Abbildungen ist zu beachten, dass die Zeitschiene seit der Entstehung der Erde betrachtet wird. Dies soll ein einleitendes Grundverständnis bzw. einen ersten Überblick zu den Temperaturverläufen, CO₂ Werten und den daraus resultierenden Konsequenzen geben. Im weiteren Verlauf wird auf die gegenwärtigen und kürzeren Zeitachsen eingegangen, um die aktuellen Veränderungen detaillierter betrachten zu können.

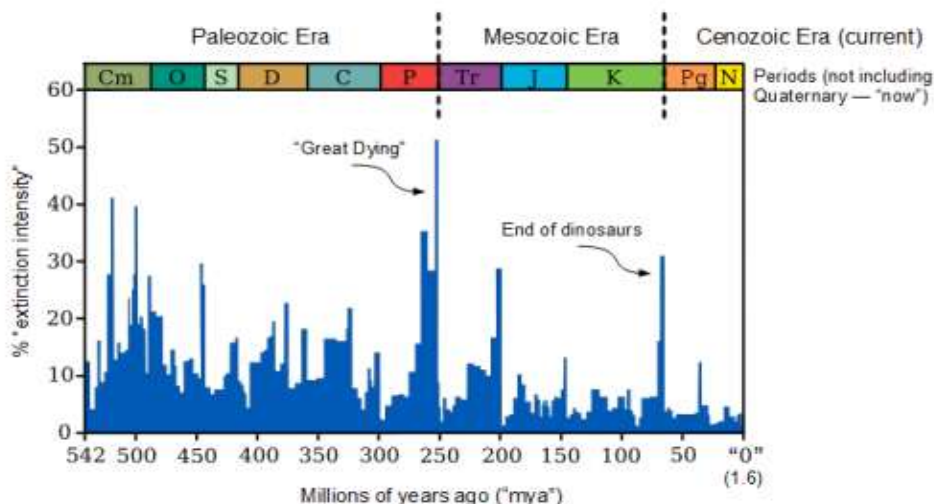


Abbildung 18: Aussterberate unterschiedlicher Arten in geologischen Zeiträumen

Quelle: AMERICABLOG, 2013

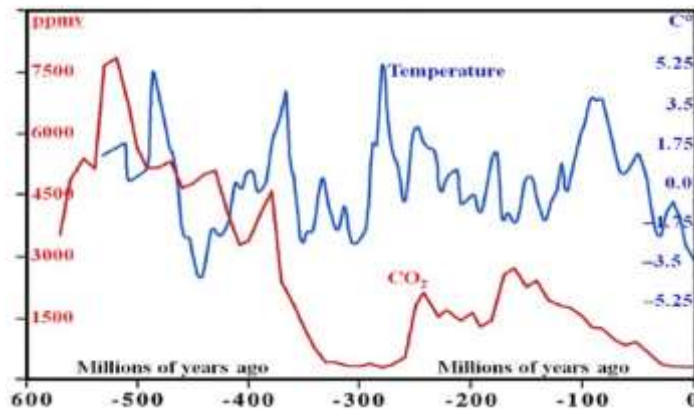


Abbildung 19: Übersicht Temperatur & CO₂ Konzentration in geologischen Zeiträumen

Quelle: ICECAP, 2009

Bei der UN-Klimakonferenz in Paris (2015; auch „COP21“ [*United Nations Framework Convention on Climate Change, 21st Conference of the Parties*]) haben sich die 194 Mitgliedsstaaten verpflichtet, die Erderwärmung bis 2100 auf maximal 2°C zu begrenzen. Weiter wurde noch vereinbart, dass politisch alles dafür getan werden müsse, die globale Erwärmung sogar bereits auf 1,5°C im Vergleich zum pre-industriellen Zeitraum (1850 bis 1900) einzuschränken (BMU, 2017).

In der nachfolgenden Abbildung 20 ist die aktuelle Situation der zuvor bereits angesprochenen Faktoren wie Temperatur, sowie CO₂ und weiterer Gase nachzuvollziehen. Es soll zunächst der sogenannte „Hockeyschläger“ von Dr. Thomas Mann als Temperaturverlauf mit dem starken Anstieg der Temperaturen seit der Industrialisierung (1850-1900) dargestellt werden. Mit dieser Grafik zeigt MANN (2012) ab der tatsächlichen Temperaturmessung vor etwa 100 Jahren die Veränderung der Temperatur in der Atmosphäre. Um diese Werte mit vorherigen Veränderungen gegenüberstellen zu können, wurde mit der Auswertung von weiteren Daten und Indikatoren in den 1990er Jahren begonnen. Dazu wurden Baumringe, Korallen, Eisbohrkerne und Ablagerungen ausgewertet, um einen Aufschluss darüber zu bekommen, wie sich das Klima in den vergangenen 1.000 Jahren verändert hat. Dabei ist zu erkennen, dass die Erwärmung während des späten Mittelalters (ca. 1450, auch als kleine Eiszeit bekannt) etwas abgefallen ist, bevor die Kurve ab dem 20. Jahrhundert einen starken Anstieg zeigt. Je nach Datengrundlage (Ozeane, Atmosphäre), Region (Nordamerika, Europa, Asien etc.) oder anderer Literatur bzw. Datenquellen verlaufen die historischen Daten leicht unterschiedlich. Alle Daten zeigen allerdings einen analogen Trend – den massiven Temperaturanstieg ab dem 20. Jahrhundert.

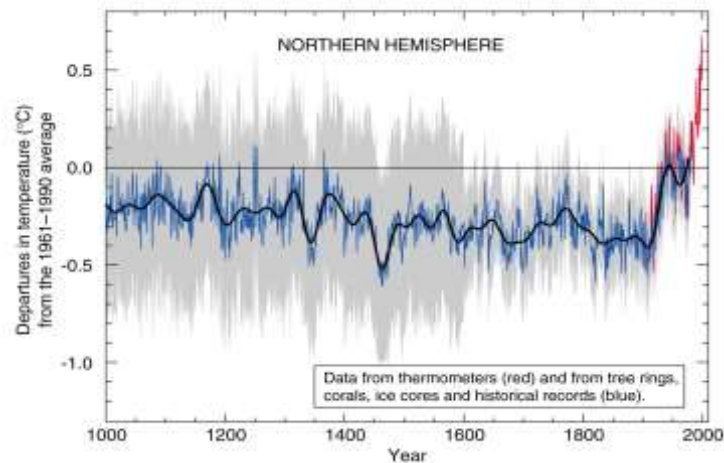


Abbildung 20: Temperaturdiagramm „Hockey-Stick“ (1000 – 1990)

Quelle: MANN, 2012 (Version 1999)

In der Abbildung 19 ist zu erkennen, dass es vor ca. 150 Millionen Jahren (Beginn Kreidezeit) wesentlich wärmer war als es heute ist. Zudem war auch der CO₂ Gehalt bedeutend höher. Dies lag einmal daran, dass es zu Beginn der Kreidezeit kein Eis auf der Erde gab und es ein „Ergebnis geologischer Vorgänge“ (MANN, 2012) war, die sich auf einer Zeitachse von 100 Millionen Jahren abspielten (Verschiebung der Erdplatten, Erdbahnparameter und -zyklen). Um jetzt wieder zu dem Auslöser und einzelner Parameter von heute zurück zu kommen, verlaufen die aktuellen Veränderungen der letzten 100 bis 150 Jahre im Vergleich also etwa eine Millionen mal schneller. Bei einer Gegenüberstellung der aktuellen globalen Erwärmung müssen zwei essentielle Ansätze differenziert werden (RAHMSTORF/NEU, 2004). Einmal die lokalen gegenüber den globalen Schwankungen, da die lokalen Schwankungen mittels Änderungen der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation normalerweise viel größer ausfallen (Umverteilung der Wärme). Sowie die jeweiligen Zeitskalen, die es jeweils zu betrachten gilt. Wie in dem aktuellen Absatz schon beschrieben, können die Schwankungen über Jahrmillionen erheblich größer sein und andere Ursachen haben (Drift der Kontinente oder Erdbahnzyklen), als die vergleichbaren kürzeren Zeiträume. Essentiell sind für die Ökosysteme und die Gesellschaft allerdings nicht nur die Differenzen der klimatischen Schwankungen, sondern vielmehr geht es auch um die hohe Geschwindigkeit, mit der sich das Temperaturverhältnis ändert. Die natürliche Akklimatisierung und Harmonisierung respektive die globale Evolution kann sich mit dieser Geschwindigkeit nicht anpassen. Höhere Lebewesen sind, im Gegensatz zu Mikroorganismen (adaptieren sich mittels schneller genetischer Evolution und schneller Zellteilung), auf ein konstantes Klima angewiesen, mit dessen Veränderung ebenfalls die Evolution schritthalten kann.

Aus der industriellen Revolution geht auch der erhöhte Energiebedarf hervor. Dabei werden fossile Brennstoffe wie Kohle, Erdöl oder auch Erdgas zur Energiegewinnung benötigt. Aber

auch die weiteren sogenannten Erden und Bodenschätze wie unter anderem Kobalt (Legierungen und Lithium-Cobaltoxid-Akkumulatoren), Lithium (Lithium-Ionen-Akkumulatoren) oder auch Silizium (Halbleiter für Computerchips und Sensoren) müssen aus dem Erdboden gefördert und gewonnen werden. Diese stehen vor allem aktuell stark in der Diskussion im Zusammenhang der forcierten Elektromobilität und den für die Förderung bzw. Abbau der Erden benötigten Wassermengen. Durch diese Mechanisierung und Gewinnung der beispielhaft angeführten Metalle entsteht das zuvor genannte Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2), jedoch auch Methan (CH_4) und Lachgas (Distickstoffmonoxid [N_2O]) sind ausschlaggebende Treibhausgase. Beim Methan sei vor allem auf die durch Erderwärmung abschmälzenden Gebiete respektive Permafrostböden der arktischen Tundra hingewiesen, die eine immer höhere Menge an CH_4 freisetzen. Diese und weitere Gase mit den jeweiligen Mengenanteilen sind in Abbildung 21 dargestellt. Gemäß UBA (Umweltbundesamt, 2017) ist CO_2 durch die hohe Konzentration in der Atmosphäre nach Wasserdampf das ausschlaggebendste Treibhausgas. Die weltweite Kumulation von CO_2 ist seit Anfang der Industrialisierung um 42% gestiegen (BMU, 2017). Im Abschnitt der Diskussion wird auch nochmal auf die Quellen und Mengen von Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) eingegangen, da lt. BMU (2017) Methan 25-mal und Lachgas 298-mal im Vergleich zu CO_2 zum Treibhauseffekt beitragen.

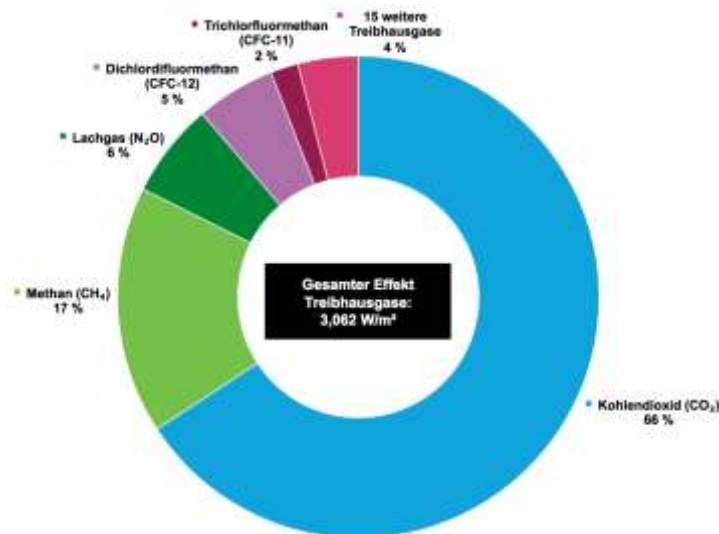


Abbildung 21: Anteil zum Treibhauseffekt der langlebigen Treibhausgase (2016)

Quelle: UBA, 2017

6.2 Entwicklung / Prognose

Im Dezember 2018 hat in Kattowitz (*Katowice*, Polen) die Klimakonferenz „COP24“ stattgefunden. Dabei wurden die in Paris (2015) geforderten Reduktionen weiter diskutiert und in Maßnahmen und Verträge gefasst. Aus diesen Maßnahmen soll sich nun eine geringere respektive verlangsamte Veränderung und Erwärmung des Klimas ergeben. Die in diesem Zusammenhang diskutierte Erwärmung auf 1,5°C bzw. 2°C zu reduzieren oder zu stoppen ist strittig. Selbst mit bei den Klimakonferenzen festgelegten Zielen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bleibt das Restrisiko, mittels unterschiedlicher Rückkopplungsprozesse doch in einen „*Hothouse Earth*“ Zustand (Abb. 22) zu fallen, weiter bestehen. Diese Prozesse werden auch als sogenannte „globale Kippunkte“ oder Grenzwerte (*threshold* [engl.]) beschrieben (STEFFEN, ROCKSTRÖM et al., 2018). Einige dieser Rückkopplungsprozesse oder Schwellenwerte können das Abtauen der zuvor genannten Permafrostböden sein (arktische Tundren, Freisetzung von Methan [CH₄]), der weitere Anstieg der CO₂ Konzentration oder auch der weitere Rückgang des Amazonas Regenwaldes oder des Borealen Nadelwaldes (auch Taiga, im Übergang zur Tundra, unter anderem im Alaska, Skandinavien, Sibirien bis Japan als Gürtel unterhalb der Tundra) als grüne Lungen der Erde. Dieser Zustand oder auch Heißzeit wäre auf lange Sicht durch einen Temperaturanstieg im Mittel von 4°C bis 5°C definiert. Aktuell liegt die globale Temperatur im Durchschnitt bereits um ca. 1°C über dem Niveau vor der Industrialisierung (Abb. 20) - und steigt approximativ um 0,017°C pro Jahr an (STEFFEN, ROCKSTRÖM et al., 2018).

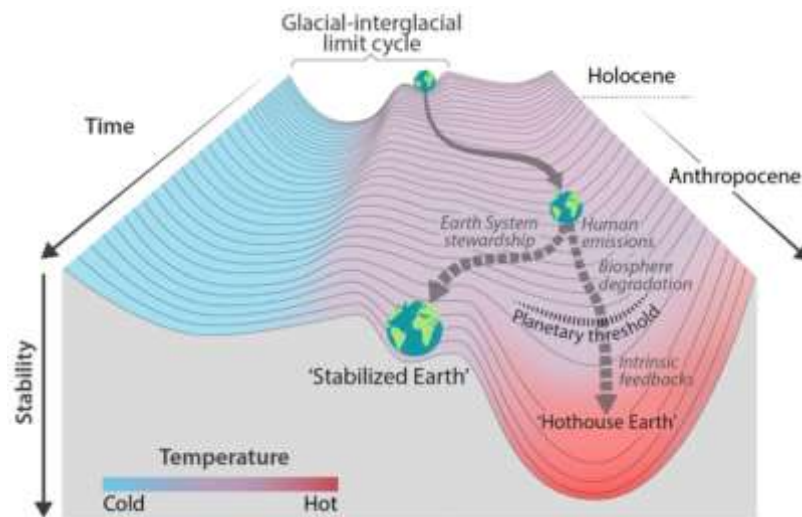


Abbildung 22: Entwicklung und Zustand „Hothouse Earth“

Quelle: STEFFEN, ROCKSTRÖM et al., 2018

Die Trockengebiete bilden den größten Anteil der weltweit ländlichen Ökosysteme (Abb. 23) und sind zugleich die fragilsten und sensitivsten Gebiete hinsichtlich des klimatischen Wandels

(FENG/FU, 2013). Die tropischen und subtropischen Trockengebiete inkl. trockene Mittelbreiten nehmen aktuell ca. 29% der globalen Landoberfläche ein (die Erdoberfläche teilt sich insgesamt auf ca. 29% Landfläche und ca. 71% Wasserfläche auf), Polare und Subpolare Zonen (inkl. Tundren, Eiswüsten und Gletscher) etwa 15% und die borealen Zonen ebenfalls circa 13%. Die tropischen und subtropischen Feuchtgebiete und Regenwälder verteilen sich auf 32% der Erdoberfläche. Die restliche Fläche (ca. 11%) verteilt sich auf normaltemperierte Wälder und Gebiete bzw. Mittelbreiten (SCHULZ, 2016).

Somit bilden die tropischen und subtropischen Trockengebiete auch den größten Hebel hinsichtlich der richtigen Wahl der Kulturpflanze für diese durch die Trockenperioden wachsenden Gebiete – z.B. die Sorghum-Hirse. Nach FENG/FU (2013) werden die gesamten Trockengebiete im 21. Jahrhundert um weitere 10% (5,8 Mio. km²) auf insgesamt ca. 39% (58 Mio. km²) der globalen Landfläche (149,4 Mio. km²) zunehmen. Weitere daraus folgende Kalkulationen und Einteilungen der jeweils ariden Gebiete finden sich in der Diskussion.

6.3 Auswirkung auf Wasserversorgung und Böden

Ein großes Problem sind die bereits bestehende Salinität oder auch die voranschreitende Versalzung der Böden und die fehlende Wasserversorgung bzw. der daraus resultierende Trockenstress für die Pflanzen. Die angeführten Faktoren führen zu erheblichen Ertragsdepressionen. Vor allem Trockenstress ist in den ariden und semiariden Gebieten der limitierende Faktor der Pflanzenproduktion (LASKOWSKA-KOSEGARTEN, 2001). In trockenen Klimabereichen geht fruchtbares Land durch fehlende Verfügbarkeit von Wasser oder auch falsche Bewässerung verloren. Das Grundwasser, das dann auf das Land gepumpt werden muss, löst die im Boden enthaltenen Salze, die wiederum mittels der Evaporation nach oben steigen. Das Oberflächenwasser muss dann über entsprechende Entwässerungssysteme abgeleitet werden, damit sich diese Salze nicht in den oberen Schichten vom Ackerland anreichern und den Boden versalzen. Ein weiterer Grund mit analogem Mechanismus, ist in den ariden Gebieten der Erde die Wasserverdunstung im Vergleich zur Versickerung des Wassers in den Böden mit hoher Pufferkapazität (Aufnahmefähigkeit des Bodens z.B. nach Niederschlägen oder Überschwemmungen), da die Auswaschung der Salze eben durch die eigentlich positive hohe Pufferkapazität nur in geringem Maße möglich ist (LASKOWSKA-KOSEGARTEN, 2001). Wenn die Verdunstung der Versickerung überwiegt, wird so ebenfalls mittels Evaporation das Wasser (Kapillarwasser) aus dem Boden nach oben bewegt. Bei den zuvor beschriebenen Fällen reichern sich die Salze, bei denen es sich meist um Natriumchlorid (Kochsalz) handelt, in den oberflächlichen Bodenschichten an (LÜTTGE et al., 2010). Laut BMEL (2015) haben solche eben nicht nachhaltigen Methoden dazu anteilig beigetragen, dass in den letzten 25 Jahren, in denen die

weltweite Bevölkerung noch um weitere ca. zwei Milliarden Menschen zugenommen hat, etwa 25% der globalen landwirtschaftlichen Fläche verloren gegangen ist. Es liegen zudem nur selten die jeweiligen Nährstoffe und Mineralien in ausgewogenen Form vor und die Zusammensetzung kann im Boden recht unterschiedlich und unausgewogen sein (KADEREIT et al., 2014). Wie bereits geschrieben hat NaCl^- den größten Anteil der Ionenspezies höherer Konzentration in den salinen Böden und werden dadurch beeinflusst, aber auch Ca^{2+} (Calcium), Mg^{2+} (Magnesium), K^+ (Kalium), SO_4^{2-} (Sulfat der Schwefelsäure), HCO_3^- (Hydrogencarbonat), CO_3^{2-} (Kohlenstofftrioxid), PO_4^{3-} (Phosphat der Orthophosphorsäure), $\text{B}(\text{OH})_4^-$ (Tetrahydroxyborat) und NO_3^- (Nitrat) zählen zu den löslichen Salzen (LASKOWSKA-KOSEGARTEN, 2001). Ein Boden ist als salin anzusehen, sobald mindestens 0,5% Salz darin enthalten ist. Die Sorghum-Hirse ist hinsichtlich der Salzgehalte im Boden eine eher sensible Pflanze und kommt bedeutend besser mit den ariden und semiariden Bedingungen zurecht, daher gilt sie auch als *Glykophyt* (siehe Kapitel 4.3). Die Toleranz gegenüber salinen Böden ist bei Sorghum höher ausgeprägt als bei Mais (BRINK/BELAY, 2006). Dies kann vor allem in Zukunft einen morphologischen Vorteil in der Grundlage der Pflanzenforschung und bereits zur Verfügung gestellten Genetik im Grundgerüst der Pflanze darstellen.

Als arides Klima (lat. *aridus* = trocken) wird das Gegenteil zum humiden, feuchten Klima beschrieben. In den ariden Zonen ist die potentielle Verdunstung höher als die Niederschlagsmenge. Aus diesem Grund sind die Böden im ariden Klima besonders anfällig für die Versalzung der Böden. Diese wurde bereits nach LÜTTGE et al. (2010) sogar für den Niedergang der Sumerer vor etwa 5.000 Jahren im Euphrat-Tigris-Land in Mesopotamien (einem heutigen Teil des Irak) als Grund angeführt. Auch für den Niedergang der Maya in Mittelamerika (Ende 9. Jahrhundert; HAUG et al., 2003) und der Tiwanaku in den Anden (auch Tiahuanaco, Ende 10. Jahrhundert; BINFORD et al., 1997) schien dies eine der gewichtigen Ursachen gewesen zu sein. Durch die generell anfälligen Bodenschichten in ariden Zonen und damit zusammenhängenden Bewässerungskulturen bzw. die daraus resultierende Salinität, haben bereits die Sumerer ihr Ackerland unfruchtbar gemacht. Auch heute bleiben selbst bei der Bewässerung mit Süßwasser immer Rückstände von Salzen zurück und reichern sich über die Zeit in den Bodenschichten an. Als sogenannte "Trockengrenze" oder klimatische Trockenheit wird nach dem DWD (Deutscher Wetterdienst) die Grenzzone zum humiden Bereich beschrieben, in dem die Differenz zwischen Niederschlag und Evapotranspiration positiv ist.

Die Trockenheit wird mittels eines Ariditätsindex (AI; Tab. 8, Abb. 23) definiert und dargestellt (MORTIMORE et al., 2009; FENG/FU, 2013). Dabei wird ein Quotient aus dem jährlichen Niederschlag (*annual precipitation* [P]) und der potentiellen jährlichen Evapotranspiration (Summe der Gesamtverdunstung aus natürlich bewachsenen Böden und Wasseroberflächen

[*annual potential evapotranspiration*, PET]) ermittelt (FENG/FU, 2013). Solche Messungen und Berechnungen werden mittels Sattelitentechnik und Sensoren (z.B. einem *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* [MODIS]) durchgeführt.

Tabelle 8: Ariditätsindex (AI)

Quelle: FENG/FU (2013)

Beschreibung	Ariditätsindex (AI)
Hyperarid	< 0,03
Arid	0,03 bis < 0,20
Semiarid	0,20 bis < 0,50
Trocken subhumid	0,50 bis < 0,65

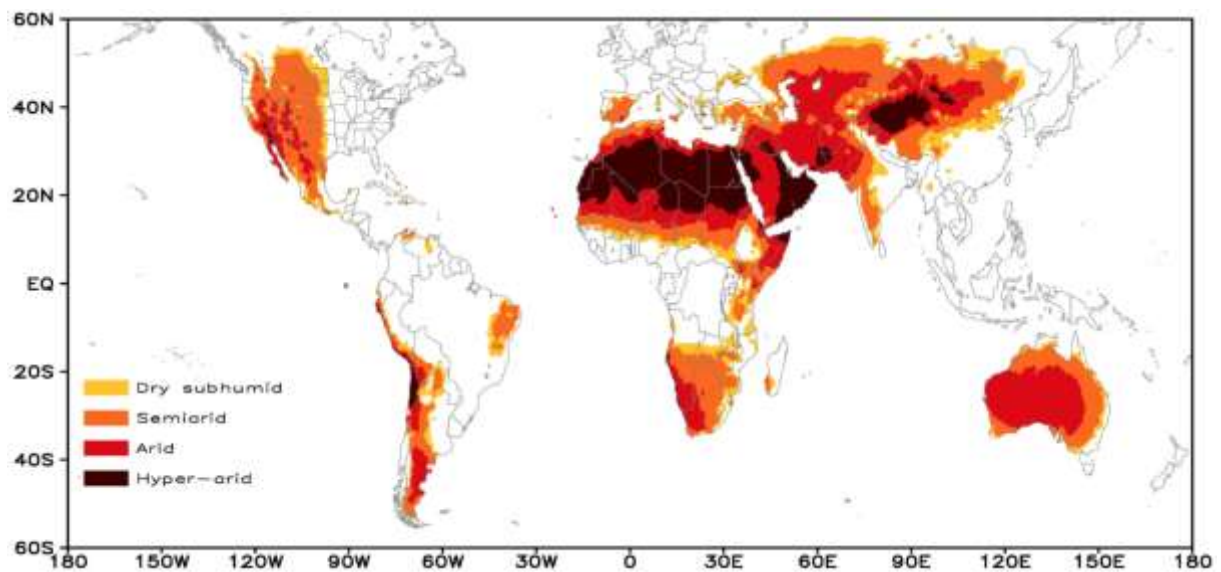


Abbildung 23: Globale Verteilung von Trockengebieten (Mittelwerte, 1961 – 1990)

Quelle: FENG/FU (2013)

Nach FENG/FU (2013) beträgt die globale Verteilung der Trockengebiete (Mittelwerte, 1961 – 1990) nach dem Ariditätsindex etwa 51 Millionen km² (34% der Landoberfläche). Dies stellt den Lebensraum für über 1/3 der Menschheit dar. Bis Ende des 21. Jahrhunderts wird erwartet, dass diese Fläche auf etwa 58 Millionen km² anwachsen wird. Dies wird dann knapp 39% der Landoberfläche betreffen.

Bewässerungssysteme haben weltweit zu einer enormen Weiterentwicklung der Produktivität von Agrarkulturen beigetragen. In Indien und China haben sich in den Jahren zwischen 1964 und 1997 zum Beispiel durch Investitionen in Bewässerung und umfassender Anpassung der Boden- und Wasserproduktivität die Produktionsmengen verdreifacht (FAO, 2011). In Tabelle 9 ist der jeweilige %-Anteil pro Kontinent / Region und Global an landwirtschaftlicher Fläche und Bewässerungskulturen angegeben. Es sind heute weltweit 17% aller kulturfähigen Flächen bewässert. Weiterhin sind 25% der landwirtschaftlich genutzten und geernteten

Flächen Bewässerungskulturen, dabei entfallen 62% der globalen Flächen auf den Getreideanbau. Innerhalb des Getreideanbaus sind 29% der Getreideflächen Bewässerungskulturen, diese erzeugen 42% der globalen Produktionsmenge von Getreide. Weltweit könnten durch den Einsatz von Bewässerung die landwirtschaftlichen Erträge um 45% gesteigert werden. Dies wäre im Vergleich zu den Daten der FAO (2011) in China und Indien also durchaus plausibel, da zwischen 1997 und 2006 weitere Entwicklungen hinsichtlich der Getreidesorten und Technisierung der Bewässerungssysteme vollzogen wurden. Wichtig ist zu bedenken, dass es sich in diesen Ländern und Regionen meist um den Reisanbau handelt.

Tabelle 9: Verteilung Bewässerungskulturen | Anteil Getreideanbau (Global, 2006)

Quelle: FAO, 2011 (Darstellung durch Ahrens modifiziert)

Continent Regions	All irrigated crops		Irrigated cereals		
	Actually irrigated land as % of cultivated land	Harvested irrigated land as % of total harvested land	Harvested irrigated cereal land as % of total harvested irrigated land	Harvested irrigated cereal land as % of total harvested cereal land	Harvested irrigated cereal production as % of total cereal production
Africa	5	7	48	7	24
Northern Africa	21	43	48	33	75
Sub-Saharan Africa	2	3	48	3	9
America	10	15	44	14	22
Northern America	11	20	43	15	22
Southern America	8	8	47	13	22
Asia	34	43	68	51	67
Europe	5	9	28	4	8
Oceania	7	12	14	2	7
World	17	25	62	29	42

Die zuvor bereits beschriebenen Probleme (erhöhte Temperaturen, fehlende Wasserversorgung, versalzene Böden) geben auch der Pflanzenzüchtung neue Richtungen auf. Es müssen geeignete Pflanzen gefunden und weiterentwickelt werden, die einen wirtschaftlicheren Ertrag bringen, um die Ernährung der global wachsenden Bevölkerung sicherzustellen. Nach JÄKEL (2013) befand sich der züchterische Stand von *Sorghum bicolor* auf dem vergleichbaren Stand bei Mais von vor 50 Jahren – es sind also noch deutliche Fortschritte mit einem enormen Potential zu erzielen. Durch den globalen Handel von Nutzpflanzen ist auch immer ein Export von Wasser eingebunden. Etwa 11% des global übermäßig für den Bewässerungsanbau genutzten Grundwassers fließen in die international gehandelten Nutzpflanzen respektive Lebensmittel (KASTNER, 2017).

7. Handelsströme

Nachdem zuvor auf die Bevölkerungsentwicklung und die Veränderung der klimatischen Bedingungen eingegangen wurde, soll nun eine aktuelle Übersicht der globalen Handelsströme auf dem Getreidemarkt folgen. Wie bereits einleitend erwähnt, dominieren zurzeit nachfolgende Länder den globalen Getreidemarkt hinsichtlich der Erntemengen (t) und Produktionsflächen (ha). In Tabelle 10 sind die Daten für die insgesamt größten zwanzig Getreideproduzenten weltweit aufgelistet. In der Tabelle ist die Kennzahl des Ertrags in t/ha dargestellt, um eine Ableitung aus der generellen Erntemenge des Getreides bzw. Ertrags von einem Hektar Agrarland herstellen zu können. Dies ist selbstverständlich auch von Faktoren, wie der individuellen Getreidekultur, der jeweiligen Ertragsmenge (t/ha), den klimatischen Bedingungen, Düngung und Bewässerung, sowie den technischen Möglichkeiten, unterschiedlich weit entwickelten und möglichen Produktionsstandards im Land abhängig. Dies soll allerdings eine erste Indikation der Effizienz des Produktionslandes geben und ist so entsprechend als Tabelle sortiert (globaler Durchschnitt 4,1 t/ha). Grafisch ist dies in Abbildung 24 auf der Sekundärachse in grün dargestellt (Erträge und Fläche [Primärachse] in Millionen angegeben). Weiter unten finden sich dann die jeweiligen Mengen der global bedeutendsten Getreidekulturen aufgeteilt nach Ländern (Tab. 11 bis 15). Zudem wird eine Übersicht des Im- und Exports der Kontinente allgemein dargestellt (Abbildung 25). Aus den Abbildungen und Tabellen können auch die vermeintlichen Handelsbeziehungen von den kontinentalen Mengen abgeleitet werden.

Tabelle 10: Globale Getreidemengen, Agrarflächen und Erträge pro ha (TOP20, 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen, gerundet)

Area	Value (t)	Anteil an Gesamtmenge (t, global, %)	Value (ha)	Anteil an Gesamtagrarfläche (ha, global, %)	Ertrag (t/ha)
United States of America	440	14,8	53	7,3	8,3
Germany	46	1,5	6	0,9	7,3
France	65	2,2	9	1,3	6,9
China, mainland	618	20,7	103	14,0	6,0
Viet Nam	48	1,6	9	1,2	5,4
Argentina	76	2,6	14	1,9	5,4
Brazil	118	4,0	23	3,1	5,2
Indonesia	109	3,7	21	2,9	5,2
Bangladesh	53	1,8	12	1,7	4,4
Ukraine	61	2,0	14	1,9	4,3
Poland	32	1,1	8	1,0	4,2
Canada	56	1,9	14	1,9	4,0

Mexico	37	1,3	10	1,4	3,8
Turkey	36	1,2	11	1,5	3,3
Thailand	39	1,3	12	1,6	3,2
Pakistan	44	1,5	14	1,9	3,2
India	314	10,5	99	13,6	3,2
Russian Federation	131	4,4	44	6,1	3,0
Australia	50	1,7	19	2,6	2,7
Nigeria	29	1,0	20	2,7	1,5

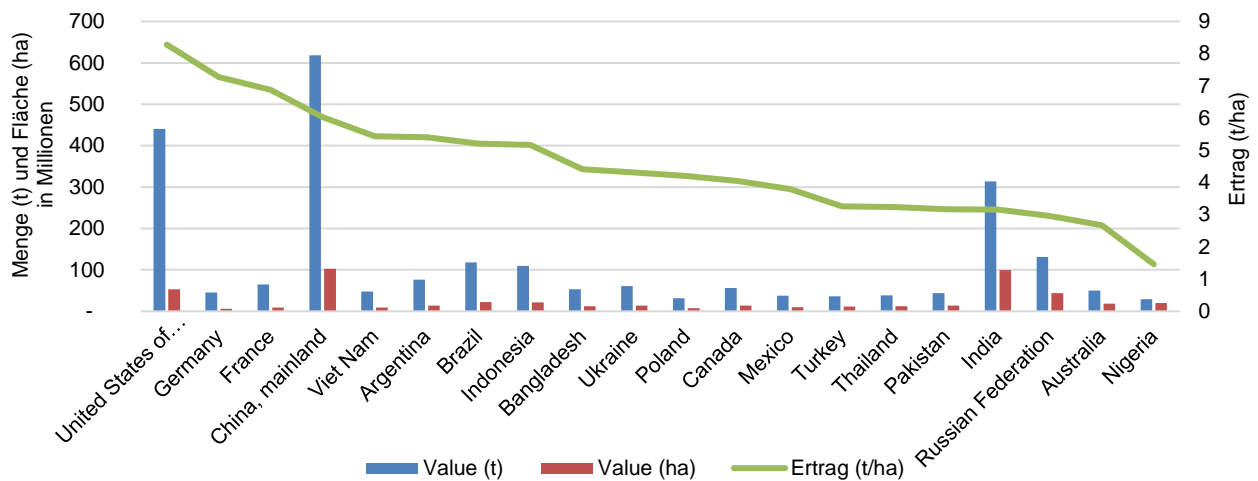


Abbildung 24: Globale Getreidemengen, Agrarflächen und Erträge pro ha (TOP20, 2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, t und ha Angaben in Millionen [Primärachse])

In Abbildung 25 sind die aktuellen Import- und Exportmengen der jeweiligen Getreidearten pro Kontinent angegeben. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass Afrika und Asien aktuell auf die Importe angewiesen sind. Auf den anderen Kontinenten (Amerika, Europa und Ozeanien) sind die Exportmengen für den globalen Handel quantitativ bestimmend.

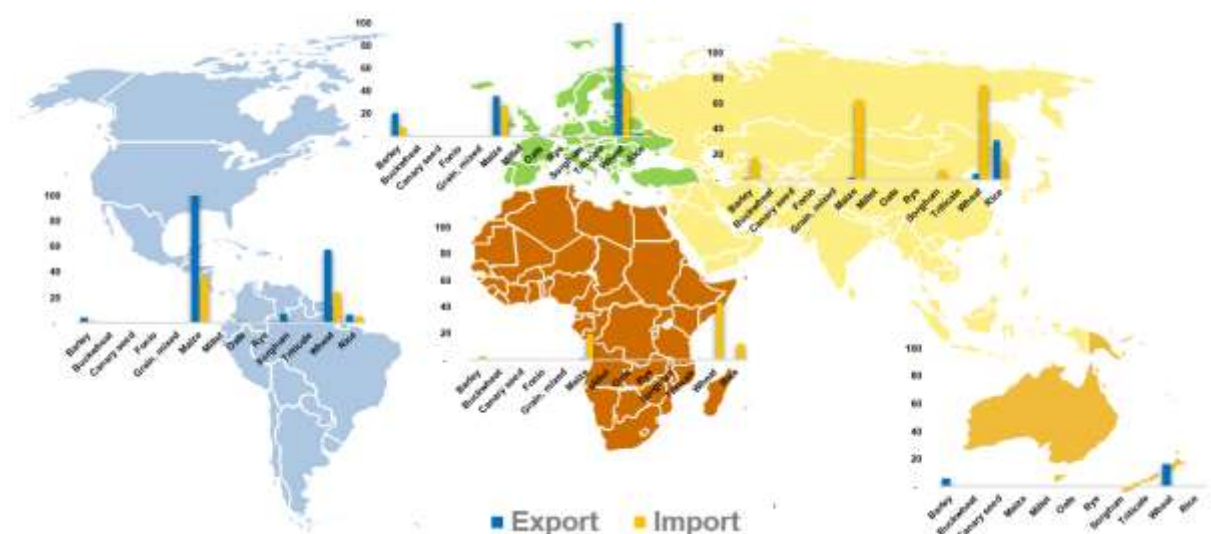


Abbildung 25: Import Export Getreidemengen pro Kontinent (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen [t])

7.1 Aktuell

Nachfolgend sollen zunächst die jeweiligen Anteile der Erntemengen 2017 für die fünf Weltwirtschaftspflanzen genannt werden (FAOstat, 2018).

- Weizen (*Wheat*)
- Mais (*Maize*)
- Reis (*Rice, paddy*)
- Gerste (*Barley*)
- Sorghum (*Sorghum*)

Angegeben ist der %-Anteil der TOP10 Länder an der globalen Gesamtproduktion. In diesem Zusammenhang wird auf die einzelnen Länder eingegangen und der Bezug auf den Mengenanteil der Kultur im jeweiligen Land in Prozent dargestellt.

- Weizen (*Wheat*) 70% der globalen Erntemengen in den TOP10 Länder

Tabelle 11: Weizen - Erntemengen TOP10 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Millionen, gerundet)

Land	Menge (t)	Mengenanteil Weizen weltweit (%)	Mengenanteil im Land an Getreide, ges. (%)
China, mainland	134	17,4	21,7
India	99	12,8	31,4
Russian Federation	86	11,1	65,5
United States of America	47	6,1	10,8
France	37	4,8	57,2
Australia	32	4,1	63,6
Canada	30	3,9	53,3
Pakistan	27	3,5	60,5
Ukraine	26	3,4	43,2
Germany	25	3,2	53,7

- Mais (*Maize*) 80% der globalen Erntemengen in den TOP10 Länder

Tabelle 12: Mais - Erntemengen TOP10 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Millionen, gerundet)

Land	Menge (t)	Mengenanteil Mais weltweit (%)	Mengenanteil im Land an Getreide, ges. (%)
United States of America	371	32,7	84,3
China, mainland	259	22,8	41,9
Brazil	98	8,6	83,0
Argentina	49	4,4	23,7
India	29	2,5	9,2
Mexico	28	2,5	74,1
Ukraine	25	2,2	40,7
South Africa	17	1,5	89,0
Romania	14	1,3	52,8
France	14	1,2	21,9

- Reis (*Rice, paddy*) 70% der globalen Erntemengen in den TOP10 Länder

Tabelle 13: Reis - Erntemengen TOP10 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Millionen, gerundet)

Land	Menge (t)	Mengenanteil Reis weltweit (%)	Mengenanteil im Land an Getreide, ges. (%)
China, mainland	213	27,6	34,4
India	169	21,9	53,7
Bangladesh	49	6,4	91,8
Thailand	33	4,4	86,2
Myanmar	26	3,3	91,1
Brazil	12	1,6	10,6
Pakistan	11	1,5	25,3
Nigeria	10	1,3	34,2
Japan	10	1,3	89,7
United States of America	8	1,1	1,8

- Gerste (*Barley*) 65% der globalen Erntemengen in den TOP10 Länder

Tabelle 14: Gerste - Erntemengen TOP10 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Millionen, gerundet)

Land	Menge (t)	Mengenanteil Gerste weltweit (%)	Mengenanteil im Land an Getreide, ges. (%)
Russian Federation	21	14,0	15,7
Australia	14	9,2	27,0
Germany	11	7,4	23,8
France	11	7,2	16,4
Ukraine	8	5,6	13,7
Canada	8	5,4	14,0
United Kingdom	7	4,9	31,2
Turkey	7	4,8	19,7
Spain	6	3,9	34,7
Denmark	4	2,7	39,8

- Sorghum (*Sorghum*) 76% der globalen Erntemengen in den TOP10 Länder

Tabelle 15: Sorghum - Erntemengen TOP10 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Millionen, gerundet)

Land	Menge (t)	Mengenanteil Sorghum weltweit (%)	Mengenanteil im Land an Getreide, ges. (%)
United States of America	9	16,0	2,1
Nigeria	7	12,1	24,0
Mexico	5	8,4	13,0
Ethiopia	5	8,4	18,3
India	5	7,9	1,5
Sudan	4	6,5	62,4
China, mainland	3	4,9	0,5
Argentina	3	4,4	1,2
Brazil	2	3,9	1,9
Niger	2	3,4	33,0

Die globalen Exportmengen der Weltgetreidepflanzen sind in den letzten Jahrzehnten stetig angestiegen (Abb. 26 und 27). Vor allem die Exportmenge bei Mais hat insgesamt leicht zugenommen, wobei die Mengen bei Weizen leicht abgenommen haben. Die Exportmengen von Sorghum sind auf gleichem Niveau. Sorghum unterliegt, wie alle Ernährungstrends, auch einer wechselnden Nachfrage (BEYER, 2003). Ein Grund können die leichter zuzubereitenden Getreidearten wie Reis und Weizen sein, da Sorghum im Vergleich zum Weizen beispielsweise schlechtere Backeigenschaften hat und die Tierernährungsindustrie ebenfalls Mais unter anderem wegen des höheren Carotinoidgehaltes bevorzugt.

Dennoch ist Mais in den letzten Jahren in den trockeneren Gebieten nur noch bedingt eine Alternative zu Sorghum gewesen. Durch die bereits beschriebene höhere Trockenresistenz bei Sorghum und den etwas verbesserten Umgang mit leicht salinen Böden kann diese Kultur auch noch an Standorten angebaut werden, die für Mais ungeeignet sind. Da Mais, wie auch Sorghum zu den C₄-Pflanzen gehört, kann dies bereits ein weiteres Indiz für den generell wechselnden Anbau hin zu C₄-Pflanzen sein. Zudem der Verbrauch innerhalb der Hauptanbauländer mittels der Zunahme der Bevölkerung ebenfalls gestiegen sein wird – besonders in den trockenen Gebieten in Afrika.

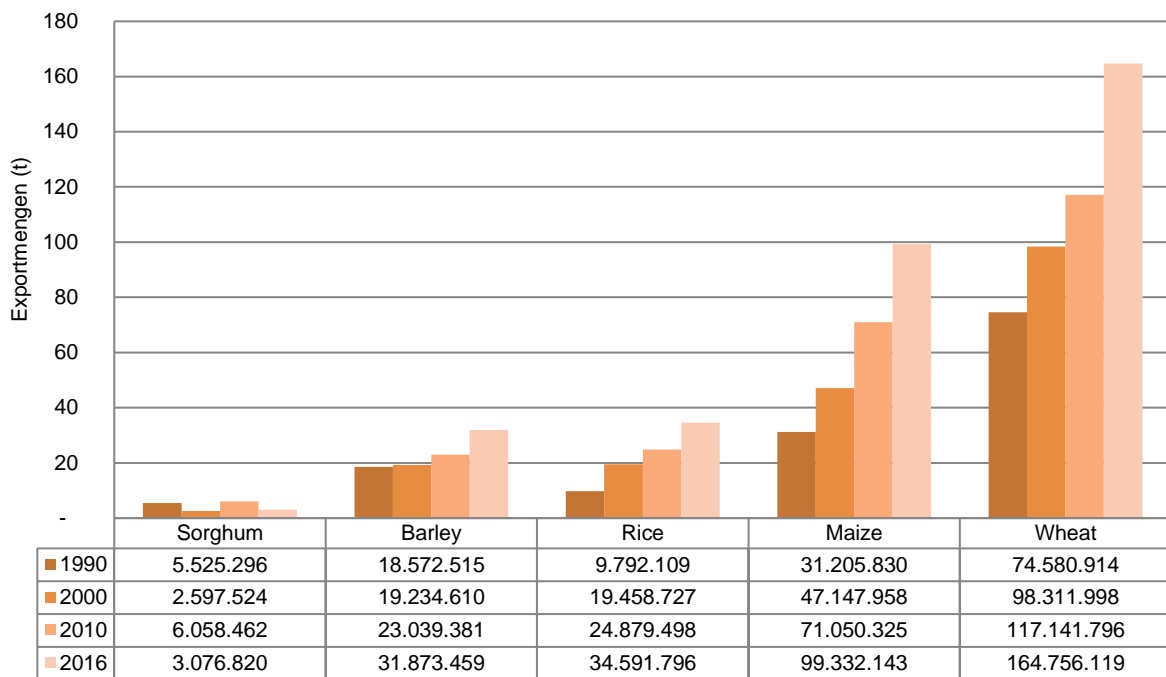


Abbildung 26: Exportmengen von Getreide - Global nach Kultur (1990 – 2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen)

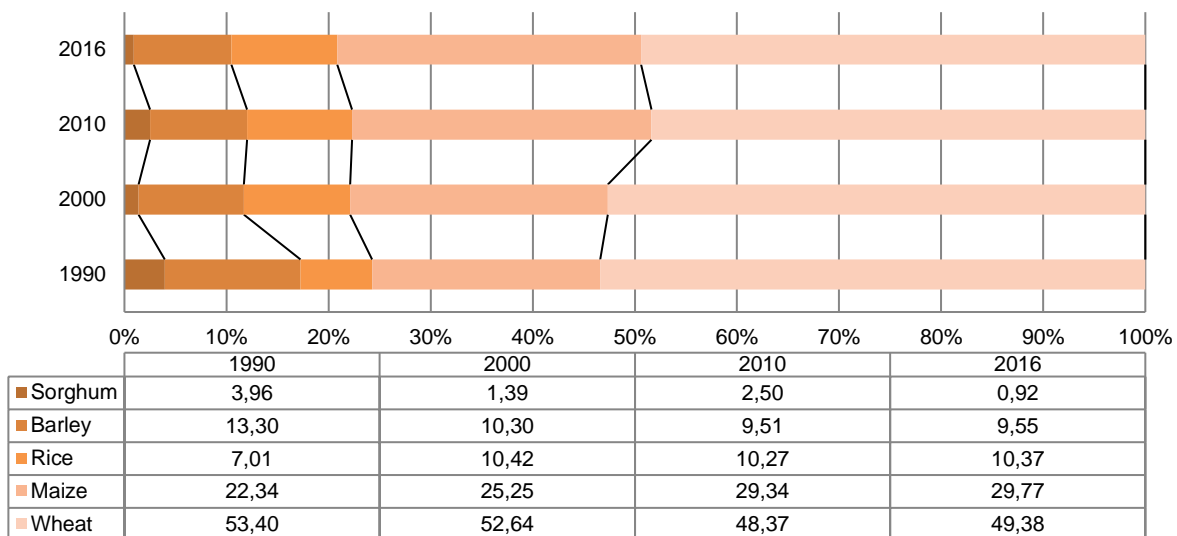


Abbildung 27: Exportmengen von Getreide - Global nach Gesamtanteil (1990 – 2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

7.2 Import- / Exportdaten Getreide (je Top 10 Länder)

In diesem Kapitel sind die Importdaten und Exportdaten des Getreides insgesamt dargestellt. Dies ist ein wichtiger Faktor, um später die Handelsmengen in Abhängigkeit von klimatisch wechselnden Bedingungen und Voraussetzungen ableiten zu können. Nach den Anbauflächen und der wachsenden Bevölkerung sind die Import- und Exportdaten des Getreides der dritte Baustein für die spätere Kalkulation der Verschiebung von Handelsströmen und Anbauregionen – respektive daraus resultierenden Mengen für die Ausfuhr und weitere Einfuhr der Getreidearten.

Der Importanteil der global gehandelten Getreidemenge ist in den größten Erzeugerländern eher unbedeutend. Daraus ist zurzeit noch ein hoher Selbstversorgungsanteil abzuleiten, d.h. dass aktuell noch alle Länder eine bedarfsdeckende Getreideanbauquote haben.

Tabelle 16: Import Getreide - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Millionen, gerundet)

Land	Menge (t)	Importanteil Getreide, gesamt, weltweit (%)
China, mainland	25	5,4
Japan	24	5,1
Mexico	21	4,5
Saudi Arabia	16	3,4
Republic of Korea	15	3,2
Spain	15	3,2
Egypt	15	3,1
Indonesia	15	3,1
Italy	14	2,8
Algeria	13	2,8

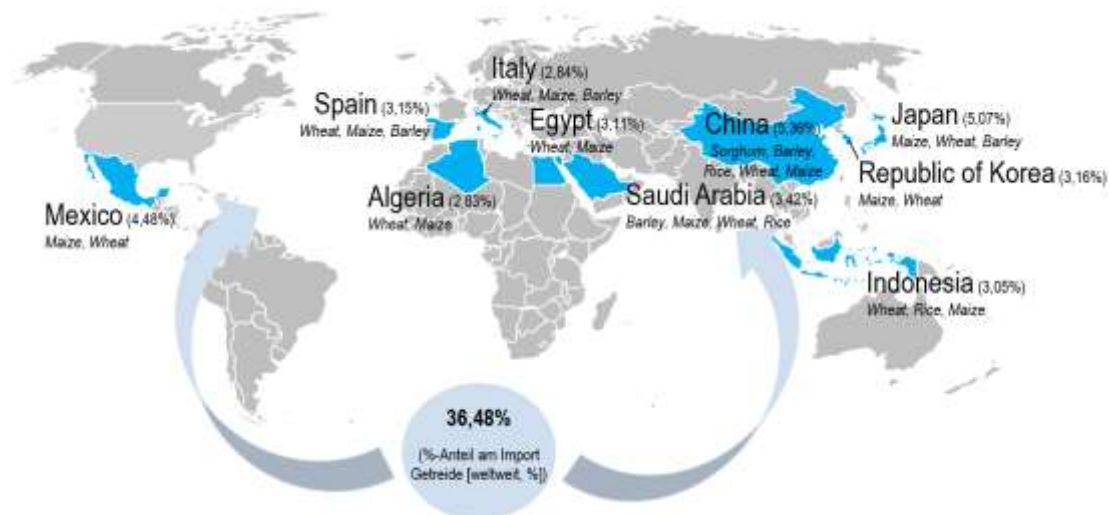


Abbildung 28: Import Getreide - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

Der Exportanteil fällt im Vergleich zu den Importdaten in den Ländern höher aus, wobei die USA einen hohen Anteil an der globalen Exportmenge haben. Die Exportländer sind häufig die größten Erzeugerländer (Tabelle 10). Aufgrund entsprechender Technisierung und Möglichkeiten hinsichtlich der Produktionsfaktoren können diese Länder damit den globalen Getreidemarkt bedienen.

Tabelle 17: Export Getreide - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Millionen, gerundet)

Land	Menge (t)	Exportanteil Getreide, gesamt, weltweit (%)
United States of America	94	19,7
Argentina	40	8,5
Russian Federation	34	7,2
France	31	6,4
Canada	25	5,2
Ukraine	25	5,2
Brazil	24	5,0
Australia	23	4,9
India	21	4,4
Thailand	20	4,3



Abbildung 29: Export Getreide - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

7.3 Import- / Exportdaten Sorghum (je Top 10 Länder)

Die zuvor betrachteten Import- und Exportmengen für Getreide sind nachfolgend auf die Kultur der Sorghum-Hirse isoliert, um später die Möglichkeit der Substitution der rückläufigen Getreidekulturen mittels Sorghum zu betrachten. Somit soll der vierte Baustein für die spätere Kalkulation der Verschiebung von Handelsströmen und Anbauregionen bzw. der Substitution dargestellt werden. Die Hälfte der heute relevanten Importländer ist auf dem afrikanischen, weitere drei Länder auf dem asiatischen Kontinent. Dadurch kann bereits ein Zusammenhang mit den zukünftig größten Ländern der Erde hergestellt werden (Abb. 17). Einen weiteren Einfluss werden später sicherlich die Anbaumöglichkeiten und klimatischen Voraussetzungen in Afrika und Teilen Asiens bilden.

Tabelle 18: Import Sorghum - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Tausend, gerundet)

Land	Menge (t)	Anteil am Import (Getreide, gesamt, im Land, %)	Anteil am Import (Sorghum, weltweit, %)
China, mainland	6.648	26,1	70,7
Mexico	646	3,0	6,9
Japan	632	2,6	6,7
Pakistan	138	45,8	1,5
Sudan	131	4,9	1,4
Ethiopia	100	5,2	1,1
Spain	95	0,6	1,0
Kenya	94	3,3	1,0
South Africa	89	1,3	1,0
China, Taiwan Province of	70	1,2	0,7

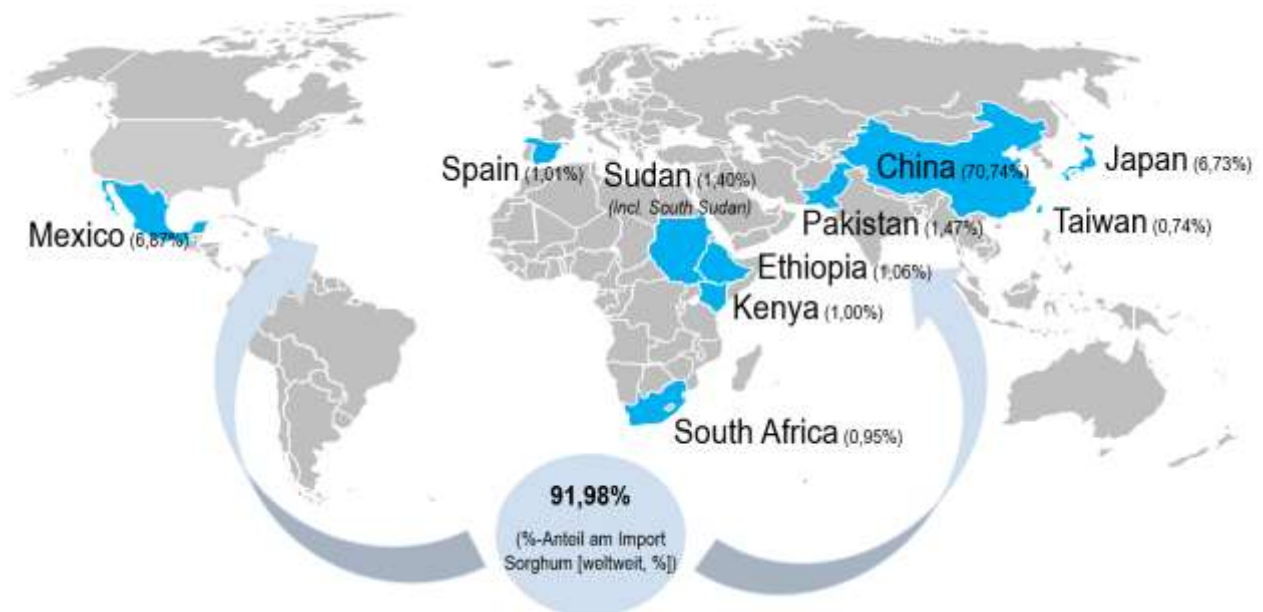


Abbildung 30: Import Sorghum - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

Sorghum wird primär aus den USA (79,2%) exportiert. Die Abbildung 31 zeigt, dass nur Uganda und Südafrika auf dem afrikanischen Kontinent Sorghum exportieren, wobei Südafrika von der Menge eher zu vernachlässigen ist und sich wahrscheinlich mittels saisonaler Verschiebungen die Mengenanteile zwischen Import- und Export in dem Land ausgleichen. Interessant ist eher der prozentuale Anteil des Exports aus Uganda. Daraus kann abgeleitet werden, dass Uganda die umliegenden Länder (s. Importmengen, Abb. 30) mit einem Anteil an Sorghum zurzeit versorgt. Gleiches gilt auch für den Export aus Indien nach Pakistan und China. Wichtig ist zu betrachten, dass die größten Erzeugerländer in Afrika bisher kein Sorghum exportieren (Vgl. Abbildung 4).

Tabelle 19: Export Sorghum - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben [t] in Tausend, gerundet)

Land	Menge (t)	Anteil am Export (Getreide, gesamt, im Land, %)	Anteil am Export (Sorghum, weltweit, %)
United States of America	6.871	7,3	79,2
Australia	801	3,5	9,2
Argentina	515	1,3	5,9
France	112	0,4	1,3
Ukraine	81	0,3	0,9
India	66	0,3	0,8
Uganda	65	18,4	0,8
Russian Federation	33	0,1	0,4
China, mainland	28	2,4	0,3
South Africa	16	1,1	0,2



Abbildung 31: Export Sorghum - TOP10 Länder (2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung)

7.4 Entwicklung / Prognose

Die Entwicklungen der durchschnittlichen Temperaturen, vor allem aber die Hitzewellen und damit einhergehenden Trockenperioden, werden unvermindert anhalten und zu signifikanten Mindererträgen führen (TIGCHELAAR et al., 2018). Nach TIGCHELAAR werden pro steigende Grad-Celsius im globalen Mittel die Erträge bei Mais um 7,4%, Weizen um 6% und bei Reis und Soja um 3% abnehmen. Daraus kann eine beträchtliche Destabilisierung der Märkte resultieren. Bei einem weiteren Anstieg der Temperaturen, können sich die Ertragsausfälle zudem potenzieren und länderübergreifend synchronisieren. Die Szenarien der jeweiligen Erwärmung und damit einhergehender Ertragsrückgänge ist aus der Grafik und Simulation von TIGCHELAAR et al. (2018) zu entnehmen (Abb. 32, Angaben in %). Dabei geht es primär um den Rückgang der Maisernten. Diese sind allerdings auch mit Weizen, Reis, Soja und weiteren Kulturen gekoppelt und daraus abzuleiten. Bezüglich der Maiskulturen wurde beispielsweise errechnet, dass bei einer Erwärmung um 2°C das Risiko des Ernteausfalls bei den vier größten Maisproduzenten auf 7% steigt, wird es um 4°C wärmer, könnte das Risiko der simultan schlechten Ernten sogar auf 87% steigen. Dies ist für den globalen Handel und die Versorgung mit grundlegenden Nahrungsmitteln eine aktuell stark negative Annahme mit weitreichenden Konsequenzen, wie beispielsweise starke Preissteigerungen, Restriktionen und Veränderung bzw. Reduzierung der globalen Nahrungsmittelversorgung. Die Produktionsländer werden den Export stark reduzieren, um den nationalen Bedarf - einhergehend mit wachsenden Bevölkerungszahlen - zunächst zu decken. Somit wird das globale Angebot reduziert und die bereits zuvor erwähnten Szenarien der Reduktion und Verschiebung können auftreten.

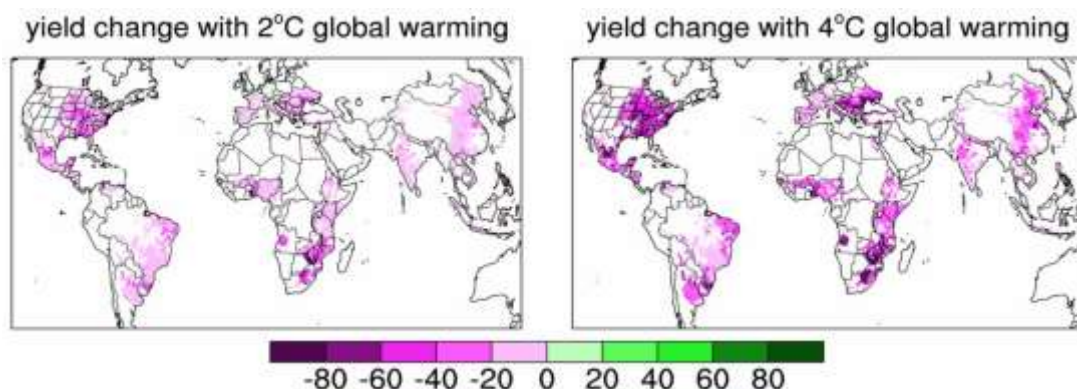


Abbildung 32: Yield change with 2°C | 4°C global warming

Quelle: TIGCHELAAR et al., 2018

Ein weiterer aus der klimatischen Erwärmung resultierender Faktor können die Erschließung komplett neuer Handelsrouten sein, um die Verschiebungen der Anbauregionen bzw. die

daraus resultierenden Import- und Exportmengen auf möglichst kürzesten und schnellsten Wegen zu transportieren. Eine Möglichkeit der alternativen Schiffsrouten wurde durch BIGALKE/GIESEN (2018) beschrieben. Diese bildet die sogenannte Nordost- oder Nordwestpassage durch den arktischen Ozean ab, da seit einigen Jahren bereits das polare Eis weiter schmilzt. Während der eisfreien Sommermonate wird aktuell getestet ob eine Fahrt durch den arktischen Ozean wirtschaftlich ist. Diese Route gilt als Alternative unter anderem zu den drei Nadelöhren des Weltwirtschaftshandels - der Panamakanal, der Suezkanal und die Straße von Malakka (Singapur). Zudem je nach Abgangs- oder Zielhafen die Routen um etwa 13.000km Seeweg und 13 Tagen Reisezeit verkürzt werden könnten. Als Beispiel wird eine Berechnung des *Northern Sea Route Transit Project* aus 2010 angeführt, in der aus dem Hafen Kirkenes in Norwegen gestartet wurde (Abb. 33; Tab. 20). Dieser Ansatz ist rein ökonomisch sicherlich zu betrachten, allerdings wird der steigende Verkehr ökologisch im fragilen System der Arktis und des Nordpols, sowie der Routenführung durch den russischen Wirtschaftsraum und den politischen Aspekten weiter zu hinterfragen sein.



Abbildung 33: Routendarstellung konventionell vs. Nordostpassage

Quelle: RAONLINE, 2010 (Northern Sea Route Transit Project)

Tabelle 20: Routenberechnung und Einsparung konventionell vs. Nordostpassage

Quelle: RAONLINE, 2010 (Northern Sea Route Transit Project; Tabelle durch Ahrens modifiziert)

Destination (ab Kirkenes)	Fahrt durch Suezkanal		Fahrt durch Nordostpassage		Verkürzung	
	Distanz (km)	Fahrzeit (Tage)	Distanz (km)	Fahrzeit (Tage)	Distanz (km)	(Tage)
China	22.317	34	12.353	26	9.964	8
Japan	23.576	36	10.797	23	12.779	13
Korea	22.965	35	11.519	24	11.445	11

8. Diskussion

Die Diskussion dieser Arbeit soll mit aktuellen Datenerhebungen und zwei Grafiken des *World Economic Forum* (WEF, 2019) eingeleitet werden. Der *Global Risk Report* des WEF wird jährlich von Experten und Entscheidungsträgern aus unterschiedlichen Fachbereichen, dem Versicherungswesen und internationalen Gutachtern erstellt, um die dringlichsten globalen Risiken zu identifizieren und zu analysieren, mit denen die Gesellschaft und sämtliche Systeme aktuell und in Zukunft konfrontiert werden. In dieser Umfrage und Auswertung respektive dem Bericht „*The Global Risks Report 2019 (14th Edition)*“ geht hervor, dass fünf der acht größten zukünftigen Risiken, gemessen an der möglichen Eintrittswahrscheinlichkeit (*Likelihood*) und der jeweiligen Tragweite (*Impact*), Umweltrisiken sind. Weitere zwei Risiken, die der Gruppe der Gesellschaft zugeordnet sind und ebenfalls zu den größten Risiken gehören, können auch der erweiterten Landwirtschaft bzw. dem Aspekt der Umwelt mit zugerechnet werden. Die Zuordnung in die entsprechenden Gruppen bzw. Schlüsselbereiche ist nachfolgend angeführt und mit den jeweiligen Farben in der Grafik (Abb. 34) kenntlich gemacht: Umwelt (grün), Technologie (lila), Gesellschaft (rot), Wirtschaft (blau) und Geopolitik (orange). Ein weiteres Risiko welches nicht in den Bereich der unmittelbaren Umwelt, Landwirtschaft oder Gesellschaft gezählt wird, sind Cyberattacken (Gruppe der Technologie). Dies kann mittels der Digitalisierung in der Landwirtschaft, durchaus auch diesen Sektor betreffen. Die beiden Skalen konnten in der Umfrage jeweils von 1 bis 5 bewertet werden. Bei der Eintrittswahrscheinlichkeit (*Likelihood*) konnte von sehr unwahrscheinlich (1) bis sehr wahrscheinlich (5) geantwortet werden. Bei der Tragweite (*Impact*) konnte zwischen minimal (1), geringfügig (2), moderat (3), schwer (4) bis katastrophal (5) gewählt werden. Die bedeutendsten Risiken aus dem aktuellen Report werden im Folgenden der Reihe nach genannt.

- 1) Extreme Wetterereignisse (Umwelt)
- 2) Versagen im Kampf gegen den Klimawandel (Umwelt)
- 3) Naturkatastrophen (Umwelt)
- 4) Cyberattacken (Technologie)
- 5) Wasserkrisen (Gesellschaft)
- 6) Biodiversitätsverlust und Zusammenbruch des Ökosystems (Umwelt)
- 7) Menschengemachte Umweltkatastrophen (Umwelt)
- 8) Große unfreiwillige Migration (Gesellschaft)

Die zuvor identifizierten Umwelt- und gesellschaftlichen Risiken sind lt. WEF in den letzten Jahren bedeutend gestiegen. Der Zusammenhang der einzelnen Risiken und vor allem weiterer Trends und Einflüsse sind in der Abb. 35 des WEF (2019) dargestellt. Im Folgenden sind die sieben größten der dreizehn Trends respektive Einflüsse auf die Risiken, sowie deren Entwicklung und Ausprägung genannt. Die vollständigen Zusammenhänge und Abhängigkeiten sind in der Abbildung 35 ersichtlich.

- 1) Klimaveränderung
- 2) Ansteigende Polarisierung der Gesellschaften
- 3) Steigende Cyber-Abhängigkeit
- 4) Stärker werdende Unterschiede zwischen Arm und Reich
- 5) Alternde Bevölkerung
- 6) Ansteigendes Nationalgefühl und politische Gruppierungen
- 7) Umweltverschmutzung

Die Dringlichkeit und die zunehmenden Anzeichen der Unsicherheit, Instabilität und Fragilität der Systeme sind in den Abbildungen ersichtlich. Vor allem das Tempo der Veränderungen, dass sicherlich auch auf die aktuell hinreichend wirtschaftlichen und finanziellen Ressourcen zurückzuführen ist, hat zugenommen. Zum einen die technologischen Fortschritte, ebenso die geopolitischen bzw. gesellschaftlichen Themen und klimatischen Veränderungen. Bei den Darstellungen müssen die Risiken allerdings weiterhin hinterfragt werden. Die Luft zum Atmen ist global gleich verteilt (von den Höhenlagen abgesehen) und immer als ausreichend vorhanden anzusehen. Über das Risiko der „Wasserkrisen“ lässt sich allerdings bedeutend differenzierter diskutieren. In der westlichen Welt kommt das Wasser in guter Qualität aus dem Wasserhahn – wann immer wir wollen. Dies ist global gesehen in vielen Regionen der Erde nicht immer und in dem Maße gegeben, eben im Vergleich zur Atemluft. Weiterhin muss bei diesem Ansatz zwischen Trinkwasser und dem Wasser für den Pflanzenbau unterschieden werden.

Damit ist bereits abzuleiten, welche Tragweite und Relevanz diese zuvor genannten Themen in ihrer Komplexität haben, die es anzugehen und im Weiteren in den Ansätzen zu diskutieren gilt. In dieser Diskussion soll konkret auf die Themen und Entwicklungen der Anbaubedingungen und aktuellen Ursprungsländer von Getreide im Allgemeinen und auf Sorghum im speziellen, sowie die globale Bevölkerungsentwicklung, die Klimaverschiebungen, sowie die daraus resultierenden zukünftigen Handelsströme bzw. relevanten Bestimmungsländer eingegangen werden, um daraus entsprechend weitere Strategien zu entwickeln.

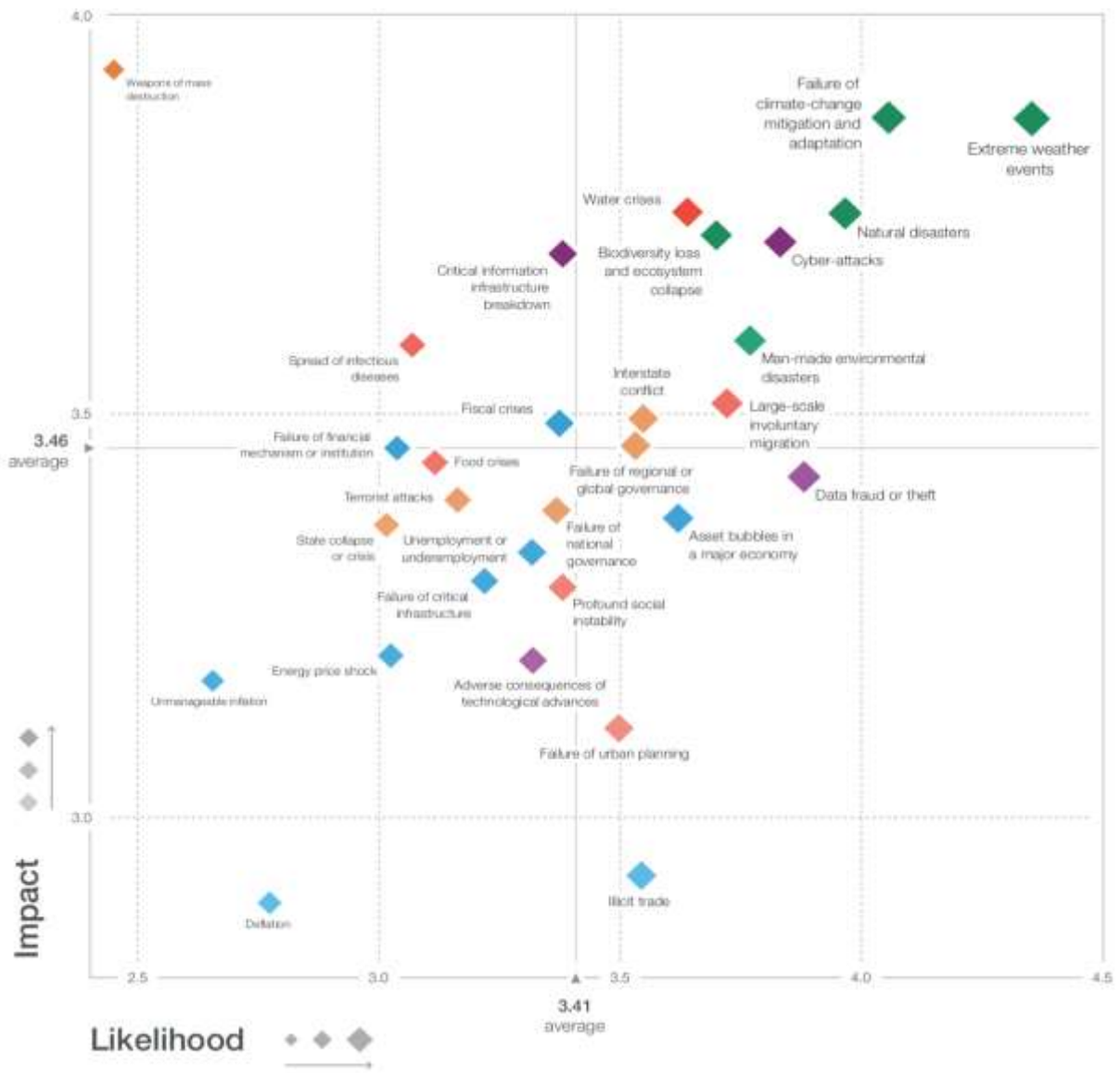


Abbildung 34: Wahrnehmung der globalen Risiken in der Bevölkerung
 Quelle: World Economic Forum (2019)

mit den aktuellen Forstflächen noch große Potentiale. Diese sind in Nordamerika, sowie in Skandinavien vorhanden, sollten aber differenziert in der möglichen Nutzung betrachtet werden. Asien hat den geringsten Anteil an Forstflächen (19%), allerdings bereits den größten Anteil an Agrarflächen (54%). Diese Werte müssen vor allem mit der Weite des Kontinentes in Relation betrachtet werden. Global sind die drei Flächenarten aktuell noch gleichmäßig verteilt, zurzeit mit einer leichten Tendenz zu einem höheren Anteil an Agrarflächen (37%). Dieses Verhältnis wird sich durch die aktuell absehbaren klimatischen Veränderungen in der Zukunft voraussichtlich verschieben und betreffend der Agrarflächen abnehmen. Bezogen auf Europa und Amerika ist der geringe Anteil an Agrarland weiterhin auf die zum Teil dichte Besiedelung in den Ländern und Regionen zurückzuführen. Der höchste Anteil anderer Flächen, den Afrika (41%), gefolgt von Ozeanien (34%) hat, ist auf die hyperariden, also eher trockenen Flächen wie zum Beispiel Wüsten und Steppen, zurückzuführen.

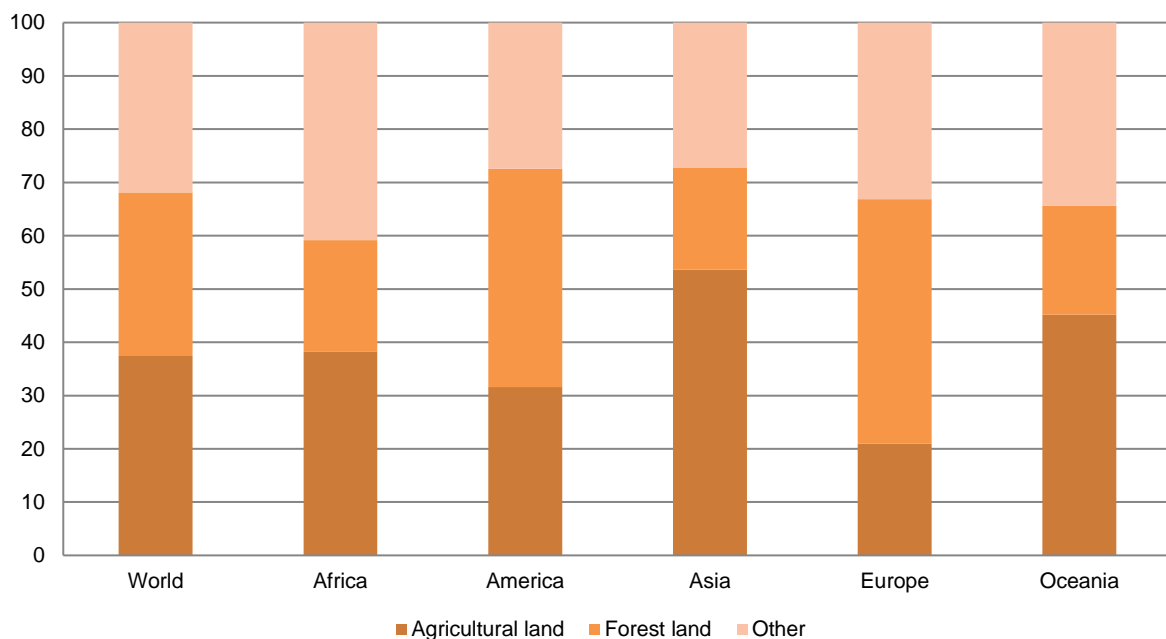


Abbildung 36: Einteilung Agrarland und Forstflächen (Kontinente, 2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in %)

Die Abbildung 37 zeigt die kontinentale Aufteilung der globalen Flächen (2016) in mehrjährige Kulturen (*permanent crops*), Weideland (*permanent meadows and pastures*) und kulturfähiges Land (*arable land*). Dabei ist bereits zusehen, dass die Dauerkulturen global nur einen geringen Anteil einnehmen (3%). Der Flächenanteil an Weideland ist auf dem afrikanischen Kontinent am höchsten (76%) und bietet damit Anbaumöglichkeiten für Gräser ähnliche Pflanzen – wie beispielsweise sämtliche Hirsearten. Bereits kulturfähiges Land hat in Europa den größten Anteil (59%), dies hängt einerseits sicherlich mit dem hohen Technisierungsgrad,

aber auch der Dichte der Betriebe und Bevölkerung zusammen. Weiterhin haben die hervorragenden Schwarzerdeböden in Mittel- und Osteuropa einen hohen Anteil an den kulturfähigen Flächen in Europa.

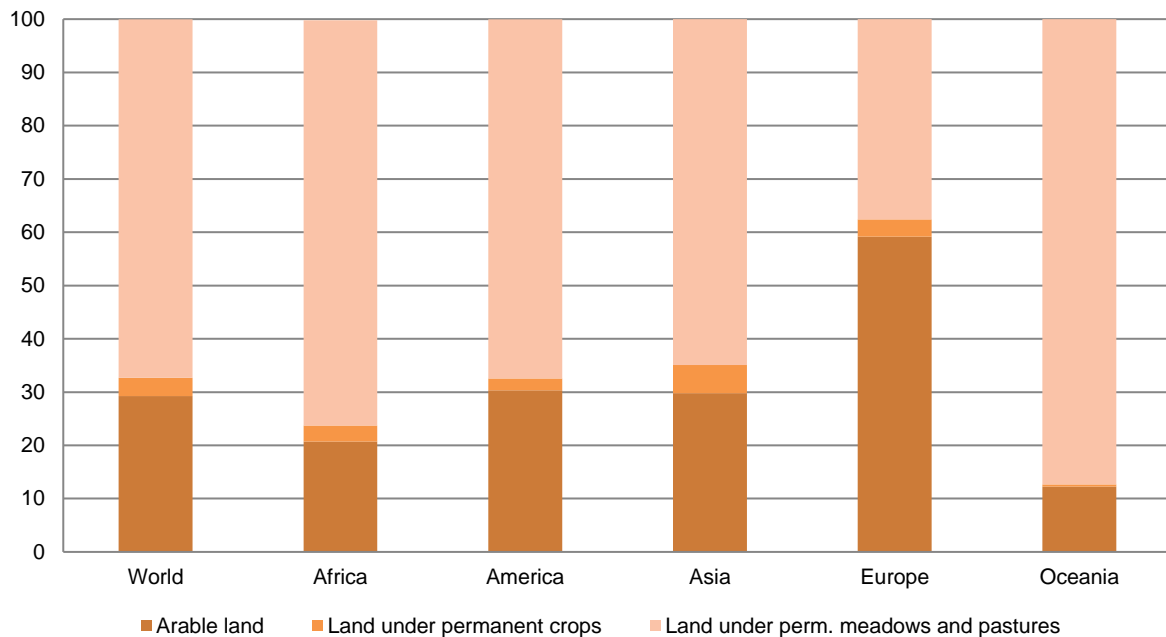


Abbildung 37: Einteilung mehrjährige Kulturen, Weideland, kulturfähiges Land (Kontinente, 2016)

Quelle: FAOstat, 2018 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in %)

Werden die beiden Abbildungen 36 und 37 nun zusammenhängend betrachtet, kann abgeleitet werden, dass das Drittel der globalen Agrarflächen sich zu 67% auf Weideland verteilt, wobei Ozeanien und Afrika den größten Anteil haben. Ein Drittel der globalen Agrarflächen ist zu 29% kulturfähiges Land, wobei Europa den mit Abstand größten Anteil besitzt. Mehrjährige Kulturen oder Dauerkulturen komplettieren die Fläche mit 3% vornehmlich in Asien.

8.1 Anbaubedingungen und Ursprungsländer

In den letzten Jahrzehnten konnten die globalen Erträge von Getreide nach Angaben der FAO um durchschnittlich etwa 5% p.a. gesteigert werden (Abb. 38).

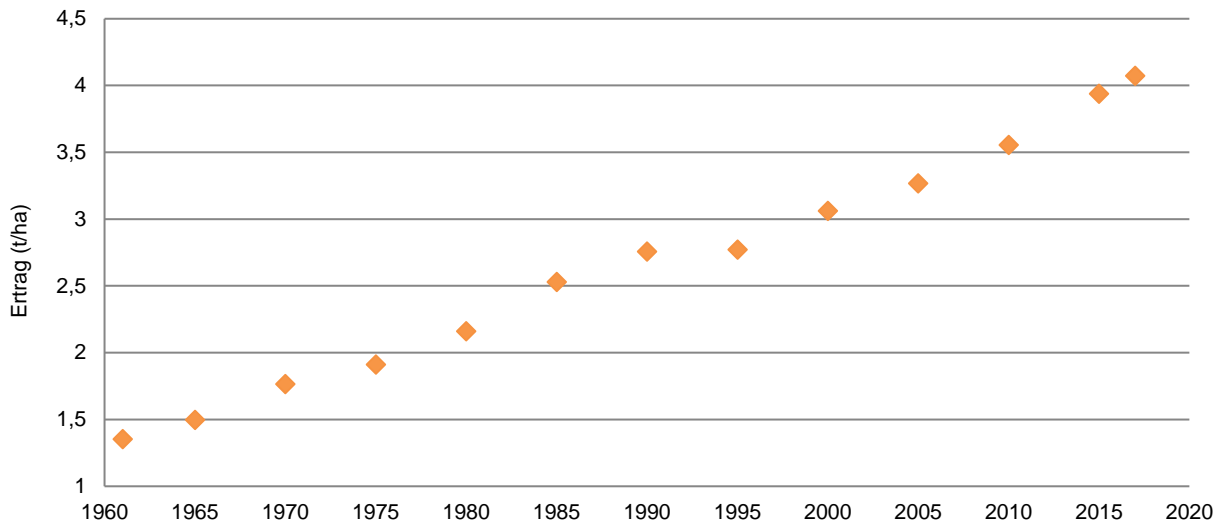


Abbildung 38: Globale Ertragsentwicklung von Getreide (1961 - 2017)

Quelle: FAOstat, 2019 (Ahrens, eigene Darstellung)

Dies ist zum einen auf die fortlaufende Entwicklung von Hohertragsorten und zum anderen den entsprechend guten Bedingungen im Anbau zu schließen. Die entwickelten spezifischen Sorten können die Erträge allerdings nur unter optimalen Voraussetzungen im Anbau, gekoppelt mit entsprechendem Einsatz von Technik und Produktionsstandards erbringen. Durch den weiteren Anstieg der globalen Bevölkerung, der Reduktion von geeigneten Agrarflächen, beziehungsweise steigenden Anforderungen an die Produktionsstandards, sowie die weitere Unterstützung mit Düngemittel und Bewässerungssystemen, die in vielen Regionen nicht gegeben oder möglich sind, wird diese Steigerung der Erträge in dem Maße nicht weiter möglich und die „Grenze des Wachstums“ demnächst wohl erreicht sein. Dieser Ansatz wurde so auch bereits im Rahmen des Berichtes an den *Club of Rome*, eine gemeinnützige Organisation, die 1968 von Experten und Industriellen für eine nachhaltige und vorausschauende Zukunft der Bevölkerung gegründet wurde, im Jahre 1972 von MEADOWS et al. im englischen Originaltitel „*The Limits to Growth*“ wie folgt beschrieben:

„Jeder steht in ständiger Wechselwirkung mit allen anderen. Die Bevölkerung kann nicht wachsen ohne Ernährung; die Nahrungsmittelproduktion wächst mit der Zunahme des Kapitals; mehr Kapital erfordert mehr Rohstoffe; verbrauchte Rohstoffe tragen zur Umweltverschmutzung bei, und die Umweltverschmutzung beeinflusst wieder die Bevölkerungszunahme und das Ansteigen der Nahrungsmittelproduktion.“ (Die Grenzen des Wachstums, S. 75).

Grundlegende Ansätze können die Einschränkung des Bevölkerungszuwachses oder eben die Anpassung der Nutzpflanzen an die globalen und vor allem lokalen Gegebenheiten der landwirtschaftlichen Nutzflächen sein. Die nächste Stufe ist die weitere Entwicklung dieser Nutzpflanzen an die sich ändernden klimatischen und Umweltbedingungen, wie eben Trockenheit, Salinität der Böden und mangelnde bzw. in der jeweiligen Region nicht verfügbare Nährstoffe, um hohe Produktionskosten und nötige Bewässerung zu vermeiden. Somit sollen diese durch die Weiterentwicklung entstandenen Nutzpflanzen auch für weniger entwickelte Länder mit den vor Ort gegebenen Möglichkeiten zugänglich gemacht werden. An dieser Stelle soll nochmal auf den Stand der Entwicklung der Sorghum-Pflanzen hingewiesen werden, der eben dem Stand der Mais-Forschung von vor etwa 50 Jahren entspricht (JÄKEL, 2013) und demnach noch ein gewichtiges Entwicklungspotential hat. Wichtig ist zu beachten, dass nicht primär der Ertrag unter idealen Bedingungen und mit entsprechenden Hilfsmitteln maximiert wird, sondern eben dieser durch die klimatischen Bedingungen und Stressoren zunächst stabilisiert und so entsprechend weiterentwickelt wird. Wie zuvor bereits beschrieben, konnte bis dato durch die Steigerung der jährlichen Erträge um 3% bis 5% das Wachstum der globalen Bevölkerung (etwa 4,4% p.a.) abgefangen werden. Dies wird so allerdings nicht weiter möglich sein, da die Ressourcen sich gegenläufig reduzieren und miteinander konkurrieren, wobei sich die Anzahl der Bevölkerung weiterentwickelt und alle auf dieselben Ressourcen (Boden und Wasser) unter immer schwierigeren Bedingungen des klimatischen Wandels zugreifen.

Durch eben diesen klimatischen Wandel werden sich die Verschiebungen zu den ariden und semiariden Gebieten aufgrund der Zunahme oder Abnahme der generellen Verfügbarkeit von Wasser nach FENG/FU (2013, Abb. 39 und 40) meist in den folgenden Regionen und Ländern in Süd- und Osteuropa, Westafrika, Südafrika, sowie in Mittelamerika, dem mittleren Teil Südamerikas und in Teilen Australiens bemerkbar machen. Zum derzeitigen Wissenstand werden sich diese Anbauregionen und Länder voraussichtlich weiter in die Richtung eines effektiven Anbaus von Pflanzen mit ähnlichen Merkmalen wie Sorghum bewegen, um die Grundversorgung in den Regionen zu gewährleisten. Weiterhin stellen die Regionen somit als potentielle Anbauländer einen Teil der Grundlage, um im Kapitel 8.4 zu den Produktionsmengen und Bestimmungsländern später die entsprechenden Kalkulationen und Hypothesen abzuleiten.

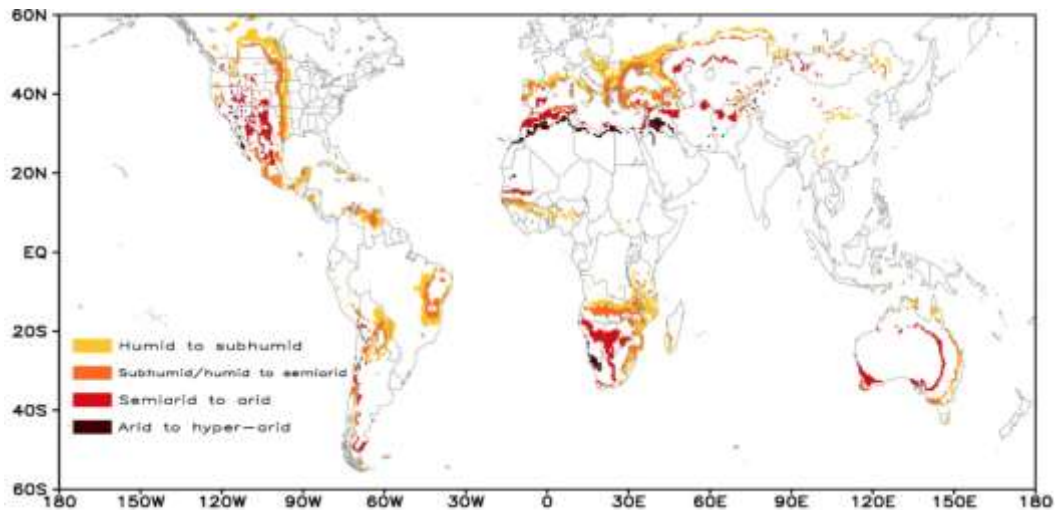


Abbildung 39: Verschiebung der ariden Unterteilung durch Abnahme der Niederschläge

Quelle: FENG/FU (2013)

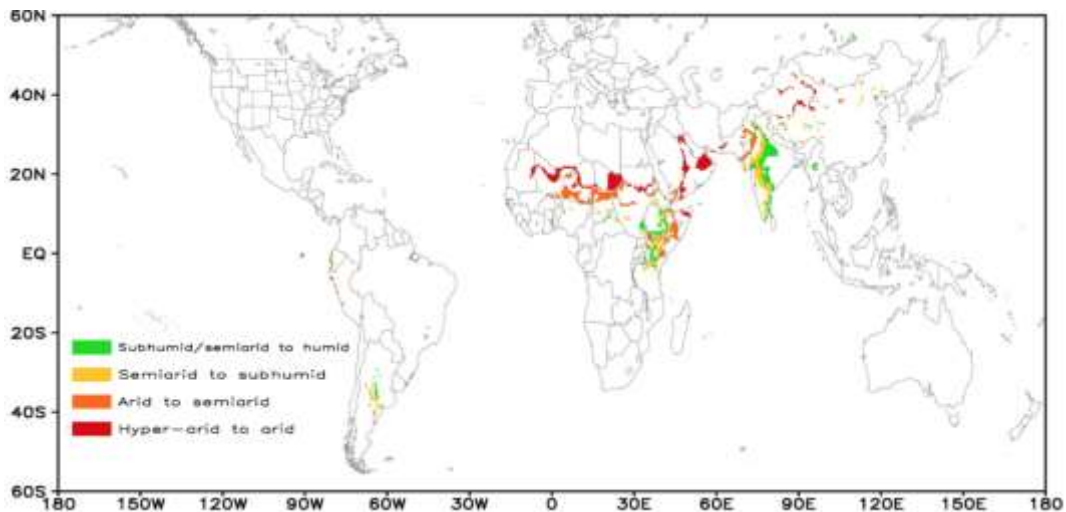


Abbildung 40: Verschiebung der ariden Unterteilung durch Zunahme der Niederschläge

Quelle: FENG/FU (2013)

Wenn zu diesen Grafiken noch die nach TIGCHELAAR et al. (2018) zugrundeliegenden Daten und Länderszenarien hinsichtlich der steigenden Temperaturen und abnehmenden Erträge einbezogen werden (Abbildung 32), sind in den nachfolgenden Ländern gravierende Reduktionen essentieller Getreidekulturen (Weizen, Mais, Reis und Gerste) zu erwarten. Interessant ist der Aspekt, dass bei 2°C Temperaturerhöhung noch einzelne Regionen auf der Nordhalbkugel zwischen dem 45. und 50. Breitengrad (z.B. Nordfrankreich, Deutschland, Teile Chinas) von der Erwärmung profitieren. Diese Regionen sind allerdings hinsichtlich der in dem Maße vergleichsweise geringen Betroffenheit zu vernachlässigen und des Weiteren auch mit 4°C Temperaturerhöhung wieder verworfen.

Unter dem Aspekt, dass sich über zwei Drittel der angeführten Länder überschneiden bzw. doppeln (42 von 62 [Tab. 21, grau hinterlegt]), kann bereits ein wichtiger Zusammenhang der

beiden Arbeiten und Modellauswertungen von FENG/FU (2013) und TIGCHELAAR (2018) hergestellt werden. Werden diese Grafiken nun noch gedanklich als Ebenen übereinanderlegt, resultieren daraus mittels der Verschiebungen der ariden Gebiete (FENG/FU) und den klimatisch bedingten Abnahmen (TIGCHELAAR) die gleichen bzw. überschneidenden Regionen und Länder. Daraus gilt es nun die Potentiale und zukünftigen Möglichkeiten weiter abzuleiten bzw. auch die eventuellen Änderungen der Handelsströme unter Kapitel 8.4 zu betrachten. Nach TIGCHELAAR werden dabei vor allem Kulturen wie Mais und Weizen stark reduziert, aber auch Reis und Sojabohnen sollen als wichtige Pflanzen der Humanernährung und tierischen Versorgung mit in die Berechnung und Diskussion einfließen. Durch die aride Eignung von zum Beispiel Sorghum (oder anderen Hirsearten) auf eben diesen Flächen kann dann der Anbau für die zuvor angeführten Versorgungsgründe adaptiert und ausgeweitet werden.

Tabelle 21: Betroffene Länder Verschiebung Erträge (Niederschläge | Temperaturen)

Quelle: FENG/FU (2013) und TIGCHELAAR (2018) – Ahrens, eigene Darstellung

<u>Afrika</u>		<u>Amerika</u>		<u>Asien</u>		<u>Europa</u>		<u>Ozeanien</u>
Algerien	*	Argentinien	***	China	***	Bulgarien	***	Australien *
Angola	***	Bolivien	***	Indien	***	Frankreich	***	
Äthiopien	***	Brasilien	***	Pakistan	*	Griechenland	***	
Benin	***	Chile	*	Philippinen	**	Italien	***	
Botsuana	*	Cuba	***	Saudi-Arabien	*	Rumänien	***	
Burkina Faso	***	Dominik. Republik	*	Thailand	**	Serbien	***	
Elfenbeinküste	*	Honduras	***	Vietnam	**	Spanien	***	
Ghana	***	Mexiko	***			Türkei	***	
Guinea	***	Nicaragua	***			Ukraine	***	
Kamerun	**	Paraguay	*			Ungarn	***	
Kenia	***	Uruguay	**					
Lesotho	***	USA	***					
Malawi	***	Venezuela	***					
Mali	***							
Marokko	*							
Mozambik	***							
Namibia	*							
Niger	*							
Nigeria	***							
Sambia	***							
Senegal	***							
Simbabwe	***							
Somalia	***							
Süd Sudan	*							
Südafrika	***							
Sudan	*							
Swasiland	***							
Tansania	***							
Togo	***							
Tschad	*							
Uganda	***							

* = nach FENG/FU, 2013 | ** = nach TIGCHELAAR, 2018 | *** = Beide, übereinstimmend



Abbildung 41: Betroffene Länder Verschiebung Erträge (Niederschläge | Temperaturen)

Quelle: FENG/FU (2013) und TIGCHELAAR (2018) – Ahrens, eigene Darstellung

Die betroffenen Länder sind aus beiden Szenarien weitestgehend identisch. Daher kann mit nur einer zusammenfassenden Tabelle der Länder und eben mehreren Berechnungen gearbeitet werden. Die in der Tabelle 21 und Abbildung 41 angeführten Länder gehen aus den Arbeiten und Abbildungen 32, 39 und 40 hervor. Es wurde weiterhin ein Abgleich der Länder und Hinweis der Quellen mittels „*, **, ****“ kenntlich gemacht, um nachvollziehbar darzustellen aus welcher Quelle oder welchen Quellen die Länder zu entnehmen sind. Durch den Abgleich der Länder sind eben wie schon zuvor erwähnt 42 Länder als mehrheitlich betroffen identifiziert worden. Mit diesen Ländern und den betroffenen Kulturen (Weizen, Mais, Reis und Sojabohnen) wird im Anschluss und der späteren Diskussion weitergearbeitet. Auf Sorghum im speziellen wird im Teil der Handelsströme eingegangen. Diese Kulturen spiegeln in den 42 Ländern knapp 94% der gesamten Getreide- und Sojabohnenerntemengen wieder (Tab. 22) und können damit als repräsentativ angesehen werden. Zudem gehören diese Kulturen mit zu den bereits beschriebenen Weltwirtschaftspflanzen. In der Tabelle 23 sind die jeweiligen Anteile der Kulturen in den 42 betroffenen Ländern zu der globalen Produktionsmenge angegeben. Daraus ist ersichtlich, dass in diesen Ländern auf das Jahr 2017 bezogen 87% der globalen Maisproduktion erzeugt wurde. Weiterhin 56% der Reisproduktion und 56% der Weizenmengen, sowie 93% der Sojabohnenernte und 62% der weltweit gesamten Getreideproduktion.

Tabelle 22: Produktionsmengen der 42 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2019 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen [t], gerundet)

Area	Crop	Quantity (t)	Total Production Quote
Total (42 countries)	Maize	991	
Total (42 countries)	Rice, paddy	431	
Total (42 countries)	Soybeans	326	
Total (42 countries)	Wheat	435	
		<u>2.183</u>	94,0%
Total (42 countries)	Cereals, Total	1.997	
Total (42 countries)	Soybeans	326	
		<u>2.323</u>	

Tabelle 23: Produktionsmengen Global - Anteil der 42 Länder (2017)

Quelle: FAOstat, 2019 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen [t], gerundet)

Area	Crop	Quantity (t)	Total (42 countries; represent)
WORLD	Maize	1.135	87,3%
WORLD	Rice, paddy	770	56,1%
WORLD	Wheat	772	56,3%
WORLD	Cereals, Total	2.980	62,3%
WORLD	Soybeans	353	92,5%
		<u>3.333</u>	
		<u>2.183</u>	65,5%

Die weiteren Berechnungen hinsichtlich der Reduktionen in den Ländern durch die Verschiebung bzw. den Mangel an verfügbarem Wasser, sowie die Auswirkung des Temperaturanstieges und entsprechender Substitution durch zum Beispiel Sorghum werden im Kapitel 8.4 dargestellt. Um die Möglichkeiten neuer Kulturpflanzen, sowie neuer oder eben weiterentwickelter Sorten in Bezug auf die Sorghum-Hirse zukünftig auch mit den Gegebenheiten vor Ort weitestgehend verwerten zu können, wird ein weiterer essentieller Faktor ebenfalls die Weiterentwicklung und Schulung der Menschen in den Regionen sein. Dazu müssen die aktuellen und zukünftigen Landwirte und Arbeitskräfte auf den aktuellen Stand der Technik und der Sortenentwicklung, sowie den Umgang mit diesen Pflanzentechnologien gebracht werden, um das Potential entsprechend ausschöpfen und die Ressourcen nachhaltig nutzen zu können.

8.2 Bevölkerungsentwicklung

Die FAO stellt die Ernährungssicherung lt. einer Publikation des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft auf vier Säulen (BMEL, 2015), die nachfolgend kurz zusammengefasst werden:

- 1) *Verfügbarkeit*: Genug Lebensmittel sind dort verfügbar, wo sie benötigt werden.
- 2) *Zugang*: Die Menschen haben einen gesicherten Zugang zu diesen Lebensmitteln (z.B. durch eigenen Anbau).

- 3) *Nutzung*: Die Lebensmittel können angemessen und bedarfsgerecht verwendet und verwertet werden (u.a. bezogen auf die Gesunderhaltung).
- 4) *Dauerhaftigkeit*: Die Versorgung mit Lebensmitteln ist langfristig stabil (auch wenn regional Missernten auftreten).

Ergänzend dazu gibt es die 17 SDGs (*Sustainable Development Goals*), die 2015 bei der UN in New York im Rahmen der Agenda 2030 festgelegt und verabschiedet wurden. Diese haben folgende fünf Kernbotschaften und gelten als die „5 Ps“:

- 1) *People* (Menschen): Die Würde des Menschen hat immer im Mittelpunkt zu stehen. Eine Welt ohne Armut und Hunger ist möglich, dies gilt es in allen Formen und Dimensionen weltweit zu beseitigen. Jede/r soll sich nach ihren und seinen Fähigkeiten und Neigungen entwickeln und so das volle Potenzial ausschöpfen können.
- 2) *Planet* (Planet): Die klimatischen Veränderungen gefährden die Zukunftsperspektiven der Länder. Der Planet ist zu schützen und für künftige Generationen intakt zu halten. Damit ist der Klimawandel zu begrenzen und die natürlichen Lebensgrundlagen, wie die nachhaltige Nutzung von Meeren und Ozeanen, der Erhalt von Ökosystemen, die Stärkung der Biodiversität und der verantwortungsvolle Umgang mit natürlichen Ressourcen, zu bewahren.
- 3) *Prosperity* (Wohlstand): Die Wirtschaft ist für den Wohlstand und die Entwicklung essentieller Antreiber. Daraus wird der Wohlstand für alle generiert und muss gefördert werden. Die Globalisierung ist gerecht zu gestalten.
- 4) *Peace* (Frieden): Der Frieden muss gefördert werden, damit Menschen in Freiheit und ohne Angst leben können. Dies gilt es durch die Akzeptanz der Menschenrechte und gute Regierungsführung zu fördern.
- 5) *Partnership* (Zusammenarbeit): Es sollen weiter globale Partnerschaften aufgebaut werden und ein neuer Geist internationaler Zusammenarbeit entstehen. Dies geht nur, wenn alle Staaten, Organisationen und jede/r einzelne global gemeinsam voranschreiten.

Diese Säulen und Ziele sind außerdem der Ausgangspunkt dieser Arbeit und wurden entsprechend betrachtet und berücksichtigt. Daraus können weiterhin die Wichtigkeit und auch der praxisorientierte Bezug der Arbeit abgeleitet werden. Die Ernährungssicherung ist also unter anderem im hohen Grad von der Verteilung, der Infrastruktur und dem Zugang bzw. der Ausstattung mit Agrarland abhängig.

Der Vollständigkeit halber sollten neben dem Wetter und dem Klima, das sicherlich immer einen direkten oder auch indirekten Einfluss auf die Preise und Verfügbarkeiten hat, ergänzend die weiteren Aspekte, die Einfluss auf die Agrarpreise haben, folgend erwähnt werden. Zum einen sind das natürlich resultierende gute oder schlechte Ernten, auch die globalen Reserven

und Lagerbestände, sowie der Ölpreis müssen als treibende Kräfte auf die Preisgestaltung mitberücksichtigt werden. Essentiell ist aber die global steigende Entwicklung der Bevölkerung – und damit die zukünftig erhöhte Nachfrage nach Lebensmitteln und Agrarrohstoffen im Allgemeinen, unter Einfluss der sich ändernden Gewohnheiten bzgl. der Ernährung und Versorgung. Diese resultieren einerseits aus dem Anstieg der Weltbevölkerung und der Verschiebung des Wohlstandes, respektive dem Anstieg der Mittelschicht und auch der Zunahme der darunter befindlichen Gesellschaftsschicht, die den Fokus auf die Sicherstellung der Grundversorgung legt. Ein weiterer, vielmehr sogar daraus resultierender Faktor, sind die politischen Diskussionen, gegensätzlichen Meinungen und Krisen.

Für die rasante Bevölkerungsentwicklung gibt es mehrere Faktoren. Einer ist der bereits erwähnte Anstieg der Mittelschicht und der damit verbundene Wohlstand, zum anderen ist aber auch sicherlich die schleppende Aufklärung der Bevölkerung über Möglichkeiten der Geburtenregelung in Afrika anzuführen. Daraus resultiert auch der schon angeführte Anstieg der Gesellschaftsschichten mit weniger verfügbaren Mitteln gemäß Kapitel 5.2, in dem die prognostizierten Zahlen dargestellt sind. Die Anzahl der Bewohner der Länder mit geringem Einkommen steigen ab 2025 sukzessive und werden 2100 etwa ein Viertel der Weltbevölkerung abbilden (22,5%, Abb. 14). Weiterhin wird allerdings auch über den Nutzen der monetären Entwicklungshilfe diskutiert. Seit den 1960er Jahren wurden lt. Handelsblatt (Nr. 200/2018) vermutlich bis zu 4.000 Milliarden Dollar für Entwicklungshilfe nach Afrika überwiesen. Dies liegt weit über dem BIP (Bruttoinlandsprodukt [Wert der im Inland erwirtschafteten Leistung]) in Deutschland im Jahr 2018 (3.388 Milliarden Euro; DESTATIS, 2019). Dadurch, dass die Bevölkerungszahlen weiterhin ansteigen werden, darf sicherlich die Frage nach der Höhe bzw. der Art und Weise der Entwicklungshilfe gestellt werden. Eventuell gibt es Möglichkeiten diese Hilfen punktueller zu verteilen und entsprechend zu steuern. Wichtig ist allerdings ebenfalls zu beachten, dass diese Ansätze und Zuwendungen sowohl in den Geberländern, wie auch in den Empfängerländern kontrolliert und überprüft werden müssen, was weiteres Kapital und Arbeitskraft bindet. In diesem Zusammenhang wurde eine Analyse von globalen Datenmodellen des GLADIS (*Global Land Degradation Information System*, FAO 2010) erstellt. Dabei wurden nach der FAO (2011) die Faktoren, wie Status, Trends, Einfluss auf die Verschlechterung des Landes auf lokale Bewohner, sowie Indikatoren auf die sozialen, ökonomischen und ökologischen Dimensionen des Ökosystems herangezogen. Anschließend wurden daraus sechs Hauptdimensionen bestimmt, die auf ein boden- und wasserbezogenes Ökosystem Einfluss nehmen: Biomasse (Gesamtheit aller organischen Substanz), Boden und Ackerland, Wasser (Qualität und Verfügbarkeit), Biodiversität (biologische Vielfalt), Ökonomie und Soziales. Damit ist es essentiell und auch die richtige Zielgebung mittels der bereits zuvor angeführten SDGs (*Sustainable Development*

Goals) der UN in eben diese Richtung zu arbeiten und dort entsprechend gezielte Investitionen zu tätigen. Dies können sicherlich zudem auch in ihrer Gesamtheit eingeschlossene Gründe der länderübergreifenden Fluchtwellen sein, die es seit einigen Jahren gibt. Somit ist eine der treibenden Kräfte eben die grundsätzliche Sicherheit und Stabilität in den jeweiligen Staaten, aber vor allem auch die Ernährungssicherung der Bevölkerung. In diesem Zusammenhang sei auf die ernährungsphysiologische Betrachtung von Sorghum (Kapitel 4.6) hingewiesen. Es zeigt sich, dass 100g Sorghum-Hirse je nach Modell der Bedarfsermittlung bereits 17% (gem. DGE) bzw. 19,5% (gem. WHO/FAO) des täglichen Proteinbedarfs einer bestimmten Personengruppe decken.

Die globale Bevölkerungsentwicklung wurde bereits im Kapitel 5.2 vorgestellt und soll an dieser Stelle für die weiteren Kalkulationen und die Ziele dieser Arbeit nochmal kurz zusammengefasst werden. Im Jahr 2050 wird mit etwa 10 Milliarden Menschen auf der Erde gerechnet, im Jahr 2100 sollen es voraussichtlich bereits 11 Milliarden Menschen sein. Dabei werden Afrika mit 40% (v.a. West- und Ostafrika) und Asien mit 43% (v.a. Süd-Zentralasien und Ostasien) der globalen Bevölkerung im Ausblick für 2100 den größten Anteil daran haben (Abbildungen 12 und 13). Entsprechend werden sich auch auf diese Regionen die Handelsströme als globale Destinationen konzentrieren, dies wird anschließend noch weiter spezifiziert. Bei diesen Annahmen sind die Abwanderungen bzw. Verschiebungen der Populationen durch Bevölkerungsströme nicht betrachtet. Dies gilt es weiterhin zu Beobachten und in die zukünftigen Bewertungen mit einzubeziehen. Die aus den Arbeiten von FENG/FU (2013) und TIGCHELAAR (2018) abgeleiteten Länder stellen nachfolgende Bevölkerungsentwicklung dar (Abb. 42). Diese Länder bzw. die Bevölkerungsanzahl der Länder wird voraussichtlich (im Vergleich zum Jahr 2000) bis in das Jahr 2050 um 54% und bis 2100 um 74% wachsen (siehe Sekundärachse). Dies spiegelt in etwa auch das globale Wachstum mit 59% (2050) bzw. 82% (2100) wieder. Zudem stellen die 42 Länder im Verlauf der Jahre 1950 – 2100 gleichbleibend etwa 60% (58,9% bis 61,8%) der Weltbevölkerung dar.

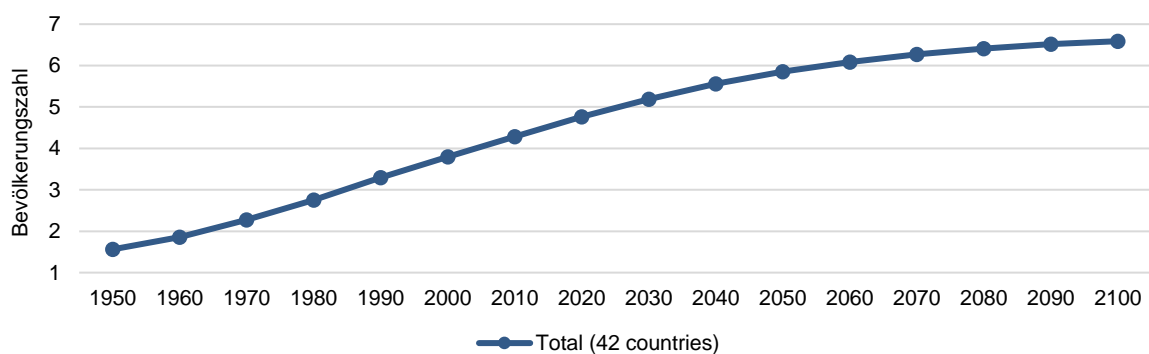


Abbildung 42: Bevölkerungsentwicklung der 42 Länder (Gesamt)

Quelle: UN Desa Population Devison, 2019 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Milliarden)

8.3 Klimaveränderung

Im Jahr 1896 hat der schwedische Nobelpreisträger *Svante Arrhenius* erstmalig berechnet, dass ein Anstieg des CO_2 Gehaltes um die doppelte Menge vermutlich eine Temperaturerhöhung um $+4^\circ\text{C}$ bis $+6^\circ\text{C}$ nach sich ziehen würde. In fortführender Literatur wurde die Gefahr, die vor allem seit der Industrialisierung in den 1850er Jahren mit dem durch den Menschen verursachten Einfluss einhergeht, ebenfalls bereits intensiv diskutiert (RAHMSTORF/NEU, 2004). Der zuvor auch in Kapitel 6 betrachtete Einfluss des Klimas respektive der Klimadaten und entsprechenden Gase fällt aktuell noch nicht so stark ins Gewicht, wie es ARRHENIUS (1896) in dem Umfang berechnet hat. Diese Ansätze sollen aber in diesem Kapitel weiter aufgegriffen und diskutiert werden, da es bereits essentielle Ansätze und Ausschläge in diese Richtung gibt. Dafür werden die in Abbildung 21 zusammengefassten Daten nachfolgend noch weiter aufgeschlüsselt und auf diese einzeln eingegangen. Hinsichtlich der beschriebenen Wirksamkeit und Vergleichbarkeit der Gase soll noch kurz ein Beispiel angeführt werden, um eventuelle Umrechnungen und Gewichtungen zu verstehen: Methan ist beispielsweise 21-mal klimawirksamer als Kohlendioxid, d.h. 10ppm Methan sind umgerechnet 210ppm CO_2eq (CO_2 äquivalent; gleichwertig). Lachgas ist 310-mal klimawirksamer als Kohlendioxid, d.h. 10ppm Lachgas sind umgerechnet 3.100ppm CO_2eq . Im Folgenden werden entsprechende Daten und Darstellungen der Weltbank (*World Bank – World Development Indicators [WDI]*, 2017) und der FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2017) gezeigt, die den einzelnen Verlauf und die jeweils verantwortlichen Quellen dieser drei wesentlichen Treibhausgase in den nachfolgenden Abbildungen darstellen. In Abbildung 43 werden die unterschiedlichen Treibhausgase mit den einzelnen Entwicklungen von 1970 bis 2014 in Tonnen (t) global gezeigt. In den einschlägigen unabhängigen Datenbanken finden sich zurzeit keine aktuelleren Daten. Auf die ersten drei bekannten Treibhausgase (CO_2 , CH_4 und N_2O) wird im Anschluss mittels einer jeweils weiteren Grafik eingegangen. Zudem werden die verantwortlichen Ursprünge oder auch Sektoren des einzelnen Gases dargestellt.

- CO_2 Kohlendioxid (Abb. 44)
- CH_4 Methan (Abb. 45)
- N_2O Distickstoffmonoxid (Lachgas, Abb. 46)

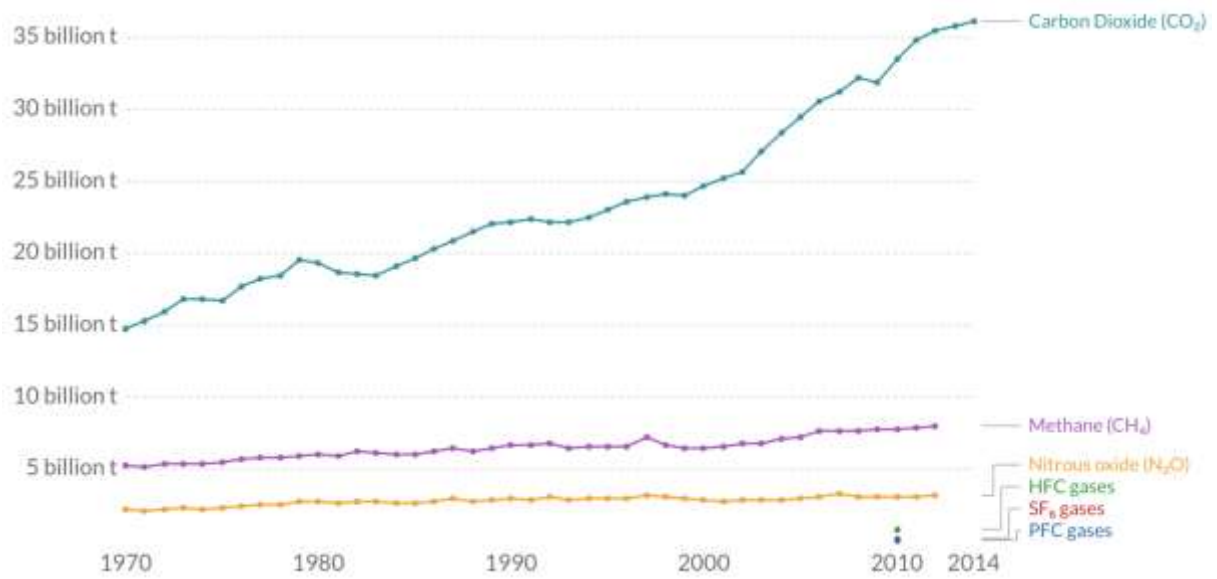


Abbildung 43: Verlauf und Übersicht Treibhausgase (1970 - 2014)

Quelle: World Bank – World Development Indicators (WDI, 2017)

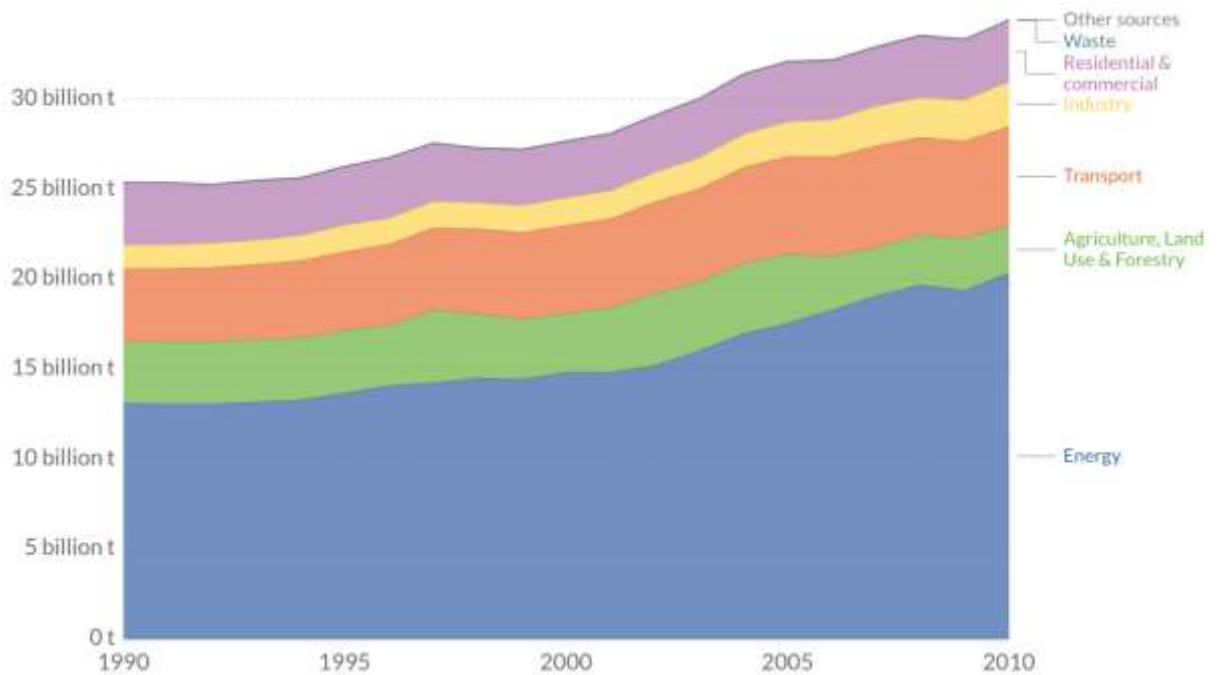


Abbildung 44: CO₂ Quellen und Verlauf (1990 - 2010)

Quelle: FAOstat, 2017

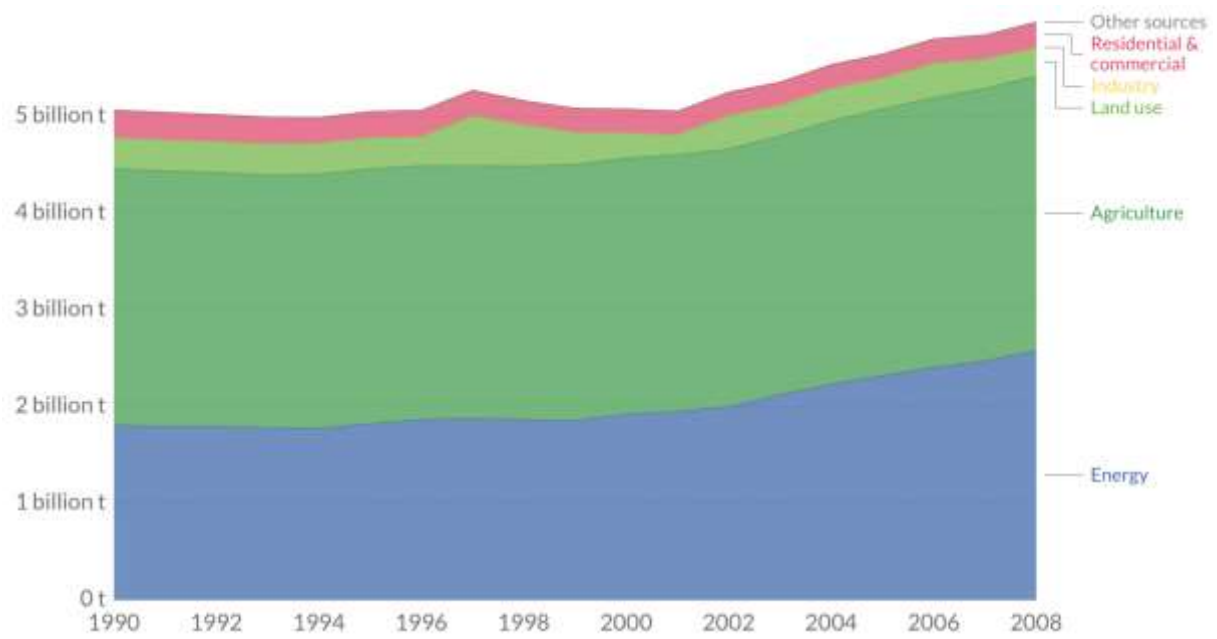


Abbildung 45: CH₄ Quellen und Verlauf (1990 - 2008)

Quelle: FAOstat, 2017

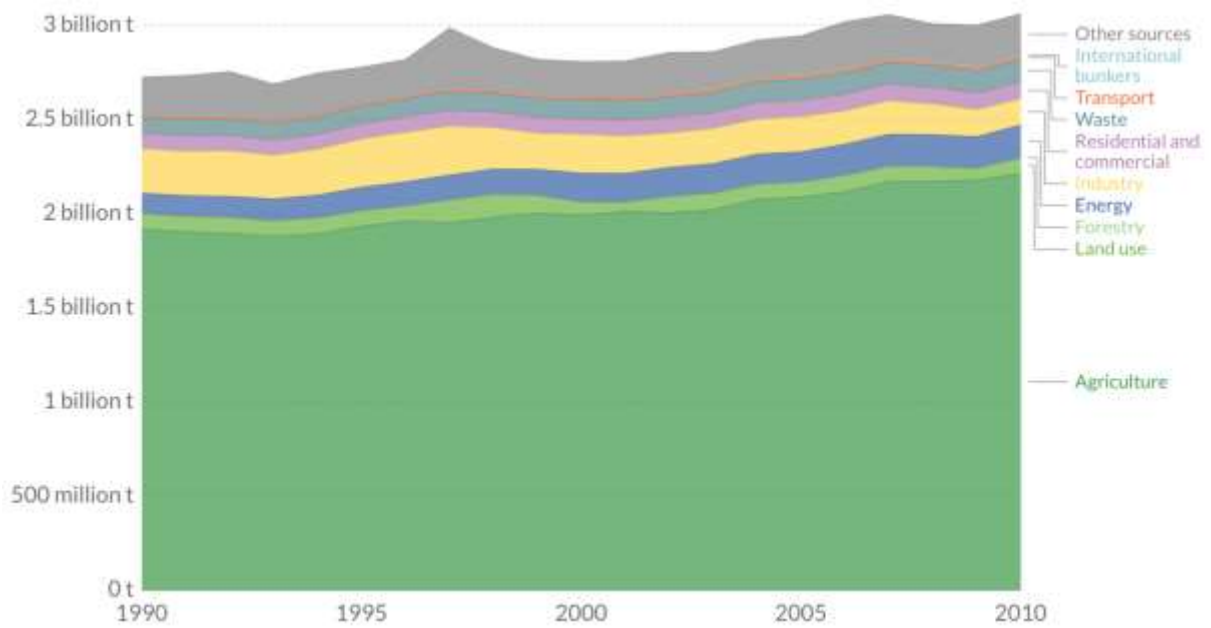


Abbildung 46: N₂O Quellen und Verlauf (1990 - 2010)

Quelle: FAOstat, 2017

Die weiteren Gase bzw. Gasgruppen aus dem Diagramm respektive der Abbildung 43 sind nachfolgend angeführt und beschrieben.

- HFC Fluorkohlenwasserstoffe (FKW [engl. *Hydrofluorocarbons*]), fluorierte Gase (auch F-Gase)

Unter HFC werden verschiedene Gase in einer Gruppe zusammengefasst (u.a. Tetrafluormethan [CF₄] oder auch Fluoroform [CHF₃]) und dienen der Aluminiumproduktion oder werden als Kältemittel eingesetzt. Die Gase der HFC Gruppe haben einen hohen Wirkungsgrad auf den Treibhauseffekt. Dieser liegt je nach Gas um den Faktor 100 bis 23.000 über dem von CO₂ (MIHATSCH, 2016).

- SF₆ Schwefelhexafluorid

Dieses Gas ist lt. IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) eines der stärksten bekannten Treibhausgase. Dabei ist 1kg SF₆ (auf 100 Jahre betrachtet) genauso wirksam wie 22.800kg CO₂ (FORSTER et al., 2007) und verweilt über 3.000 Jahre in der Atmosphäre (CO₂ bleibt im Vergleich etwa 120 Jahre in der Atmosphäre [UBA, 2017]). SF₆ wird z.B. als Isoliergas in gekapselten und komplett gasdichten Schaltanlagen in der Mittel- und Hochspannungstechnik eingesetzt.

- PFC Fluorkohlenstoffverbindungen (engl. *Perfluorcarbone*)

Die Gase dieser Gruppe können teilweise auch denen der HFC Gase zugeordnet werden, z.B. das Tetrafluormethan (CF₄). Daher finden die PFC Gase ebenfalls unter anderem Anwendung als Kältemittel. Auch diese Gasgruppe hat eine lange Verweildauer in der Atmosphäre (FORSTER et al., 2007), die teilweise weit über 250 Jahre liegt.

Abschließend zum Thema der Treibhausgase soll in Abbildung 47 nochmal veranschaulicht werden, welche Auswirkungen die politischen Aktionen und Entscheidungen hinsichtlich der Klimapolitik auf den CO₂ Gehalt (CO₂eq) respektive die Temperaturen haben. Mittels der zuvor gezeigten Grafiken und Abb. 43 ist im Jahr 2012 von etwa 46,6 Gigatonnen (Gt) in der Summe auszugehen. Im nachfolgenden Diagramm sind die 1,5°C und 2°C Ziele des Pariser Abkommens zur Klimaerwärmung bis 2100 (*pathways*), die momentanen Verpflichtungen (*pledges*), die aktuelle Klimapolitik (*current policies*) und der Verlauf ohne jegliche Klimapolitik (*no climate policies*) dargestellt. Die angegebenen Mengen bilden sich aus allen Treibhausgasen, umgerechnet in CO₂-Äquivalenten.

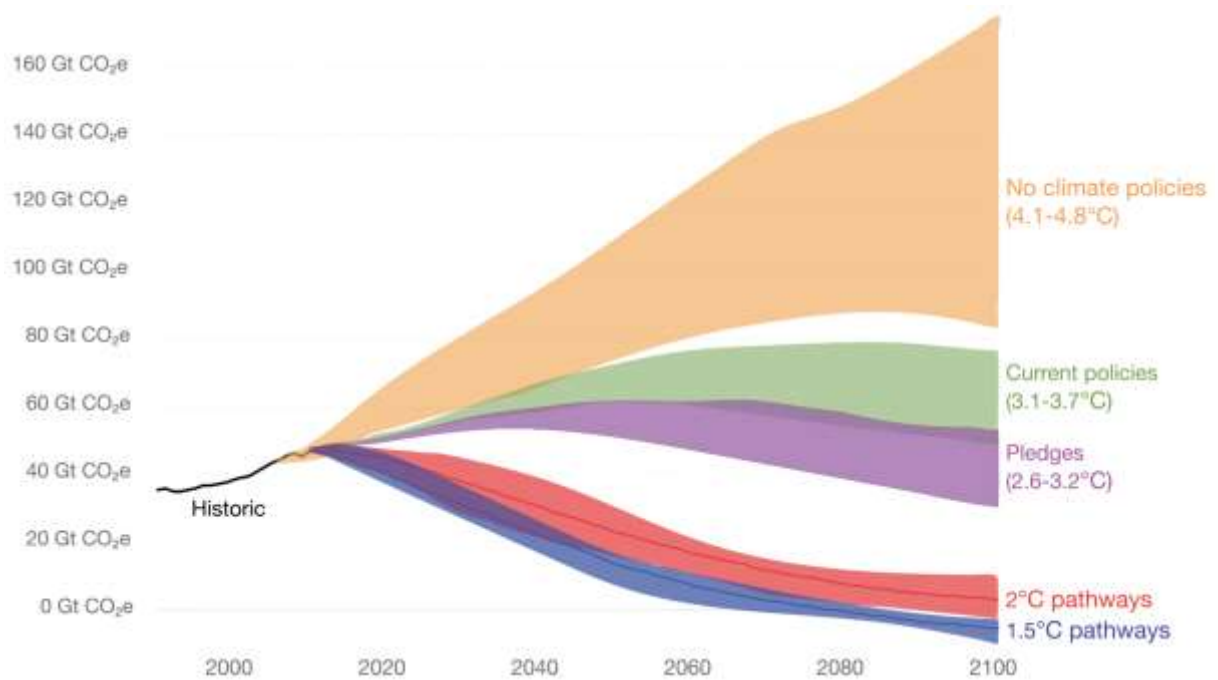


Abbildung 47: Emissionsszenarien in Abhängigkeit der Klimapolitik (2010 - 2100)

Quelle: Climate Analytics, Ecofys and NewClimate Institute (2018)

Im Weiteren soll über die Einflüsse der Gase oder sonstiger Gründe (z.B. Sonnenaktivitäten) diskutiert und fortführende wissenschaftliche Ausarbeitungen im anschließenden Verlauf herangezogen werden. Die in Kapitel 6 beschriebenen Faktoren und Entwicklungen der sogenannten Treibhausgase haben sicherlich einen bereits beschriebenen Einfluss auf die Veränderung des Klimas. Dies wurde nach RAHMSTORF/NEU (2004) auch schon im Dezember 2003 durch die *American Geophysical Union* (AGU), ihres Zeichens die global größte Organisation von Geowissenschaftlern, mittels einer Stellungnahme zum Ausdruck gebracht. Darin heißt es, dass die menschlichen Aktivitäten in zunehmendem Maße das weltweite Klima verändern. Zu den natürlichen Effekten im Laufe der Erdgeschichte kommen diese anthropogenen Einflüsse nun noch hinzu. Weiterhin weisen wissenschaftliche Sachverhalte und symptomatische Merkmale eindeutig darauf hin, dass der Anstieg der weltweiten Oberflächentemperatur ab etwa 1950 nicht mehr durch natürliche Einflüsse zu erklären ist (AGU/AIP, 2003).

Allerdings diskutierten BERNER/HOLLERBACH (2004) auch den „Klimawandel und CO₂ aus geowissenschaftlicher Sicht“, deren Ansätze zur Vollständigkeit der Diskussion an dieser Stelle aufgenommen werden sollen. Wie bereits zuvor beschrieben, ist der aktuelle Klimawandel im Vergleich mit der Vergangenheit des Planeten nicht ungewöhnlich. Kohlendioxid ist auch heute eines der dominierenden und ausschlaggebenden Treibhausgase. Dabei ist nochmal wichtig zu erwähnen, dass ein Treibhausgas allerdings

nicht alleine agiert, sondern eben die Summe der Gase respektive der Konzentration gewichtig ist. In einer Abbildung von BERNER/HOLLERBACH (2004) ist zu sehen, dass es bei annähernd konstanter CO₂ Konzentration in den letzten etwa 1.000 Jahren auch bereits bis zum Beginn der Industrialisierung (ca. 1850) immer wieder Temperaturschwankungen gab. Zeitgleich ist in der Abbildung zu sehen, dass allerdings der Gehalt an atmosphärischem CO₂ nahezu gleichgeblieben ist. Ab 1850 ist dann auch wieder der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, wie auch analog der Anstieg der Temperatur zu sehen. Wichtig ist darauf hinzuweisen, dass in dem Fall allerdings nur der Messpunkt *GISP2* in Grönland für die Datenerhebung herangezogen wurde. Weiterhin ist anzumerken, dass die Daten von nur einem Messpunkt respektive einer Messstation nicht wissenschaftlich aussagekräftig und signifikant sein können. In diesem Zusammenhang ist nur die globale Betrachtung von Daten entsprechend relevant und aussagekräftig. Es gibt beispielsweise eine Serie von Rekonstruktionen und Simulationen der Temperaturverläufe der letzten 2000 Jahre auf der Nordhalbkugel (Abbildung 49). Die Abbildung zeigt, dass sich einige der Rekonstruktionen und Simulationen leicht unterscheiden. Es ist allerdings zu erkennen, wie auch bereits in Kapitel 6 beschrieben, dass sich eine klare Tendenz und ein konsistentes Bild abzeichnet – der starke und vor allem schnelle Temperaturanstieg seit der Industrialisierung. Diesen Ansatz diskutieren auch RAHMSTORF/NEU (2004) in Ihrer Veröffentlichung kritisch. Dennoch ist die Ansicht von BERNER/HOLLERBACH (2004), dass auch die Sonne einen Einfluss auf die klimatischen Veränderungen der Erde haben kann, nicht gänzlich zu verwerfen. Denn diese ist mittels der Strahlungen und daraus resultierenden Energie die eigentliche Triebkraft des klimatischen Systems. In Abbildung 48 ist eben auch eine leicht erhöhte Aktivität der Sonnenflecken (*Sunspots* [engl.]) zu erkennen.

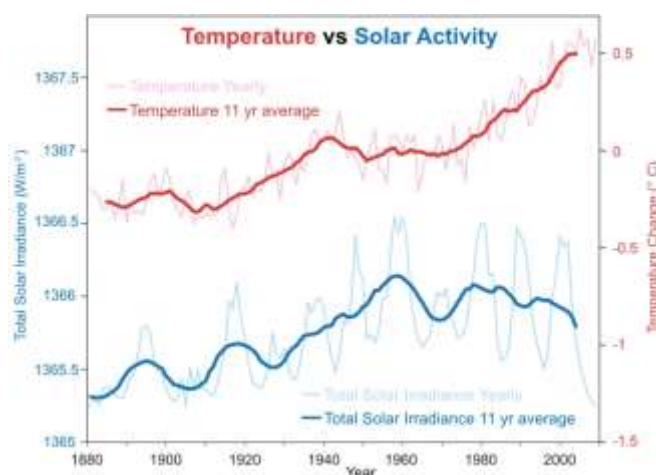


Abbildung 48: Globaler Temperaturverlauf und Sonnenfleckenzyklus (1880 - 2010)

Quelle: ETH, Zürich

Diese werden in einem Sonnenfleckenzyklus angegeben, der einer Periodizität von durchschnittlich 11 Jahren unterliegt. Dies ist eines der einfacher nachvollziehbaren Maße der Sonnenaktivität. Der Verlauf der Diagrammlinien ist zunächst recht parallel, woraus sich eben schließen lässt, dass die Sonne tatsächlich einen Einfluss auf die Temperatur der Erde haben kann. Dies ist insofern logisch, da die Intensität der Sonnenstrahlung (Wärme) sich eben auf die globale Temperatur der Erde bezieht und auf der Oberfläche abgebildet wird. Allerdings nimmt die Aktivität der Sonnenflecken zwischen 1960 und 1970 wieder ab, wobei die Temperatur weiterhin ansteigt. Anhand dieses Diagrammes lässt sich nachvollziehen, dass die Aktivität der Sonne einen Einfluss hat, aber weitere wesentliche Faktoren zur globalen Erderwärmung beitragen. In diesem Zusammenhang sind nachgelagerte Faktoren, wie das Abschmelzen der Permafrostböden angeführt.

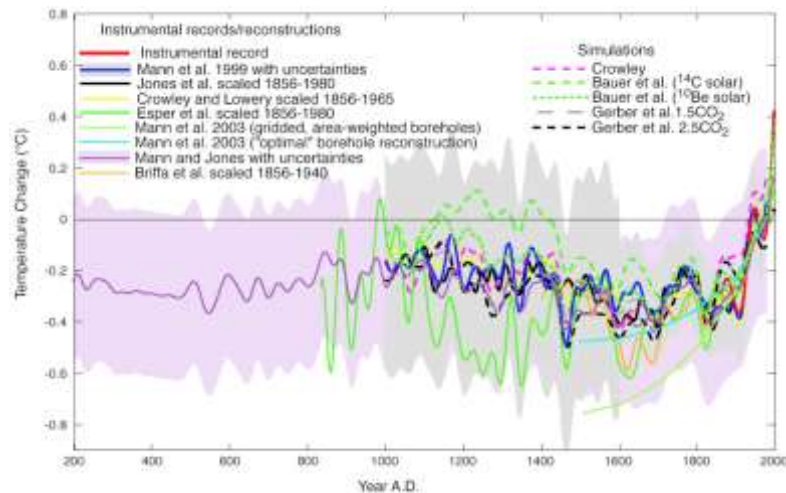


Abbildung 49: Übersicht der Temperaturverläufe der letzten 2000 Jahre (Nordhalbkugel)

Quelle: RAHMSTORF/NEU, 2004

Ein weiterer Diskussionsansatz in diesem Kapitel ist das sogenannte „Geoengineering“, bei dem zum Beispiel Schwebeteilchen künstlich in der Atmosphäre ausgebracht werden, um die Sonnen- bzw. UV-Strahlen zu stoppen oder eben direkt dort zu reflektieren und so die Temperatur auf der Erde zu senken. PONGRATZ et al. (2012) haben entsprechende Untersuchungen und Analysen des *Solar-Radiation-Managements* (SRM) veröffentlicht. In dieser Veröffentlichung wurden anhand der theoretischen Modelle anfangs Mehrerträge in der Landwirtschaft prognostiziert, da die durchschnittlichen Temperaturen durch diese Maßnahmen herabgesenkt werden konnten. PROCTOR et al. (2018) kam dabei zu anderen Ergebnissen. Als Referenzwerte wurden die Vulkanausbrüche und damit verbundene Schwebeteilchen des *El Chichón* (Mexiko, 1982) und des *Pinatubo* (Philippinen, 1991) herangezogen und ausgewertet. Diese Ausbrüche zählen zu den größten Eruptionen im 20.

Jahrhundert. Bei diesen Vulkanausbrüchen gelangten einige Millionen Tonnen SO_2 (Schwefeldioxid) und weiteres Material in die Atmosphäre, wurde dort oxidiert, verteilte sich in der mittleren Schicht der Erdatmosphäre (Stratosphäre) und reflektierte so einen erheblichen Anteil der Sonnenstrahlung. Dadurch nahmen die globalen Temperaturen auch um etwa $0,5^\circ\text{C}$ ab. Allerdings ist dies der Landwirtschaft nicht dienlich gewesen, da Pflanzen natürliches Sonnenlicht für die Photosynthese benötigen. In diesem Zusammenhang wurden dann weitere Faktoren wie die Temperatur, die Niederschläge und andere Klimaphänomene (z.B. *El Niño*) ebenfalls betrachtet und die Erntemengen von Mais, Soja, Weizen und Reis gegenübergestellt. Durch die Schwebeteilchen und die Temperaturreduzierung ist der Ertrag eben nicht wie durch PONGRATZ et al. (2012) prognostiziert angestiegen, sondern widererwartend gesunken. Bei Mais waren es ca. 10%, bei Soja, Weizen und Reis ca. 5% der Erntemengen (Abb. 50). Somit lässt sich ableiten, dass der Einfluss der natürlichen Intensität des Sonnenlichts (*Insolation* [b]) der richtigen Temperatur (*Temperature* [a]) bei der Entwicklung der Pflanzen überwiegt.

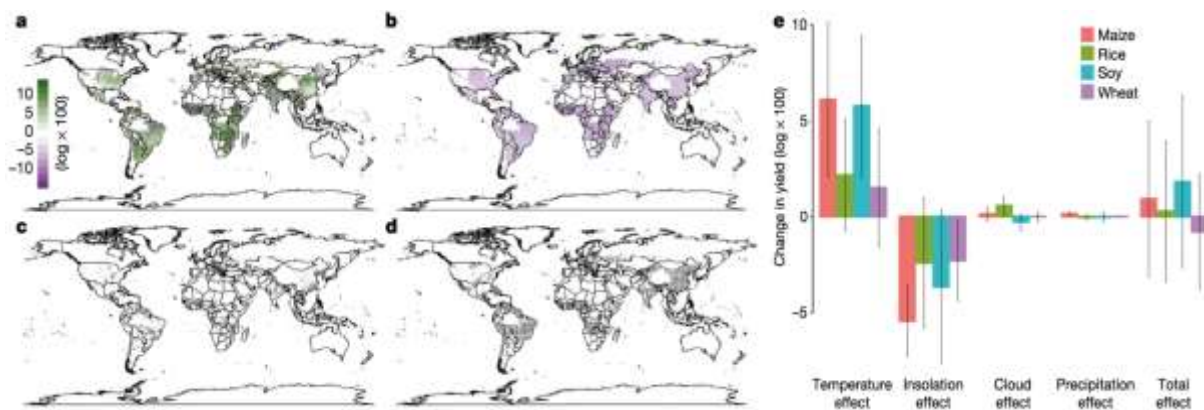


Abbildung 50: Erträge von Mais, Reis, Soja, Weizen mittels Solar-Radiation-Management

Quelle: PROCTOR et al. (2018; Temperaturveränderung [a], Sonnenstrahlung [b], Niederschlag [c], Anteil Bewölkung [d], Ertragsveränderung als Resultat aus den SRM Effekten [e])

8.4 Verschiebung der Produktionsmengen und Bestimmungsländer

Die zuvor erwähnten Gründe und Einflüsse auf die Klimaveränderungen und Auswirkungen können von meteorologischer Seite sicherlich noch weiter diskutiert werden. Die grundlegenden Einflüsse und Faktoren sollten zum Verständnis und zur Sensibilisierung allerdings dargelegt sein, um ein hinreichendes Grundverständnis dafür zu schaffen. Dies legt den Grundstein für den weiteren Ansatz dieser Arbeit – die Verschiebungen der Produktionsmengen, die daraus resultierenden und nachgelagerten Veränderungen der Handelsströme bzw. zukünftig möglichen Bestimmungsländer und nächsten Herausforderungen.

Wie bereits im Kapitel 6.2 der Entwicklung und Prognose der Klimadaten erwähnt, soll nachfolgend das Flächenwachstum der jeweiligen ariden Gebiete insgesamt dargestellt werden. Als Datengrundlage wurde die Arbeit von FENG/FU (2013) herangezogen und eigene darauf basierende Kalkulationen und Hypothesen aufgebaut. Die Werte sind errechnet aus den Standardabweichungen von 27 internationalen Datenmodellen, die entsprechend von den beiden zuvor genannten Autoren ausgewertet und weiter berechnet wurden. Dabei wurden historische Daten von 1961 – 1990 zugrunde gelegt und Ableitungen für die Jahre 2071 – 2100 in zwei Stufen (RCP 8.5 und RCP 4.5 [*Representative Concentration Pathway*]) berechnet. Zudem wurden auch Faktoren und Einflüsse wie Treibhausgase, Sonnenstrahlung und Windgeschwindigkeiten berücksichtigt.

Tabelle 24: Aufteilung und Zunahme der ariden Gebiete bis 2100

Quelle: FENG/FU (2013)

Beschreibung	Zunahme (km ²)	Verschiebung (%)
Total	5.800.000	10
Hyperarid	550.000	5
Arid	1.800.000	10
Semiarid	2.100.000	10
Trocken, subhumid	1.350.000	15

Diese statistischen Zunahmen (Tab. 24) bis ins Jahr 2100 resultieren aus den gesamtheitlichen Verschiebungen innerhalb der Unterteilung bzw. untereinander durch die Wetterphänomene in die jeweiligen Einteilungen, d.h. es findet durch punktuell zunehmende Verfügbarkeit von Wasser eine Verschiebung der hyperariden Gebiete in die ariden Gebiete, sowie durch fehlende Wasserversorgung mehrheitlich von den semiariden in die ariden Gebiete statt. Diese Flächenverteilung bzw. Gebietsverschiebungen wurden zuvor in den Abbildungen bereits dargestellt und im Anschluss für die jeweiligen Länder herausgearbeitet. Die dargestellten Berechnungen und Modelle basieren auf den historischen Daten und weiteren internationalen Datenmodellen hinsichtlich der globalen Klimaerwärmung. Weitere Faktoren, wie die extensive Bewirtschaftung, die Zunahme der Weltbevölkerung und damit zusammenhängende Verknappung von Wasserressourcen müssen in den jeweiligen Regionen zusätzlich berücksichtigt werden. Es empfiehlt sich wissenschaftliche Arbeiten zu dem Thema und vor allem der Region weiter heranzuziehen, wenn diese Effekte auf bestimmte Regionen oder Länder im Detail weiter untersucht werden sollen.

Die in Tabelle 24 dargestellten Verschiebungen der ariden und semiariden Gebiete bis 2100 stellen 67% der Flächenverschiebungen dar, d.h. über 2/3 der Flächen werden sich in aride und semiaride Gebiete wandeln – und gute Bedingungen für den Anbau von Sorghum bilden. Die Fläche der 3.900.000 km² ($\hat{=}$ 390.000.000 ha) würde rein kalkulatorisch bei einem aktuell

durchschnittlichen Ertrag von 1,7 t/ha gemäß Tabelle 25 eine Erntemenge von etwa 670 Millionen Tonnen Sorghum entsprechen, wenn auf dieser Fläche nur Sorghum angebaut werden würde. Dies entspricht dann etwa 8.366 Komplettladungen bei 80.000 tdw von Schüttgutfrachtern der Panamax-Klasse (Bulk Carrier, 60.000 - 100.000 *tons deadweight* [tdw], Maßeinheit für Tragfähigkeit von Handelsschiffen; Berechnung aus Wasserverdrängung und Differenz der oberen zur unteren Lademarke, um das Volumen darzustellen). Im Kapitel 4 dieser Arbeit ist ein Ertrag von durchschnittlich 3,5 t/ha angegeben (Tab. 4, Abb. 5), weiterhin werden in Deutschland zum Teil schon etwa 7 bis 9,5 t/ha bei Versuchen geerntet. Dies lässt zudem auf die weitere Steigerung der Erträge unter angepassten klimatischen Bedingungen, eine entsprechende natürliche Versorgung und vor allem weitere Sortenentwicklungen schließen. Die aktuell durchschnittlichen Ertragszahlen der 42 Länder von 1,7 t/ha liegen längst 21% über dem durchschnittlich globalen Ertrag (1,4 t/ha, Tab. 25) und lassen damit bereits ohnehin auf eine gute Eignung des Anbaus in diesen Ländern schließen.

Tabelle 25: Ernte und Produktionsdaten Sorghum (World; 42 Länder; 2017)

Quelle: FAOstat, 2019 (Ahrens – eigene Darstellung, Angaben in Millionen [ha und t], gerundet)

Area	Data	Code	Quantity	Total
Total (42 countries)	Area harvested	Ha	26	64,4%
Total (42 countries)	Yield	t/ha	1,7	
Total (42 countries)	Production	T	45	78,1%
World	Area harvested	Ha	41	
World	Yield	t/ha	1,4	
World	Production	T	58	

Im Weiteren soll nun auf die abnehmenden Erträge nach TIGCHELAAR et al. (2018) eingegangen und auf die zuvor erarbeiteten und betroffenen Länder für das Jahr 2017 appliziert werden. In Tabelle 26 wird daher mit den Szenarien der globalen Temperaturanstiege von 1°C, 2°C, 3°C und 4°C und der daraus resultierenden Reduzierung der Erträge bei Mais, Reis, Soja und Weizen im Einzelnen, als auch in der Summe gearbeitet.

Tabelle 26: Szenarien der kalkulatorischen Ernteauffälle Mais, Reis, Soja, Weizen (42 Länder, 2017)

Quelle: TIGCHELAAR et al./FAOstat (2018/2019; Ahrens - eigene Darstellung, Angaben in Millionen t, gerundet)

Crop	Quantity	+1°C	+2°C	+3°C	+4°C
		-7,4%	-14,8%	-22,2%	-29,6%
Maize	991	918	844	771	646
		-3,0%	-6,0%	-9,0%	-12,0%
Rice, paddy	431	418	406	393	368
		-3,0%	-6,0%	-9,0%	-12,0%
Soybeans	326	316	307	297	278
		-6,0%	-12,0%	-18,0%	-24,0%
Wheat	435	409	383	357	311
GESAMT	2.183	2.061	1.939	1.817	1.603
Anteil der Gesamternte		94,4%	88,8%	83,2%	73,4%
Ernteverluste		-5,6%	-11,2%	-16,8%	-26,6%

Durch die in Tabelle 26 kalkulatorischen Ernteverluste bei einem globalen Temperaturanstieg von 4°C ergibt sich eine Differenz von etwa 580 Millionen Tonnen an Getreide und Sojabohnen. Dies könnte durch die Verschiebung der ariden Gebiete, den dadurch entstehenden Möglichkeiten und dem Anbau von Sorghum respektive deren Erträge von ca. 670 Millionen Tonnen entsprechend kalkulatorisch ausgeglichen werden. Zudem würde sich aktuell ein Überschuss von 90 Millionen Tonnen (15,5%) ergeben. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die 42 Länder bzw. die Bevölkerungsanzahl der Länder voraussichtlich (im Vergleich zum Jahr 2000) bis 2050 um 54,2% und bis 2100 um 73,6% wachsen wird (Abb. 41). Die zurzeit noch positive Differenz zum Sorghum-Ertrag wird also langfristig in diesen Ländern für die Versorgung der zunehmenden Bevölkerung alleine nicht reichen. Fortschritte in der Pflanzenzüchtung, einhergehend mit der Weiterbildung der Landwirte sind also essentielle Bausteine.

In diesem Zusammenhang soll noch kurz auf den Selbstversorgungsgrad der Länder eingegangen werden. Für diese Kennzahl wird der Gesamtverbrauch eines Produktes mit der inländischen Produktionsmenge ins Verhältnis gesetzt. Auf diese Kennzahl wird allerdings in dieser Arbeit bewusst nicht weiter eingegangen, da vor allem politische Einflüsse eine große Rolle spielen. Diese Daten sind stark von den jeweiligen Zollbedingungen und individuellen (Freihandels-) Abkommen abhängig bzw. können von Land zu Land und besonders außerhalb der jeweiligen Unionen stark schwanken, wodurch diese Daten nicht vergleichbar sind. Freihandelsabkommen reduzieren in der Regel den Selbstversorgungsgrad, Ausfuhrzölle zum Beispiel erhöhen diese Kennzahl. Weitere Einflüsse sind die hohe Volatilität und Dynamik der Märkte, sowie die individuellen Förderungen von Produkten und der Produktion. Aus diesem Grund wird auch global über weitere Reformen hinsichtlich der globalen Agrarpolitik federführend bei der WTO (World Trade Organisation) diskutiert. Generell wird allerdings der eigentliche Selbstversorgungsgrad auf Basis der grundlegenden Kalkulation und des Anstiegs der Bevölkerungszahlen der wesentliche Treiber des zukünftigen Handels respektive des Imports in den wachsenden Ländern sein.

Bis in das Jahr 2100 werden sich voraussichtlich 24 Länder mit > 100 Mio. Einwohner entwickelt haben (Abb. 17). Die beiden bevölkerungsreichsten Länder werden mit Indien und China in Asien liegen, Afrika stellt mit insgesamt 9 Ländern den größten Anteil, die USA stellen das bevölkerungsreichste Land in Nordamerika, Mexiko in Mittelamerika und Brasilien in Südamerika. Die weiteren 12 Länder werden auf dem afrikanischen Kontinent liegen. In Europa und Ozeanien wird es voraussichtlich keine Länder mit > 100 Mio. Einwohner geben. Die Einwohnerzahl wird sich bezogen auf die Kontinente nach aktuellen Prognosen rückgängig entwickeln respektive stagnieren und weiter altern (Abb. 12 und 16).

Unter diesem Aspekt ist zu unbedingt zu beachten, dass sich unter den betroffenen Ländern bezüglich der abnehmenden Erntemengen übereinstimmend nach TIGCHELAAR und FENG/FU (Tabelle 21, Abbildung 41) wohl auch die Hälfte der zukünftig 24 bevölkerungsreichsten Länder der Erde befinden (Abb. 51, rot markiert). Dies werden sieben Länder in Afrika, drei Länder über den amerikanischen Kontinent verteilt und zwei Länder in Asien sein. Weitere sieben Länder ergeben sich aus mindestens einer der zuvor genannten Arbeiten und dem Abgleich mit Abbildung 17 (Länder > 100 Mio. Einwohner 2100). Diese sind ebenfalls in der nachfolgenden Abbildung kleiner markiert und beschrieben.

Auf diese Länder werden sich also voraussichtlich die zukünftigen Handelsströme konzentrieren, da sich die Anbaubedingungen in diesen Ländern verändern werden und die Bevölkerung stark zunehmen wird. Basierend auf heutigen Berechnungen stellen diese 19 Länder im Jahr 2100 etwa 58% der globalen Bevölkerung dar. In diesem Zusammenhang werden diese Länder allerdings auch durch die klimatischen Veränderungen gute Bedingungen für den Anbau von Sorghum oder ähnlichen Pflanzen stellen. Daher gilt es besonders die Entwicklung dieser Pflanzenarten weiter zu forcieren, um damit vor Ort die Grundversorgung zu einem erheblichen Anteil sicherstellen zu können. Unter den Ländern in Abbildung 51 befinden sich heute bereits sieben der größten Erzeugerländer für Sorghum (Tabelle 3).



Abbildung 51: Länder mit hohen Versorgungslücken (2100)

Quelle: Ahrens (eigene Darstellung)

Auf Grundlage der vorliegenden Daten und den gegebenen Prognosen konnten die Länder identifiziert werden, welche in der Zukunft voraussichtlich durch ein starkes Bevölkerungswachstum und die erschwerten bzw. sich ändernden Produktionsbedingungen

sowie durch klimatische Veränderungen mit Versorgungsdefiziten rechnen müssen. Wie zuvor bemerkt, siedeln im Zuge einer stetigen Globalisierung etwa 26,4 Millionen Menschen jährlich in andere Länder um, wobei Regionen mit vergleichbar geringerer Bevölkerungsdichte (z.B. Kanada) höhere Zuwanderungsquoten kompensieren könnten als im Vergleich flächenmäßig kleinere und sozialökonomisch weniger stabilere Länder. Zukünftig wird der regionale Bedarf durch globale Umsiedelung ein unterschiedliches Ausmaß haben. Eine zunehmende Globalisierung erfordert zukünftig mehr ganzheitliche Betrachtungen über Ländergrenzen hinaus. Als Prognose können die in Abb. 51 angeführten Länder folgend der Hypothesen gleichwohl eine erste Grundlage zur Weiterentwicklung des Soghumanbaus und zukünftigen Bestimmungsziele der sich ändernden Handelsströme bilden.

Unter der optimistischen Annahme, dass die globale Bevölkerung im Jahr 2010 gleichverteilt und hinreichend versorgt war, sind in Tabelle 27 weitergehende Berechnungen bezüglich der Ausweitung der Anbaufläche und/oder Steigerung der Erträge für Getreide dargestellt. Die Wachstumsprognosen der Bevölkerung sind aus der Datenbank der UN und FAO entnommen. Diese Prognosen bilden für Getreidesorten die Grundlage der Annahmen zu der Ausweitung der Flächen (*Area harvested*, ha) mit gleichbleibenden Erträgen oder zur Intensivierung der Erträge (*Production*, t) auf gleichbleibender Fläche. Zukünftig werden also sicherlich Lösungen gefunden werden müssen, die beide Ansätze einschließen, gleichwohl sollen diese als Grundlage für weitere Diskussionen gelten.

Tabelle 27: Flächen- und Ertragsentwicklung bei Getreide analog der Bevölkerungsentwicklung von 1970 bis 2010 sowie die prognostizierte Bevölkerung und bedarfsdeckende landwirtschaftliche Entwicklung im Jahre 2050 und 2100 global und nach Kontinenten gegliedert

Quelle: FAOstat, 2019 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen, gerundet)

Location	Item	1970	1980	1990	2000	2010	2050	(% to 2010)	2100	(% to 2010)
World	Population	3.700	4.458	5.327	6.143	6.956	9.735		10.875	
	Area harvested (ha)	675	717	708	672	694	971	39,9	1.085	56,3
	Production (t)	1.193	1.550	1.951	2.059	2.467	3.451		3.856	
	Yield (t/ha)	1,8	2,2	2,8	3,1	3,6				
Africa	Population	363	476	630	811	1.039	2.489		4.280	
	Area harvested (ha)	67	64	79	88	109	261	139,6	449	311,9
	Production (t)	60	73	93	111	167	400		688	
	Yield (t/ha)	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5				
Asia	Population	2.142	2.650	3.226	3.741	4.210	5.290		4.719	
	Area harvested (ha)	293	305	311	320	336	422	25,7	377	12,1
	Production (t)	481	632	873	996	1.226	1541		1374	
	Yield (t/ha)	1,6	2,1	2,8	3,1	3,6				
Europe	Population	657	694	721	726	736	710		630	
	Area harvested (ha)	186	192	170	121	109	105	-3,5	93	-14,4
	Production (t)	351	428	494	384	406	392		348	
	Yield (t/ha)	1,9	2,2	2,9	3,2	3,7				

Latin America and the Caribbean	Population	287	361	443	522	591	762	680
	Area harvested (ha)	47	49	47	48	49	63	56
	Production (t)	71	88	98	138	187	241	215
	Yield (t/ha)	1,5	1,8	2,1	2,9	3,8	28,9	15,1
Northern America	Population	231	254	280	312	343	425	491
	Area harvested (ha)	73	91	87	77	71	88	102
	Production (t)	215	311	369	394	447	554	640
	Yield (t/ha)	2,9	3,4	4,2	5,1	6,3	23,9	43,1
Oceania	Population	20	23	27	31	37	57	75
	Area harvested (ha)	11	16	14	18	20	31	41
	Production (t)	14	17	24	35	35	54	71
	Yield (t/ha)	1,3	1,1	1,7	1,9	1,8	54,1	102,7

Tabelle 27 zeigt, dass die globale Bevölkerung bis 2050 um etwa 40% und bis 2100 um etwa 56% im Vergleich zu 2010 zunehmen wird. Global werden die Anbauflächen entsprechend der vorherigen Annahmen auf circa 971 Millionen Hektar (2050) und etwa 1,1 Milliarden Hektar (2100) unter gleicher Flächenleistung (3,6 t/ha) nur für Getreide ausgedehnt werden müssen, um die Versorgung gleichbleibend sicherstellen zu können.

Der weitere Ansatz wäre die Intensivierung des Anbaus auf gleichbleibender Fläche für eine Steigerung der Erträge auf etwa 3,5 Milliarden Tonnen (2050) und 3,9 Milliarden Tonnen (2100). Dies impliziert allerdings eine Steigerung der Flächenleistung von 3,6 t/ha (2010) auf 5,0 t/ha (2050) und 5,6 t/ha (2100). In den letzten Jahrzehnten konnten diese Steigerungen während der sogenannten grünen Revolution realisiert werden, allerdings benötigt eine weitere Steigerung in diesem Umfang (+56% bis 2100) innovative und grüne Entwicklungen auf dem Gebiet der Forschung und Technik.

Tabelle 28: Anteil der Flächenentwicklung bei Getreide zur globalen Landfläche und globalen Agrarfläche nach Kontinenten (2010, 2050, 2100)

Quelle: FAOstat, 2019 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in Millionen ha, gerundet)

Location	Land area	Agricultural land	2010			2050			2100		
			Area harvested, Cereals total	% of Land area	% of Agricultural land	Area harvested, Cereals total	% of Land area	% of Agricultural land	Area harvested, Cereals total	% of Land area	% of Agricultural land
World	12.960	4.869	694	5,4	14,3	971	7,5	19,9	1.085	8,4	22,3
Africa	2.930	1.127	109	3,7	9,7	261	8,9	23,2	449	15,3	39,8
Asia	4.440	1.646	336	7,6	20,4	422	9,5	25,7	377	8,5	22,9
Europe	990	467	109	11,0	23,3	105	10,6	22,5	93	9,4	20,0
America	3.830	1.217	120	3,1	9,9	151	3,9	12,4	158	4,1	13,0
Oceania	770	412	20	2,6	4,9	31	4,0	7,5	41	5,3	9,8

In der Tabelle 28 sind die Flächenverhältnisse der in Tab. 27 dargestellten Berechnungen in Bezug zur globalen und jeweils kontinentalen Landfläche und den Agrarflächen gesetzt. Weltweit müssten die Agrarflächen für eine weitere Sicherstellung der Getreideerträge auf etwa 20% (2050) und 22% (2100) ausgeweitet werden. In Afrika müssten die Agrarflächen bei

gleichen Flächenerträgen bis 2100 auf knapp 40% für Getreide ausgeweitet werden (Abb. 52). Dies bedeutet, dass neben den anderen Produkten und Kulturen, sowie der Nutztierwirtschaft, die ebenfalls alle erhöhte Flächenanforderungen bei erhöhter Nachfrage haben werden, alleine für den zukünftigen Getreideanbau etwa 40% der Agrarflächen genutzt werden müssten. Diese Option wird mit der steigenden Bevölkerung, analog steigende versiegelte Flächen für Wohnraum und den ebenfalls steigenden Ansprüchen der Mittelschichten, sowie die Zunahme der Bevölkerung in der sozialökonomisch labileren Schicht nur schwer zu realisieren sein. An dieser Stelle müssen also effizientere Lösungen und Entwicklungen, als nur die eine Ausdehnung der Flächen, erarbeitet und gegebenenfalls mittels neuer Technologien geschaffen werden, um globale Ansprüche und speziell Nahrungsmittelsicherheit auch in Zukunft zu gewährleisten.

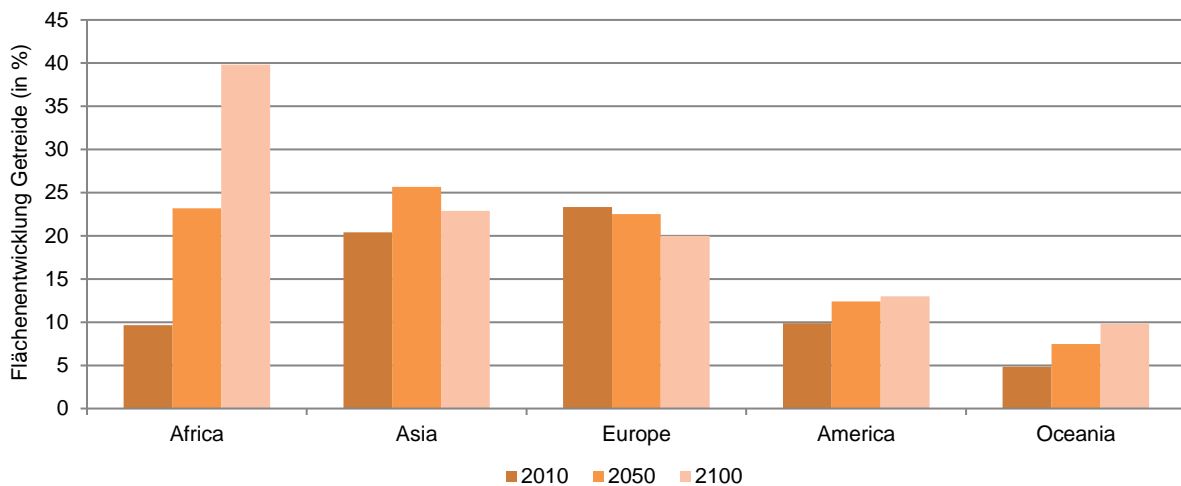


Abbildung 52: Anteil der Flächenentwicklung bei Getreide zur globalen Agrarfläche nach Kontinenten (2010, 2050, 2100)

Quelle: FAOstat, 2019 (Ahrens, eigene Darstellung, Angaben in %)

In diesem Zusammenhang soll nachfolgend eine Tabelle aus FLACHOWSKY et al. (2019) gezeigt werden, die einen weiteren Ansatz hinsichtlich der Änderung der Ernährungsgewohnheiten darstellt. Dies bietet sicherlich einen weiteren kurzfristig und parallel umzusetzenden Lösungsansatz zur Reduzierung des Flächen- und Wasserbedarfs. Dabei wird auf den Fleischverzehr pro Tag, die damit verbundene Proteinaufnahme und die benötigte Ackerfläche bei 100% Aufnahme tierischen Proteins und 50% Ersatz durch pflanzliche Proteine Bezug genommen. Pflanzen wie Leguminosen, verschiedene Getreidearten und Nüsse erhalten ebenfalls hochwertige Proteine.

Tabelle 29: Einfluss unterschiedlicher Fleischverzehrmenen und Substitution durch pflanzliche Proteinträger auf den Flächenbedarf pro Tag

Quelle: FLACHOWSKY, SÜDEKUM, MEYER (2019)

Merkmal	Mengen		
Fleischverzehr (g/Tag)	50	100	200
Proteinaufnahme (g/Tag)	9	18,5	37
<i>Erforderliche Ackerfläche (m²/Tag)</i>	<i>0,26</i>	<i>0,52</i>	<i>1,04</i>
Erforderliche Ackerfläche bei 50% Ersatz (m ² /Tag)	0,13	0,26	0,52
durch pflanzliche Proteinträger (m ² /Tag)	0,04	0,08	0,16
<i>Erforderliche Ackerfläche (m²/Tag)</i>	<i>0,17</i>	<i>0,34</i>	<i>0,68</i>
Einsparung (m²/Tag)	0,09	0,18	0,36

Durch die Veränderung von Ernährungsgewohnheiten konnte beispielsweise der Flächenbedarf um etwa 35% reduziert werden. Nach ALEKSANDROWICZ et al. (2016) können durch die Änderungen weiterer Verzehrsgewohnheiten etwa 70% der Treibhausgasemissionen sowie 80% des Flächenbedarfs vermindert werden. Zudem könnte so auch der Wasserverbrauch bis zu 50% (20% bis 30% im Mittel) reduziert werden.

Für eine Menge von 65,6g Protein/Tag (lt. DGE; Personengruppe 82kg, männlich, 25 bis 51 Jahre) wird bei einer Ernährung mit 50% Ersatz durch pflanzliches Protein circa 1,21m² Agrarfläche pro Tag benötigt. Mit dieser Ernährungsweise könnte etwa eine Flächeneinsparung von 0,64m² am Tag erzielt werden. Die benötigte Menge an Protein der ausgewählten Personengruppe wäre kalkulatorisch auch mit etwa 600g Sorghum-Hirse sichergestellt. Diese Menge könnte bei aktuell möglichen Erträgen bereits von etwa 0,69m² Ackerfläche geerntet werden. Im Vergleich benötigt Mais bei gleichen Flächenerträgen für die Menge an Protein etwa 0,85m² (+23% Fläche). Damit zeigt sich im Zusammenhang mit den Anbaubedingungen ein weiterer ernährungsphysiologischer Vorteil von Sorghum gegenüber Mais.

9. Fazit

Nach der Darstellung der Ergebnisse, der Analyse der Daten und den aufgestellten Hypothesen, lassen sich die zu Beginn dieser Arbeit als Zielstellung definierten Fragen wie folgt beantworten:

1. Wie werden sich die Erntemengen von Getreide durch klimatische Schwankungen weltweit verändern?

Die Erntemengen von traditionellen Getreidearten werden sich in Abhängigkeit zur Temperatur global verändern und auf Regionen bezogen verschieben. Bei weiterhin ansteigenden Temperaturen und unzureichender Wasserversorgung bilden sich Ertragsdepressionen bei z.B. Weizen, Mais, Reis, Gerste und Soja. Diese werden sich vor allem auf Weizen und Gerste global auswirken. Auch Reis als wasserintensive Kultur wird zukünftig rückgängige Erträge verzeichnen. Bei Mais wird sich dies als C₄-Pflanze zunächst nicht so stark auswirken, allerdings bei fortschreitenden Temperaturanstiegen und rückgängiger Verfügbarkeit von Wasser ebenfalls bemerkbar machen. Es werden vor allem Regionen in Asien bzw. Südasien, sowie die Mehrzahl der Länder auf dem afrikanischen Kontinent verstärkt betroffen sein. Dabei ist mit einem globalen Ertragsrückgang bis zu 30% zu rechnen.

2. Kann der Anbau von Hirse in den Gebieten mit zunehmender Trockenheit die verminderten Erträge von konventionellem Getreide teilweise ausgleichen und wie könnte der Anbauumfang der Hirse gesteigert werden?

Die Sorghum-Hirse kann in den Gebieten mit zunehmender Trockenheit kurz- bis mittelfristig durchaus ein adäquater Ersatz oder auch Ergänzung zu dem bisher angebauten Getreide werden. Einerseits für die Humanernährung, aber auch für die tierische Versorgung. Weitere Hirsesorten können die standortspezifischen Anforderungen in Abhängigkeit der Nutzung bereits erfüllen und angebaut werden. Die Millet Hirse hat beispielsweise noch geringere Anforderungen als die Sorghum-Hirse an den Standort und die Anbaubedingungen, bezogen auf die Wärmebedürftigkeit und die Wasserverfügbarkeit.

Wichtig ist die weitere Entwicklung der Sorten, vor allem hinsichtlich der Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten vor Ort, mit erhöhten Ertragspotenzialen – unter Beachtung eben nicht unterstützender Produktionsmittel, sondern der vor Ort befindlichen klimatischen Gegebenheiten. Dabei bildet insbesondere die weitere Forschung und Entwicklung der Pflanzen das Fundament der zukünftigen Absicherung der Grundversorgung in den betroffenen Ländern. Durch die aktuellen Zahlen und Untersuchungen können die Erträge der

Hirse-Arten bedingt der standörtlichen Gegebenheiten teilweise bis zu 400% gesteigert werden. Langfristig wird alleine die Erweiterung des Anbaus herkömmlicher Getreidepflanzen in den betroffenen Ländern die Versorgung der Bevölkerung nicht sicherstellen. Die Einwohnerzahlen werden stark zunehmen (bis 2050 um 54,2%, bis 2100 um 73,6% [im Vgl. zu 2000]), wobei das Agrarland weiterhin limitiert bleibt. Durch die Sortenentwicklung kann dies kurz- bis mittelfristig noch ausgeglichen werden. Langfristig ist dies entweder durch den erhöhten Importanteil und die Verschiebung bzw. Konzentration der globalen Warenströme möglich oder durch komplett neue Pflanzen bzw. Sorghum-Arten mittels technischer Modifizierungen der Pflanzengrundlagen.

3. Wie können sich die Handelsströme von Hirse bei klimatischen Schwankungen und entsprechend abnehmenden Erträgen ähnlicher Kulturen entwickeln?

Die zukünftigen Märkte der Hirse liegen in den asiatischen und vor allem afrikanischen Ländern. Einerseits bilden die Anbaubedingungen vor Ort einen Standortvorteil, vor allem aber wird das zukünftige Bevölkerungswachstum und eben die Verteilung der dortigen Bevölkerungsschichten eine essentielle Rolle spielen. Der Anbau von Hirse wird auch in anderen Regionen und Ländern der Welt einen Teil der Getreidekulturen einnehmen und diesen sukzessive ausweiten. Die hauptsächlichen Bestimmungsländer der Handelsmengen von Hirse werden aber China, Südwestasien und der afrikanische Kontinent sein. Der Grund dafür ist die in den identifizierten 42 Ländern prognostizierte Ertragsreduktion bis zu 26,6%, bei Temperaturanstiegen bis 4°C.

4. Welches sind zukünftige Länder und Ziele der Handelsströme und des direkten Anbaus von Hirse in ebendiesen?

Die zukünftigen Bestimmungsländer der Handelsströme und auch des direkten Anbaus von Hirse werden weitestgehend identisch sein. Die Hauptanbauländer bilden etwa 75% der globalen Produktionsfläche für Hirse ab. Diese Länder werden zukünftig auch die Länder mit dem größten Bevölkerungswachstum und damit die primären Bestimmungsländer und größten Bedarfsträger sein. Dies werden Länder wie China, Indien, Pakistan, Vietnam und die Philippinen in Asien sein, aber vor allem die afrikanischen Regionen und Länder wie Nigeria, Angola, Uganda, Äthiopien, Kenia, Tansania, Mozambik und auch die Elfenbeinküste, Niger und der Sudan/Südsudan. In Amerika werden das einerseits als Hauptanbauländer und auch essentiell für den Export die USA, Mexiko und Brasilien sein.

5. Welche Regionen bieten aktuell und in Zukunft die klimatischen Bedingungen für den Anbau von Hirse?

Die Hauptanbauländer für Sorghum-Hirse sind aktuell Indien, Nigeria, der Sudan/Südsudan, Niger, die USA, Äthiopien, Burkina Faso, Mali, Mexiko und der Tschad. Zukünftig werden durch die klimatischen Verschiebungen und daraus resultierenden Bedingungen voraussichtlich die in der Tabelle 21 und Abbildung 41 identifizierten 42 Länder prägend sein. Unterstützend dazu werden einzelne Regionen oder Länder hinzukommen, die in den nächsten 30 bis 80 Jahren vor Ort veränderliche und vorteilhafte Bedingungen für diese Kulturen entwickeln. Auch der technologische Fortschritt - bezogen auf Maschinen und Pflanzentechnologien - wird für die Entwicklung der Produktionsmengen essentiell sein. In den zusätzlichen Ländern wird dann vor allem für den Export und die Versorgung der zuvor genannten Bestimmungsländer produziert werden müssen, um unter anderem mit den Produktionsüberschüssen und deren Export die dortige Grundversorgung sicherstellen zu können.

Abschließend ist zu sagen, dass zu Beginn der Evolution das Klima einen richtungsweisenden Einfluss auf die Entwicklung der Organismen und Lebewesen hatte, jetzt haben die Menschen einen unumkehrbaren Einfluss auf das Klima, vielmehr die Veränderungen ebendieses und versuchen irreparable Entwicklungen wieder zum Beginn der Evolution zu kehren. In diesem Zusammenhang ist der schon mehrfach beschriebene Ansatz essentiell, dass wir als Zeitabschnitt der Menschheit die ersten Generationen bilden, die den Klimawandel mittels wissenschaftlicher Daten und Messwerte deutlich nachvollziehen – sowie vermeintlich die Letzte, die gegen ebendiesen noch etwas unternehmen kann. Jetzt gilt es also schnellstmöglich einzulenken, globale Entscheidungsträger auf die aktuellen Verläufe hinzuweisen, mit diesen Entscheidern Maßnahmen kritisch zu diskutieren und diese Aufgabe nun umgehend anzunehmen, um auch zukünftigen Generationen mit Unterstützung leistungsfähiger Kulturen global eine adäquate Ernährung gewährleisten zu können.

10. Literaturverzeichnis

BEYEL, V. (2003): Wirkung von Trockenstreß auf unterschiedliche Kultivare von Sorghum bicolor

(Dissertation, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Fachbereich Biologie und Informatik)

BIGALKE, S.; GIESEN, C. (2018): Neue Ufer

(Süddeutsche Zeitung vom 23.08.2018, Nr. 193, Wirtschaft)

BRINK, M.; BELAY, G. (2006): Plant Resources of Tropical Africa, Vol. 1 - Cereals & Pulses

(PROTA Foundation, Backhuys Publishers, CTA; Wageningen, Netherlands)

DRECHSLER, W.; JAHN, T.; RIEDEL, D. (2018): Entwicklungshilfe – Helfen, aber richtig

(Handelsblatt vom 17.10.2018, Nr. 200, Wirtschaft & Politik)

ELMADFA, I.; LEITZMANN, C. (2015): Ernährung des Menschen

(5. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart)

FAO (2011): The state of the world's land and water resources for food and agriculture

(SOLAW) – Managing systems at risk

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome and Earthscan, London

KADEREIT, J.W.; KÖRNER, C.; KOST, B.; SONNEWALD, U. (2014): Lehrbuch der

Pflanzenwissenschaften

(37. Auflage, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg)

KOYRO H.W.; LIETH, H. (1998): Salinity conversion table

(Universität Osnabrück, ISSN 09336-3114)

LIEBEREI, R.; REISDORFF, C. (2012): Nutzpflanzen

(8. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart)

LÜTTGE, U.; KLUGE, M.; THIEL, G. (2010): Botanik - Die umfassende Biologie der Pflanzen

(1. Auflage, Wiley-VCH Verlag, Weinheim)

MEADOWS, D.L.; MEADOWS, D.H.; RANDERS, J.; BEHRENS, W.W. (1972): Die Grenzen des Wachstums (The Limits to Growth, Universe Books)
Deutsche Verlags-Anstalt (DVA), Stuttgart

MIHATSCH, C. (2016): Die Welt stoppt die Klimakiller-Kühlmittel FKW
(Badische Zeitung vom 17.10.2016, Wirtschaft)

MORTIMORE, M. (2009): Dryland Opportunities - A new paradigm for people, ecosystems and development
(IUCN, Gland, Switzerland; HED, London, UK and UNDP, New York, USA)

PONGRATZ, J. et al. (2012): Crop yields in a geoengineered climate
(Nature Climate Change Volume 2, Seiten 101–105)

PROCTOR, J. et al. (2018): Estimating global agricultural effects of geoengineering using volcanic eruptions
(Nature Volume 560, Seiten 480–483)

SCHULZ, J. (2016): Die Ökozonen der Erde
(5. Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart)

SOUCI, S.W.; FACHMANN, W.; KRAUT, H. (2000): Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwert-Tabellen
(6. Auflage, Medpharm Scientific Publishers, Stuttgart)

WYK, B.-E. van (2005): Handbuch der Nahrungspflanzen
(1. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart)

11. Internetquellen

ALEKSANDROWICZ, L.; GREEN, R.; JOY, E.J.; SMITH, P.; HAINES, P.; HAINES, A. (2016): „The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: A systematic review“
doi:10.1371/journal.pone.0165797
unter: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0165797>
(Abgerufen am 22.06.2019)

AMERICAN GEOPHYSICAL UNION (AGU, 2003): Human Impacts on Climate (AIP [American Institute of Physics])
unter: <https://www.aip.org/fyi/2003/text-agu-statement-human-impacts-climate>
(Abgerufen am 18.03.2019)

AMERICABLOG (2013): „Global Warming: We are halfway to a mass extinction event“
unter: http://americablog.com/wp-content/uploads/2013/05/Mass_Extinction_500px-Extinction_intensity.svg_5_marked-up.png
(Abgerufen am 08.12.2018)

BERNER, U.; HOLLERBACH, A. (2004): „Klimawandel und CO₂ aus geowissenschaftlicher Sicht“
unter: <https://www.vdi.de/fileadmin/media/content/get/67.pdf>
(Abgerufen am 15.12.2018)

BINFORD, M.W.; KOLATA, A.L.; BRENNER, M.; JANUSEK, J.W.; SEDDON, M.T.; ABBOTT, M.; CURTIS, J.H. (1997): „Climate variation and the rise and fall of an Andean civilization, Quaternary“
unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/ab78/9b9cf0da11c6a3813b0a80eb9d3219600b21.pdf>
(Abgerufen am 05.01.2019)

BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015): „Welternährung verstehen – Fakten und Hintergründe“
unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Welternaehrung-verstehen.pdf?__blob=publicationFile
(Abgerufen am 08.12.2018)

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2017): „Die Klimakonferenz in Paris“

unter: <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen/>

(Abgerufen am 09.12.2018)

BOND, D.; GRASBY, S. (2017): „Mass Extinction Causality: Records of Anoxia, Acidification, and Global Warming during Earth's Greatest Crises“

unter: <https://www.sciencedirect.com/journal/palaeogeography-palaeoclimatology-palaeoecology/vol/478/suppl/C>

(Abgerufen am 08.12.2018)

Climate Analytics, Ecofys and NewClimate Institute (CAT, 2018): 2100 Warming Projections

unter: <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/>

(Abgerufen am 19.04.2019)

DESTATIS (Statistisches Bundesamt, 2019): „Inlandsproduktberechnung“

unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Inlandsprodukt/Tabellen/Gesamtwirtschaft.html>

(Abgerufen am 10.02.2019)

DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2017): „Wie viel Protein brauchen wir? DGE veröffentlicht neue Referenzwerte für Protein“

unter: <https://www.dge.de/presse/pm/wie-viel-protein-brauchen-wir/>

(Abgerufen am 29.12.2018)

DSW (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung, 2017): „Bevölkerungswachstum #1: Wie sich die Menschheit bis heute entwickelt hat (Update)“

unter: https://www.dsw.org/bevoelkerungswachstum_historische_entwicklung/

(Abgerufen am 15.02.2019)

DWD (Deutscher Wetterdienst): „Klima-Arides“

unter: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101416>

(Abgerufen am 30.12.2018)

ETH Zürich (Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich): „Chemie des Klimawandels“
(EducETH)

unter: <https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/mint-lernzentrum/Fortbildungen%20MINT/Chemie/Antwort.pdf>

(Abgerufen am 16.12.2018)

FAO (FAOSTAT, 2016): „Food and agriculture data“

unter: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

(Abgerufen am 16.09.2018)

FAO (FAOSTAT, 2018): „Food and agriculture data“

unter: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

(Abgerufen am 06.01.2019)

FAO (FAOSTAT, 2019): „Food and agriculture data“

unter: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

(Abgerufen am 06.05.2019)

FENG, S.; FU, Q. (2013): Expansion of global drylands under a warming climate

Atmospheric Chemistry and Physics, 13, 10081–10094, 2013

doi:10.5194/acp-13-10081-2013

unter: <https://www.atmos-chem-phys.net/13/10081/2013/acp-13-10081-2013.pdf>

(Abgerufen am 30.12.2018)

FLACHOWSKY, G.; SÜDEKUM, K.-H.; MEYER, U. (2019): „Protein tierischer Herkunft: Gibt es Alternativen?“

unter: <https://www.zuechtungskunde.de/Protein-tierischer-Herkunft-Gibt-es-Alternativen,QUIEPTYxMzgwMDImTUIEPTY5MTQy.html>

Alternativen,QUIEPTYxMzgwMDImTUIEPTY5MTQy.html

(Abgerufen am 22.06.2019)

FORSTER, P. et al. (2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing.

In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Cambridge University Press, Cambridge und New York 2007, S. 212

unter: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>

(Abgerufen am 16.12.2018)

HAUG, G.H.; GUNTHER, D.; PETERSON, L.C.; SIGMAN, D.M.; HUGHEN, K.A.; AESCHLIMANN, B. (2003): „Climate and the collapse of Maya civilization“
unter: https://www.researchgate.net/publication/10855144_Climate_and_the_Collapse_of_Maya_Civilization
(Abgerufen am 05.01.2019)

ICECAP (International Climate and Environmental Change Assessment Project, 2009): „SPPI Monthly CO2 Report - April 2009“
unter: http://icecap.us/index.php/go/joes-blog/sppi_monthly_co2_report_april_2009/
(Abgerufen am 08.12.2018)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001): „Climate Change 2001 – Impacts, Adaptation and Vulnerability“ Cambridge, Cambridge University Press, 3 Bände
unter: https://library.harvard.edu/collections/ipcc/docs/27_WGIITAR_FINAL.pdf
(Abgerufen am 19.03.2019)

JÄKEL, K. (2013): „Anbauvergleich: Mais und Sorghum“ (LfULG, Sachsen)
unter: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Jaekel_Anbauvergleich_Sorghum_Mais.pdf
(Abgerufen am 29.12.2018)

KASTNER, T. (2017): „Übermäßige Grundwassernutzung bedroht Lebensmittelversorgung weltweit“
unter: http://www.senckenberg.de/root/index.php?page_id=5206&PHPSESSID=r19kglvrk2gek6qрни0gv32780&year=0&kid=2&id=4409
(Abgerufen am 29.12.2018)

KÖPPL, P. (2016): „Sorghum (Sorghum bicolor L.) – Körnerhirse“ Anbau- und Kulturabteilung (Referat Ackerbau und Alternativen, Landwirtschaftskammer Oberösterreich)
unter: www.lko.at
(Abgerufen am 29.12.2018)

LASKOWSKA-KOSEGARTEN, E. (2001): „Einfluß von Trocken- und Salzstreß auf die Ertragsbildung, die CO₂-Assimilation, das Phytohormonsystem und die Konzentration an Mineralstoffen bei verschiedenen Kulturpflanzen“

unter: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2001/535/pdf/d010139.pdf>

(Abgerufen am 05.01.2019)

MANN, M. (2012): "The Hockey Stick and the Climate Wars"

10.7312/columbia/9780231152556.001.0001

unter: https://www.researchgate.net/publication/268302869_The_Hockey_Stick_and_the_Climate_Wars

(Abgerufen am 10.12.2018)

PETERSEN, J. (2014): „Über die Potentiale von Hirsesorten für die landwirtschaftliche Nutzung in Rheinland-Pfalz“

unter: [http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/d0e5087e9e1e8b79c1257abf0060c5df/20019832E8A05341C1257DA9003D2125/\\$FILE/Hirsens%20Petersen%202014_komp.pdf](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/d0e5087e9e1e8b79c1257abf0060c5df/20019832E8A05341C1257DA9003D2125/$FILE/Hirsens%20Petersen%202014_komp.pdf)

(Abgerufen am 06.01.2019)

RAHMSTORF, S.; NEU, U. (2004): „Klimawandel und CO₂: Haben die ‚Skeptiker‘ recht?“

unter: http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Other/rahmstorf_neu_2004.pdf

(Abgerufen am 18.03.2019)

RAONLINE (2010): „Klimawandel in der Arktis - Arktischer Seeweg - 2010: Historische Schifffahrten durch die Nordost-Passage“

unter: <https://www.raonline.ch/pages/edu/cli2/arccli1003.html>

(Abgerufen am 09.12.2018)

SÉVELLEC, F. (et al. 2018): „A novel probabilistic forecast system predicting anomalously warm 2018-2022 reinforcing the long-term global warming trend“ (NATURE COMMUNICATIONS | (2018)9:3024 | DOI: 10.1038/s41467-018-05442-8)

unter: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-05442-8.pdf>

(Abgerufen am 15.09.2018)

STEFFEN, W.; ROCKSTRÖM, J. (et al. 2018): „Trajectories of the Earth System in the Anthropocene“ | DOI: 10.1073/pnas.1810141115
unter: <https://www.pnas.org/content/115/33/8252>
(Abgerufen am 27.01.2019)

TIGCHELAAR, M. (et al. 2018): „Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks“ (National Academy of Sciences | 29891651 | DOI: 10.1073/pnas.1718031115)
unter: <http://www.pnas.org/content/early/2018/06/04/1718031115>
(Abgerufen am 15.09.2018)

UBA (Umweltbundesamt, 2017): „Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen“
unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#textpart-1>
(Abgerufen am 15.12.2018)

USDA (United States Department of Agriculture, 2018): „World Agricultural Production (Circular Series WAP 12-18 December 2018)“
unter: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
(Abgerufen am 06.01.2019)

VEREINTE NATIONEN (United Nations, 2018): „2017 Revision of World Population Prospects“ (DESA / Population Division)
unter: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_Wallchart.pdf
(Abgerufen am 16.09.2018)

VEREINTE NATIONEN (United Nations, 2018): „2017 Revision of World Population Prospects - Data Query“ (DESA / Population Division)
unter: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>
(Abgerufen am 14.02.2019)

WORLD BANK (2016): „New country classifications by income level: 2016-2017“
unter: <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-country-classifications-2016>
(Abgerufen am 15.02.2019)

WORLD BANK DATA (2018): „GNI per capita, Atlas method (current US\$)”
unter: https://data.worldbank.org/indicator/ny.gnp.pcap.cd?year_high_desc=true
(Abgerufen am 15.02.2019)

WORLD ECONOMIC FORUM (2019): „The Global Risks Report 2019“
unter: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf
(Abgerufen am 19.04.2019)

WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO, 2018): “Global hunger continues to rise, new UN report says“
unter: <https://www.who.int/news-room/detail/11-09-2018-global-hunger-continues-to-rise---new-un-report-says>
(Abgerufen am 20.06.2019)

WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO, 2019): “The state of food security and nutrition in the world 2018 - Building climate resilience for food security and nutrition”
unter: <https://www.who.int/nutrition/publications/foodsecurity/state-food-security-nutrition-2018/en/>
(Abgerufen am 20.06.2019)

ZAHEER, R.; REUTER, T. (2017): Human needs and future challenges, *Animal Frontiers*, April 2017, Vol. 7, No. 2
doi:10.2527/af.2017.0111
unter: <https://academic.oup.com/af/article/7/2/3/4638830>
(Abgerufen am 08.06.2019)

12. Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe.

München, den 02.07.2019

.....

Unterschrift Verfasser (Ahrens, Martin)