

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Fachbereich 11 Geowissenschaften/Geographie
Institut für Physische Geographie
Sommersemester 2009

Modul B.Sc. 9: Bachelorarbeit

„Virtueller Wasserhandel – Analyse und Bewertung mit Fokus auf Deutschland“

Erstgutachterin: Prof. Dr. Petra Döll
Zweitgutachter: Prof. Dr. Steven Higgins

Abgabetermin: 23. Juli 2009

Mona Christ
Weinstraße 6
56332 Oberfell

B.Sc. Geographie – Schwerpunkt Physische Geographie
6. Fachsemester
Matrikelnummer: 3367669

Abstract

140 Liter Wasser werden für die Herstellung einer Tasse Kaffee benötigt, 1.300 Liter Wasser für ein Kilo Gerste und 3.400 Liter Wasser für ein Kilo Reis. Diese Zahlen mögen im ersten Moment unglaublich erscheinen, doch sie entsprechen der Wirklichkeit. Für die Herstellung von nahezu allen Produkten wird Wasser in teils sogar sehr großen Mengen benötigt. In dem Endprodukt jedoch findet sich meist nur ein kleiner Teil des ursprünglich eingesetzten Wassers in seiner physischen Form wieder. Der überwiegende Anteil wurde während des Produktionsprozesses verdunstet oder zur Kühlung eingesetzt und wird daher als „virtuelles Wasser“ bezeichnet. Aufgrund des Exports und Imports von Produkten im Zuge des internationalen Handels kommt es somit auch zu Strömen von virtuellem Wasser zwischen den einzelnen Ländern. In dieser Bachelorarbeit wird der virtuelle Wasserhandel mit 23 verschiedenen Feldfrüchten mit dem Fokus auf Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 untersucht. In die Berechnung dieser virtuellen Wasserströme ist ein neuartiges Modell eingegangen, das Global Crop Water Model (GCWM), welches den virtuellen Wassergehalt für unterschiedliche Feldfruchtgruppen global für jede 5-Minuten-Zelle auf Basis detaillierter Daten berechnet. Dank dieses Modells ist es möglich, eine Trennung zwischen dem virtuellen Wasser, welches aus der Nutzung des Niederschlagswassers und dem virtuellen Wasser, welches aus der Bewässerung von Ackerflächen resultiert, vorzunehmen und diese getrennt von einander zu analysieren. Mittels der Verwendung der Handelsstatistik Comtrade der Vereinten Nationen lässt sich aus den Ergebnissen des GCWM der virtuelle Wasserhandel darstellen. Es zeigt sich, dass Deutschland das meiste Wasser in seiner virtuellen Form nach Algerien, Saudi-Arabien, Belgien und in die Niederlande exportiert, wohingegen aus Brasilien, den USA, Frankreich und der Elfenbeinküste die größten virtuellen Wassermengen importiert werden.

140 litres of water are used for producing one cup of coffee, 1.300 litres for producing one kilogram of barley and 3.400 litres for producing one kilogram of rice. These figures may not sound credible at first glance, but they are in fact reality. Water is needed for the production of almost all commodities, generally in large amounts. However, in the finished product there is usually only a small proportion of this water left. Most of the water evaporates during the production process or is used for cooling and is therefore called “virtual water”. Because of the export and import of commodities in the course of international trade there is also a flow of virtual water between the nations. In this bachelor thesis the virtual water trade of 23 different crop classes will be analysed, the focus will hereby be on Germany during the period of 1998 to 2002. A new model is assumed in the calculation of virtual water flows, the Global

Crop Water Model (GCWM). It is a model which calculates the virtual water content for each crop class at a spatial resolution of 5-arc-cells at a global scale on the basis of detailed data. From this model, it is possible to differentiate and later analyse the virtual water flow, which results from the use of precipitation and the irrigation of land. With the help of the United Nations Commodity Trade Statistic Database (UN Comtrade) it is possible to visualise virtual water trade. It appears, that Germany exports most of its virtual water embedded in crops to Algeria, Saudi-Arabia, Belgium and the Netherlands whereas it imports most of its virtual water from Brazil, the USA, France and the Cote d'Ivoire.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
1 Einleitung	8
2 Datengrundlage und Methoden	12
2.1 Global Crop Water Model – GCWM.....	12
2.1.1 Global data set of monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000 - MIRCA2000.....	12
2.1.2 Klima- und Bodendaten	13
2.1.3 Modellierung des pflanzenspezifischen grünen und blauen konsumtiven Wasserbedarfs	13
2.1.4 Bestimmung des virtuellen Wassergehalts	14
2.1.5 Bewertung der Daten.....	15
2.2 United Nations Commodity Trade Statistics Database – UN Comtrade.....	15
2.3 Berechnung des Virtuellen Wasserhandels.....	18
2.4 Darstellung der Ergebnisse in einem Geographischen Informationssystem (GIS).....	18
2.5 Beschreibung weiterer verwendeter Daten	19
3 Ergebnisse	20
3.1 Allgemeine Betrachtung des virtuellen Wasserhandels.....	20
3.2 Differenzierung des virtuellen Wassers in grünes und blaues Wasser	23
3.3 Virtueller Wasserhandel aufgrund der sieben wichtigsten Getreidesorten.....	28
3.4 Virtueller Wasserhandel aufgrund von Feldfrüchten, die nicht in Deutschland angebaut werden.....	31
3.5 Vergleich des virtuellen Wasserhandels Deutschlands mit Industrie- und Entwicklungs- ländern	34
3.6 Bilanzierung des Imports und Exports.....	36

4 Diskussion.....	38
4.1 Bewertung der Modellergebnisse.....	38
4.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Ergebnissen.....	38
4.2.1 Vergleich mit den Ergebnissen des virtuellen Wasserhandels zwischen Nationen.....	39
4.2.2 Virtueller Wasserhandel von Deutschland mit den Niederlanden und Marokko	40
5 Schlussfolgerung.....	42
6 Literatur.....	44
7 Anhang.....	46
7.1 Glossar	46
7.2 Übersicht des virtuellen Wasserhandels Deutschlands mit allen Partnerländern.....	47
8 Eigenständigkeitserklärung.....	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die Struktur der Berechnung des pflanzenspezifischen grünen und blauen konsumtiven Wasserbedarfs.....	14
Abbildung 2: Darstellung des gesamten virtuellen Wasserexports von Deutschland in dessen Partnerländer für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	20
Abbildung 3: Darstellung des gesamten virtuellen Wasserimports von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	22
Abbildung 4: Darstellung des Anteils des grünen virtuellen Wassers am gesamten Export von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	24
Abbildung 5: Darstellung des Anteils des grünen virtuellen Wassers am gesamten Import von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	26
Abbildung 6: Darstellung des Wasserknappeitsindikators	27
Abbildung 7: Darstellung des Anteils der sieben Getreidesorten am gesamten virtuellen Wasserelexport von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	28
Abbildung 8: Darstellung des Anteils der sieben Getreidesorten am gesamten virtuellen Wasserimport von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	29
Abbildung 9: Darstellung des Anteils des Reis am gesamten virtuellen Wasserimport von Deutschland aufgrund von Getreide im Zeitraum von 1998 bis 2002.....	31
Abbildung 10: Darstellung des Anteils der (sub-)tropischen Feldfrüchte am gesamten virtuellen Wasserimport von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	33
Abbildung 11: Darstellung des Anteils des grünen virtuellen Wassers der (sub-)tropischen Feldfrüchte an deren gesamter Produktion im Zeitraum von 1998 bis 2002.....	34
Abbildung 12: Darstellung der Klassifizierung des Bruttonutzenprodukts pro Einwohner.....	35
Abbildung 13: Bilanzierung des Import- und Exportvolumens des virtuellen Wassers in den Partnerländern Deutschlands für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Differenz zwischen gemeldetem Warenvolumen am Beispiel des Weizenexport von Deutschland für das Jahr 2000.....	16
Tabelle 2: Übersicht der 23 zu untersuchenden Feldfruchtgruppen.....	17
Tabelle 3: Einteilung der Einkommensklassen auf Grundlage des BSP pro Kopf	19
Tabelle 4: Exportvolumen des virtuellen Wassers für die Jahre 1998 bis 2002.....	21
Tabelle 5: Importvolumen des virtuellen Wassers für die Jahre 1998 bis 2002.....	23
Tabelle 6: Deutsche Importe virtuellen Wassers aus den am virtuellen Wasserhandel mit Reis beteiligten Länder für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	30
Tabelle 7: Importvolumen der tropischen und subtropischen Feldfrüchte und der daraus resultierende virtuelle Wasserimport für den Zeitraum von 1998 bis 2002.....	32
Tabelle 8: Übersicht des virtuellen Wasserhandels von Deutschland mit allen Partnerländern für den Zeitraum 1998 bis 2002.....	47

1 Einleitung

Im Zuge der Globalisierung rückt die Welt immer mehr zusammen. Staaten sind nicht nur mehr auf das angewiesen, was sie selbst produzieren, sondern können auch Waren aus anderen Ländern auf der ganzen Welt beziehen. Das macht es uns möglich, auch hier in Deutschland den Morgen mit einem Kaffee zu beginnen und im Winter frische Früchte genießen zu können. Das Thema der Globalisierung beschäftigt die Wissenschaft und Öffentlichkeit schon seit Langem. Die Hauptmotive der Diskussion sind vor allem die Balance zwischen einem wirtschaftlichen Wachstum und dem Erhalt der Umwelt, der Sicherung der Lebensgrundlage und die Gleichheit zwischen den Menschen und Generationen. Ein relativ neuer Aspekt innerhalb dieser Diskussion ist die Globalisierung von Wasserressourcen (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2008: x).

Dass jeder von uns mit seinen Konsumgewohnheiten die Wasserressourcen anderer Länder indirekt beeinflusst, ist den wenigsten bewusst. Doch aufgrund des internationalen Handels mit landwirtschaftlichen und auch industriellen Gütern geschieht dies permanent. Mit dem Kauf von brasilianischen Trauben, kolumbianischem Kaffee oder in den USA produzierten Erdnüssen üben die Konsumenten, wenn auch sicher unbeabsichtigt, einen immensen Druck auf die hydrologischen Systeme der Exportstaaten aus (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2008: 1).

Das im bundesdeutschen Durchschnitt pro Tag von jedem Einwohner im Haushalt ca. 115 l Wasser verbraucht werden (BUNDESUMWELTAMT 2007), ist für die meisten noch nachvollziehbar. Schließlich benötigen wir das Wasser zum Kochen, Putzen, Waschen und Trinken. Dies spiegelt jedoch keinesfalls die wirkliche Wassernutzung eines jeden Einzelnen pro Tag wieder. Denn bei diesen 115 l ist nicht berücksichtigt, dass „jedes Produkt und jede Dienstleistung [...] bei der Herstellung je nach Standort, klimatischen Verhältnissen und Produktionsbedingungen eine bestimmte Menge Wasser [erfordert] – zum Beispiel Bewässerungs- und Regenwasser bei der Produktion von Nahrungsmitteln, Wasser als Kühl- und Verdünnungsmittel bei der Herstellung von Industriegütern oder einfach das Wasser, das für die Versorgung der Menschen in einem Bürogebäude benötigt wird.“ (HUMMEL ET AL. 2008: 61). Damit beträgt die tatsächliche Wassernutzung der Deutschen pro Tag und Einwohner mehr als 4.200 l (WATERFOOTPRINT NETWORK 2009). Wir nutzen das Wasser in Form von virtuellem Wasser.

Virtuelles Wasser bezeichnet somit die Menge des Wassers, welches genutzt wird, um ein Produkt herzustellen (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2008: 2). „Physisch ist nun aber das für seine Erzeugung eingesetzte Wasser im Endprodukt nicht mehr oder allenfalls nur noch zu geringen Anteilen enthalten – daher die Bezeichnung »virtuell«. (HUMMEL ET AL. 2008: 61). Der virtuelle Wassergehalt unterscheidet sich jedoch von Produkt zu Produkt und hängt ebenfalls

im besonderen Maße davon ab, wo dieses hergestellt wurde, denn die klimatischen Verhältnisse und die Produktionstechnik beeinflussen den virtuellen Wassergehalt sehr (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2008: 13). Durchschnittlich werden für den Anbau von beispielsweise einem Kilogramm Weizen 1.000 Liter Wasser genutzt, für ein Kilogramm Käse 5.000 Liter und zur Produktion von einem Kilogramm Rindfleisch sogar 15.000 Liter. Weitaus mehr virtuelles Wasser erfordert die Fertigung von industriellen Gütern, z.B. eines T-Shirts mit 2.700 Litern, oder die Herstellung von einem Paar Schuhe mit 8.400 Litern. (HUMMEL ET AL. 2008: 61). „In jeder Handelsaktion findet somit auch ein indirekter Handel mit den im Produktions- oder Dienstleistungsprozess genutzten Wasserressourcen statt. Es wird daher auch vom »virtual water trade«, vom »virtuellen Wasserhandel« gesprochen.“ (HUMMEL ET AL. 2008: 61).

Der Wassereinsatz für die Produktion von Feldfrüchten beläuft sich pro Jahr auf etwa 16.500 km³, wobei 14.000 km³ aufgrund des Niederschlags und weitere 2.500 km³ durch zusätzliche Bewässerung auf die Felder gelangt. Von diesen 14.000 km³ verdunsten wiederum 6.500 km³ bei dem landwirtschaftlichen Anbau, wovon 80% Niederschlagswasser sind. „Für die Wasserressourcen am schonendsten ist es, wenn die Pflanzen das zu ihrer Bewässerung eingesetzte Wasser vollständig aufnehmen und verdunsten.“ (DÖLL 2008: 57). „Die Wassernutzung wird aus Wasserressourcen gespeist: Das sind jährlich 110.000 km³ Niederschlag auf den Landflächen der Erde (ohne Antarktis).“ (DÖLL 2008: 57).

Das Niederschlagswasser, welches auf Ackerflächen verdunstet und so die Produktion von Feldfrüchten ermöglicht, wird als grünes Wasser bezeichnet (DÖLL 2008: 55). Falls das Niederschlagswasser für die Produktion von Feldfrüchten nicht ausreichend ist, was besonders in ariden und semi-ariden Regionen der Fall ist, wie z.B. im Mittelmeerraum oder der Mitte und dem Westen der USA, dann wird Wasser aus Flüssen, Seen und dem Grundwasser entnommen, was zumeist durch Pumpen geschieht, und zur Bewässerung auf die Felder aufgetragen. Dieses Wasser wird als blaues Wasser gekennzeichnet. Blaues Wasser kann jedoch auch für die Wasserversorgung von Haushalten oder Industriebetrieben genutzt werden und somit konkurrieren die Nutzungsmöglichkeiten um dieses Gut (DÖLL 2008: 55f.). Weiterhin kann die Entnahme von blauem Wasser zu einer Verringerung des Durchflusses in Flüssen führen und sich somit negativ auf die aquatischen Ökosysteme und die ufernahe Vegetation auswirken (SIEBERT, DÖLL 2009: 3). Die Wassermenge des entnommenen blauen Wassers, welche bei der Nutzung verdunstet wird, wird als konsumtiv genutzte Wassermenge bezeichnet. Sie geht durch die Verdunstung bei der Wassernutzung für andere Nutzer verloren (DÖLL 2008: 55).

Das Konzept des virtuellen Wassers und des virtuellen Wasserhandels wurde 1998 durch John A. Allan eingeführt. Er untersuchte die Möglichkeit ob durch den Import von wasserintensiven Gütern die nationalen Wasserressourcen eines wasserknappen Landes im Nahen Osten geschont werden könnten (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2008: 3). „Strategisch eingesetzt,

kann der virtuelle Wasserhandel – unter bestimmten ökologischen, ökonomischen, politisch-institutionellen und soziokulturellen Bedingungen – zu einem Ausgleich des Wasserdefizits in regenarmen Ländern beitragen. Die Grundidee ist, dort die Volkswirtschaft sektoral so umzustellen, dass vornehmlich wassergünstige Güter produziert werden und solche, deren Herstellung wasserintensiv ist, vermehrt aus wasserreichen Regionen importiert werden (HUMMEL ET AL. 2008: 61).

Im Jahr 2002 wurde das Konzept des Wasser-Fußabdrucks (water-footprint concept) durch Hoekstra und Hung eingeführt. Dieser gilt als Indikator für die Auswirkungen des menschlichen Konsums auf die globalen Süßwasserressourcen. Er zeigt somit die Wassernutzung in Relation zum Verbrauch innerhalb eines Landes, wohingegen ältere Konzepte die Wassernutzung in Relation zur Produktion innerhalb eines Landes darstellten. Dabei werden nicht nur die Wasserressourcen, welche innerhalb eines Staates für die Produktion von Gütern aufgewendet werden betrachtet, sondern auch die Wasserressourcen der Güter, welche in anderen Staaten hergestellt und importiert wurden (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2008: 3f.).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den virtuellen Wasserhandel und damit die virtuellen Wasserströme mit dem Fokus auf Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 darzustellen und zu analysieren. Es soll gezeigt werden, aus welchen Ländern Deutschland virtuelles Wasser bezieht, in welche es dieses exportiert und welche Bilanz sich dadurch ergibt. Dies soll zu einer Bewertung des Konsumverhaltens der Deutschen führen, wobei abschließend einige Empfehlungen getroffen werden, damit die Wasserressourcen in Deutschland und seinen Partnerländern möglichst nachhaltig genutzt werden können.

Als Datengrundlage liegen die Modellergebnisse des Global Crop Water Models (GCWM) vor, einem Modell, welches auf Basis von Landnutzungs-, Klima- und Bodendaten die pflanzenspezifische konsumtive Wassernutzung und damit den virtuellen Wassergehalt für insgesamt 26 unterschiedliche Feldfruchtgruppen auf globaler Skala mit einer Auflösung von fünf Minuten modelliert (SIEBERT, DÖLL 2009: 4f.). Mittels der UN Comtrade Daten, einer Handelsstatistik der Vereinten Nationen, werden die virtuellen Wasserströme zwischen den Ländern berechnet.

Nachdem eine allgemeine Darstellung der Ergebnisse vorgenommen wurde, sollen diese auf unterschiedliche Thesen hin überprüft werden:

- Da es mit der verwendeten Datengrundlage möglich ist, den virtuellen Wasserhandel sowohl für den Handel mit grünem als auch mit blauem Wasser darzustellen, soll diese Differenzierung betrachtet werden. Es wird der Frage nachgegangen, welcher Anteil des für den Export bestimmten virtuellen Wassers in Deutschland mittels grünem Wasser produziert wurde und ob und wie viel grünes und blaues Wasser aus den Partnerländern

Deutschlands importiert wird. Der zuletzt genannten Analysepunkt soll vor allem vor dem Hintergrund der Wasserknappheit in den Partnerländern untersucht werden. Es soll analysiert werden, ob aus wasserknappen Ländern tatsächlich mehr blaues virtuelles Wasser importiert wird als aus wasserreichen Ländern und, wenn ja, zu welchem Anteil.

- Weiterhin sollen die Ergebnisse für den virtuellen Wasserhandel, welcher aufgrund des Handels mit unterschiedlichen Getreidesorten entsteht, näher betrachtet werden. Eine Sonderstellung innerhalb des Getreides nimmt Reis ein. Da dies die einzige der in dem Modell betrachteten Getreidesorten ist, welche nicht in Deutschland angebaut wird, wird der virtuelle Wasserhandel von Reis zusätzlich getrennt zum restlichen Getreide behandelt.
- Zudem gibt es außer Reis noch eine Reihe von Feldfrüchten, welche laut GCWM nicht in Deutschland angebaut werden. Dies sind allesamt Güter, deren natürliche Wachstumsbedingungen in der subtropischen und tropischen Klimazone gegeben sind. Wie viel virtuelles Wasser aufgrund des Handels mit diesen Feldfrüchten von Deutschland importiert wird, soll geklärt werden.
- Ebenfalls soll der Frage nachgegangen werden, ob es Unterschiede bei den Exporten und Importen Deutschlands gibt, die im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Lage der Handelspartner stehen. Wird virtueller Wasserhandel mit ähnlich weit entwickelten Ländern in größerem Umfang betrieben oder gibt es zwischen Industrie- und Entwicklungsländern keine Unterschiede.
- Abschließend wird eine Bilanzierung des virtuellen Wasserhandels mit dem Fokus auf Deutschland vorgenommen. Hieraus sollen die Nettoexporte und -importe in Bezug auf die einzelnen Handelspartner ersichtlich werden.

Im Folgenden sollen die den Berechnungen zu Grunde liegenden Daten eingehend dargestellt und die zur Berechnung der Ergebnisse verwendeten Methoden erläutert werden. Daran anschließend werden die Ergebnisse beschrieben und analysiert. In der darauf folgenden Diskussion werden die Ergebnisse der Berechnung kritisch bewertet und mit den Ergebnissen zweier anderer Studien zum Thema virtuelles Wasser und virtueller Wasserhandel verglichen. Die Schlussfolgerung soll abschließend die Ergebnisse der Arbeit zusammenfassen und es soll versucht werden, auf Basis der Ergebnisse eine Empfehlung für das Konsumverhalten der Deutschen auszusprechen. Am Ende der Arbeit finden sich ein Glossar, welches die Schlüsselwörter der Arbeit noch einmal erklärt, sowie eine Tabelle der Export- und Importvolumen von Deutschland, den Anteilen des grünen virtuellen Wassers an diesen, sowie die daraus resultierende Bilanz des virtuellen Wassers von Deutschland mit seinen Partnerländern wieder.

2 Datengrundlage und Methoden

Im folgenden Kapitel werden die in der Arbeit verwendeten Datengrundlagen und die Methoden der Aufbereitung dieser Daten beschrieben. Als Datengrundlage dienten neben Modellergebnissen des Global Crop Water Models auch Handelsdaten der UN sowie Daten zu dem Bruttoinlandsprodukt der Länder von der Weltbank und eine Shapefile bezüglich der Wasserknappheit von Einzugsgebieten. Aufbereitet wurden die Daten mittels Excel und einem geographischen Informationssystem.

2.1 Global Crop Water Model – GCWM

Das Global Crop Water Model (GCWM) ist ein neu entwickeltes Modell zur Modellierung der konsumtiven Wassernutzung und damit auch des virtuellen Wassergehalts von 26 unterschiedlichen Feldfruchtgruppen in einer räumlichen Auflösung von fünf mal fünf Minuten (SIEBERT, DÖLL 2009: 1). Der Vorteil an diesem globalen Modell ist, dass eine Unterscheidung zwischen dem, zur Produktion der Feldfrüchte eingesetzten, grünen und blauen virtuellen Wasser gemacht wird. Diese Unterscheidung von grünem und blauem Wasser kann nur von einigen wenigen Modellen vollzogen werden (SIEBERT, DÖLL 2009: 3). Eine Unterscheidung zwischen den beiden Arten von virtuellem Wasser ist jedoch wichtig und sinnvoll, da dem grünen und dem blauen Wasser, wie bereits geschildert, unterschiedliche Opportunitätskosten zu Grunde liegen (SIEBERT, DÖLL 2009: 3).

Nachfolgend sollen die Daten beschrieben werden, welche in das GCWM eingeflossen sind. Die Berechnung des grünen und blauen konsumtiven Wasserbedarfs sowie die des virtuellen Wassergehalts der Feldfruchtgruppen werden ebenfalls erläutert.

2.1.1 Global data set of monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000 - MIRCA2000

Für die im GCMW betrachteten 26 Feldfruchtgruppen stammen die Daten zu deren Anbauflächen, deren Anbauzeitraum sowie die Information, ob die Flächen zusätzlich bewässert werden oder nicht, aus dem Datensatz MIRCA2000. Die Daten sind aus der Kombination von verschiedenen nationalen und subnationalen Statistiken unterschiedlichster Auflösung entstanden und liegen nun in einer Auflösung von 5-Minuten-Zellen (SIEBERT, DÖLL 2009: 5) und für den Zeitraum von 1998 bis 2002 vor (SIEBERT, DÖLL 2009: 14).

2.1.2 Klima- und Bodendaten

Die Informationen zu Klima und Böden in den unterschiedlichen Regionen der Erde entstanden ebenfalls durch Kombination von verschiedenen Daten. Dabei flossen Daten zu den monatlichen Niederschlägen, der Anzahl der Regentage, den Durchschnittstemperaturen, der täglichen Temperaturamplitude und der Bewölkung in einer Auflösung von 30 Minuten mit ein. Diese wurden, um an die gewünschte Auflösung von 5 mal 5 Minuten zu gelangen, mit langjährigen Zeitreihen des Niederschlags, der Anzahl der Regentage, der täglichen Temperaturamplitude, Sonnenscheinanteil, Windgeschwindigkeit und der relativen Feuchte in einer Auflösung von 10 mal 10 Minuten sowie der Höhenlage in der Auflösung von 5 mal 5 Minuten kombiniert (SIEBERT, DÖLL 2009: 6).

Die Daten der Bodenwasserkapazität stammen aus der Version 1.1 des ISRIS-WISE Modells. Dieses liefert die gewünschte Information in einer Auflösung von 5 mal 5 Minuten und ist global verfügbar (SIEBERT, DÖLL 2009: 6).

2.1.3 Modellierung des pflanzenspezifischen grünen und blauen konsumtiven Wasserbedarfs

Um die grüne und blaue konsumtive Wassernutzung der Feldfrüchte zu modellieren, wurde für jede der 5-Minuten-Zellen für jeden Tag des Zeitraums zwischen 1998 bis 2002 eine Bodenwasserhaushaltsgleichung aufgestellt. In ihrer generalisierten Form lautet diese (SIEBERT, DÖLL 2009: 6):

$$\Delta S = P_{\text{eff}} + I - R - ET \quad [\text{Gl. 1}]$$

mit: ΔS = Änderung des Bodenwassergehalts in der effektiven Wurzelzone (mm d^{-1})
 P_{eff} = Niederschlagswasser, welches in den Boden infiltriert (mm d^{-1})
 I = Menge an aufgetragenem Bewässerungswasser (mm d^{-1})
 R = Abfluss (mm d^{-1})
 ET = Evapotranspiration (mm d^{-1})

Welche Ansätze den Bestimmungen der einzelnen Parameter zu Grunde liegen und wie sich z.B. der Einfluss von Niederschlag in Form von Schnee auswirken, können in detaillierterer Form in Siebert und Döll (2009) nachgelesen werden.

Die oben dargelegte Gleichung stellt, wie bereits erwähnt, nur eine generalisierte Bodenwasserhaushaltsgleichung dar. Im Modell werden die Änderungen innerhalb des Bodenwasserspeichers mittels differenzierter Gleichungen modelliert. So müssen innerhalb des Modells für jede Feldfruchtgruppe Anbauflächen, welche nicht für die Bewässerung der dort angebauten Früchte ausgestattet sind, von solchen unterschieden werden, auf denen eine zu-

sätzliche Bewässerung möglich ist. Auf den Flächen, auf denen bewässert werden kann, wird aufgrund der MIRCA2000 Daten in die Modellierung mit einbezogen, welche Früchte überhaupt, zu welchem Zeitpunkt und wie lange bewässert werden. Weiterhin müssen brach liegende Flächen modelliert werden (SIEBERT, DÖLL 2009: 10), da auch diese einen wesentlichen Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt ausüben. Wann dies der Fall ist, ist ebenfalls dank der MIRCA2000 Daten bekannt. Eine Übersicht über die Struktur der Berechnung des pflanzenspezifischen grünen und blauen konsumtiven Wasserbedarfs gibt die nachfolgende Abbildung (Abb. 1).

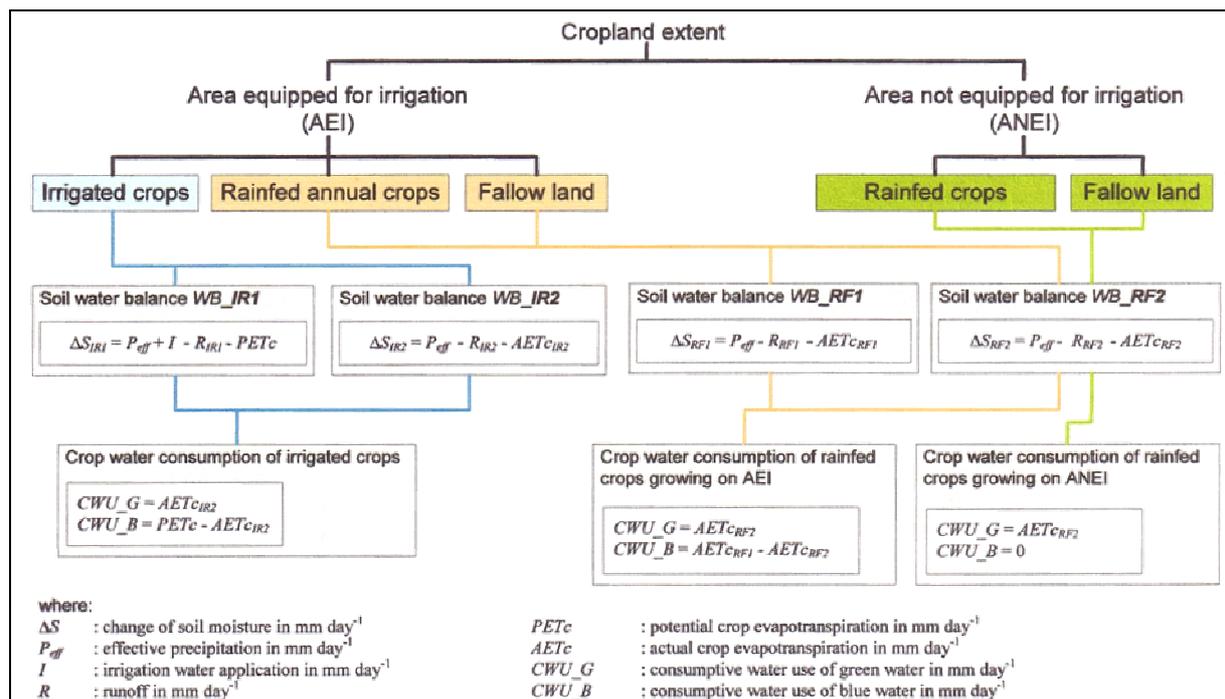


Abbildung 1: Übersicht über die Struktur der Berechnung des pflanzenspezifischen grünen und blauen konsumtiven Wasserbedarfs (SIEBERT, DÖLL 2009: o.S.)

2.1.4 Bestimmung des virtuellen Wassergehalts

Der virtuelle Wassergehalt einer Feldfrucht entspricht der Menge an Wasser, welche zur Produktion dieser eingesetzt wurde (SIEBERT, DÖLL 2009: 13). Berechnet wird der virtuelle Wassergehalt mittels der folgenden Gleichung:

$$WVC_T = CWU_T / PT \quad [Gl. 2]$$

mit: WVC_T = Virtueller Wassergehalt einer Feldfrucht ($m^3\ Mg^{-1}$)
 CWU_T = gesamter konsumtiver Wassergehalt einer Feldfrucht ($m^3\ Jahr^{-1}$)
 PT = jährliche Gesamtproduktion einer Feldfrucht ($Mg\ Jahr^{-1}$)

Auf Basis der selben Gleichung wurde der grüne und blaue virtuelle Wassergehalt von Feldfrüchten berechnet (SIEBERT, DÖLL 2009: 13).

Weil die Daten des virtuellen Wassergehalts der Feldfrüchte in einer Auflösung von fünf mal fünf Minuten vorliegen, für diese Arbeit jedoch Berechnungen auf Basis der Länder angestellt werden, wurden die Daten zuvor schon auf Länderebene gebracht. Die Berechnungen des virtuellen Wasserhandels in dieser Arbeit basieren dementsprechend auf Mittelwerten des virtuellen Wassergehaltes der Feldfrüchte einer Feldfruchtgruppe aller Zellen innerhalb einer Landesgrenze. Die Modellergebnisse des GCWM liegen für diese Arbeit nunmehr in Form einer Excel-Datei vor, die jeweils ein Tabellenblatt des grünen und blauen virtuellen Wassergehalts der 23 untersuchten Feldfruchtgruppen sowie ein Tabellenblatt der gesamten Produktion einer Feldfrucht für die Jahre 1998 bis 2002 innerhalb der Länder enthält.

2.1.5 Bewertung der Daten

Im Vergleich zu dem aus dem Jahr 2004 stammenden Modell von Hoekstra und Chapagain, welches den virtuellen Wassergehalt und den virtuellen Wasserhandel von 175 verschiedenen Feldfrüchten und 210 Ländern modelliert, zeichnet sich das GCWM durch verschiedene Stärken gegenüber diesem Modell aus. Zum einen verwenden Hoekstra und Chapagain für die Länder Klimavariablen, die auf Durchschnittswerten eines Landes basieren. Somit kommt es vor allem bei Ländern, welche sich über mehrere und sehr unterschiedliche Klimazonen erstrecken (z.B. China, USA) zu ungenauen Annahmen des virtuellen Wassergehalts einer Feldfrucht. Weiterhin werden keine Grenzen der Wasserverfügbarkeit mit in das Modell einbezogen, was dazu führen kann, dass der pflanzenspezifische Wasserbedarf zu hoch modelliert wird. In dem Modell von Hoekstra und Chapagain wird zudem keine Unterscheidung zwischen grünem und blauem Wasser vorgenommen (SIEBERT, DÖLL 2009: 3).

Neben dem Global Crop Water Model gibt es noch einige wenige andere Modelle, welche eine Unterscheidung des pflanzenspezifischen grünen und blauen Wassergehalt auf globaler Ebene modellieren können. Die Ergebnisse dieser Modelle, welche in unterschiedlichen Auflösungen vorliegen, hängen vor allem von den verschiedenen Input-Daten ab, darunter besonders von der Anbaufläche der Feldfrüchte sowie von der Unterscheidung zwischen bewässertem und nicht bewässertem Anbau (SIEBERT, DÖLL 2009: 3).

2.2 United Nations Commodity Trade Statistics Database – UN Comtrade

Die Angaben zu den internationalen Im- und Exportvolumina von und nach Deutschland für die 23 Feldfruchtgruppen liefert die UN Comtrade. Die United Nations Commodity Trade Sta-

tistics Database, eine Datenbank der Vereinten Nationen, ist das größte und umfangreichste Verzeichnis von internationalen Handelsdaten weltweit und listet rund 1 Milliarde Einträge aus annähernd 200 Ländern auf. Die UN Comtrade beinhaltet sowohl allgemeine Informationen zu den importierenden und exportierenden Ländern, z.B. die Länderschlüssel und Länderkürzel nach ISO Norm, als auch detaillierte Angaben zu dem Gesamtvolumen der gehandelten Ware und deren geschätztem Wert. Neben der Auflistung von Gütern des täglichen Bedarfs, über Kleidung bis hin zu Autos und deren Zubehör- und Ersatzteilen sind seit dem Jahr 1962 sämtliche Informationen frei verfügbar und werden regelmäßig aktualisiert (UN COMTRADE 2009a).

Auch wenn die Datenbank die weltweit umfangreichste Sammlung von internationalen Handelsdaten darstellt, entsprechen deren Angaben nicht exakt der Wirklichkeit, denn die UN ist auf die Meldung der Handelsströme und Waren der einzelnen Länder angewiesen. Es kann jedoch vorkommen, dass diese der UN ihre Handelsstatistiken nicht jährlich melden. Weiterhin ist es möglich, dass die Daten in Einheiten gemeldet werden, die die UN nicht verwerten kann. Solche Daten erscheinen schließlich nicht in der Datenbank (UN COMTRADE 2009a).

Für die Analyse ist die Differenz zwischen gemeldetem Import- und Exportvolumen zweier Länder ein Erschwernis. Tabelle 1 zeigt an dem Beispiel des Weizenexport von Deutschland für das Jahr 2000, dass sich die Unterschiede teilweise auf mehr als 100,000 Tonnen belaufen können.

Tabelle 1: Differenz zwischen gemeldetem Warenvolumen am Beispiel des Weizenexport von Deutschland für das Jahr 2000 (eigene Darstellung 2009, Quelle: UN Comtrade 2009)

Export-Partner	Exportvolumen (t)	Import-Partner	Importvolumen (t)	Differenz (t)
Deutschland	0	Bulgarien	12	12
Deutschland	5.844	Albanien	10.006	4.162
Deutschland	902.355	Niederlande	892.382	9.973
Deutschland	973.405	Algerien	929.786	43.619
Deutschland	357.340	Italien	508.387	151.047

Eine Antwort auf die Frage nach der Entstehung solcher teils recht großer Differenzen gibt der Internetauftritt der UN Comtrade. Hauptverantwortlich für die Unterschiede sind zum einen, dass die Daten unabhängig von zwei unterschiedlichen Regierungen, nämlich der des exportierenden und der des importierenden Landes, der UN gemeldet werden. Weiterhin können zeitliche Gründe für die Abweichungen angenommen werden. So kann ein Land seine Waren beispielsweise im Jahr 1998 exportieren, tatsächlich registriert und importiert werden die Waren in dem Partnerland allerdings erst 1999. Ebenfalls können die Waren über Drittländer gehandelt werden oder seitens der Administrationen bestehen unterschiedliche Klassifikationen für die selbe Ware. Im Allgemeinen wird angenommen, dass die gelisteten Werte für die Importwaren den wirklichen Handelsströmen eher entsprechen, da es vorkom-

men kann, dass zum Zeitpunkt des Exportes das Zielland noch nicht bekannt ist (UN COMTRADE 2009b).

Auch die Daten der UN Comtrade lagen als Excel-Tabellenblätter vor. Insgesamt handelt es sich dabei um 180 Dateien, welche Daten zum Import und Export der verschiedensten Handelsgüter in dem Zeitraum zwischen 1998 bis 2002 beinhalten. Zu Beginn mussten somit die Daten für den internationalen Handel der 23 zu untersuchenden Feldfruchtgruppen, an welchem Deutschland beteiligt war, aus den Dateien selektiert werden. Das Ergebnis stellen 46 Dateien dar, welche die in Tabelle 2 dargestellten Feldfruchtgruppen umfassen, die jeweils den Exportwert von Deutschland und den dazugehörigen Importwert des Handelspartners bzw. den Importwert von Deutschland und den Exportwert des Handelspartners beinhalten.

Tabelle 2: Übersicht der 23 zu untersuchenden Feldfruchtgruppen (eigene Darstellung 2009, Quelle: GCWM)

Wheat and meslin	Weizen
Maize (grain/corn)	Mais
Rice	Reis
Barley	Gerste
Rye (grain)	Roggen
Millet	Hirse
Sorghum (grain)	Sorghum, Hirse
Soybeans	Sojabohnen
Sunflower seeds	Sonnenblumenkerne
Potatoes, fresh or chilled	Kartoffeln
Manioc (cassava), fresh or dried	Maniok
Sugar cane	Zuckerrohr
Sugar beets	Zuckerrüben
Oil palm (plam nuts and kernels)	Palmöl
Rape or colza seeds	Raps
Groundnuts (in shell, not roastes or cooked)	Erdnüsse
(Leguminous) Vegetables (fresh, shelled or dried)	Hülsenfrüchte
Citrus fruit, fresh or dried	Zitrusfrüchte
Dates, fresh or dried	Datteln
Grapes, fresh or dried	Trauben
Cotton (seeds)	Baumwolle
Cocoa beans (whole or broken, raw or roasted)	Kakao
Coffee (not roasted, not decaffeinated)	Kaffee

Um der Aussage der UN Comtrade Rechnung zu tragen, dass die Importwerte zuverlässiger seien als die Exportwerte, wurde ein Mittelwert zwischen den zusammengehörigen Import- und Exportwerten ermittelt, wobei die Importdaten doppelt gewichtet wurden. Somit ergibt sich jeweils ein Wert für die Handelsinteraktionen des Exports bzw. des Imports zwischen Deutschland und dessen Handelspartnern.

2.3 Berechnung des Virtuellen Wasserhandels

Um den virtuellen Wasserhandel zwischen Deutschland und seinen Handelspartnern zu berechnen, wird folgende Gleichung angewendet:

$$\text{Virtual Water Flow [m}^3\text{]} = \frac{(\text{Blue or Green})\text{Water Use per Crop [m}^3\text{]}}{\text{Total Crop Production [t]}} * (\text{Import or Export})\text{Netweight [t]} \quad [\text{Gl. 3}]$$

Die in die Gleichung eingehenden Daten liegen dank der Ergebnisse des GCWM und der Handelsstatistiken der UN Comtrade vor. Das Endprodukt der Berechnung besteht aus vier Excel-Tabellen, welche jeweils den grünen virtuellen Wasserhandel sowie die Werte des blauen virtuellen Wasserhandels aufgrund des Im- und Exportes von Deutschland und seinen Handelspartnern aufzeigt.

Kommt es zwischen Deutschland und einem anderen Land in einem Jahr nicht zu einer Handelsaktion, so beträgt der *Virtual Water Flow* Null. Ebenfalls nimmt der virtuelle Wasserhandel zwischen Deutschland und einem Handelspartner den Wert Null an, wenn der Wasserbedarf der Pflanzen nicht durch den Einsatz von grünem oder blauem Wasser gedeckt wird. Weiterhin kommt es bei der Berechnung des virtuellen Wasserhandels in vielen Fällen zur Division mit der Zahl Null, nämlich immer dann, wenn in einem Land der Anbau einer oder mehrere Feldfrüchte oder Feldfruchtgruppen nicht erfolgt. In diesen Fällen nimmt auch hier der *Virtual Water Flow* den Wert Null an.

2.4 Darstellung der Ergebnisse in einem Geographischen Informationssystem (GIS)

Um die Ergebnisse der Berechnung des virtuellen Wasserhandels zwischen Deutschland und seinen Handelspartnern auch graphisch zu präsentieren, wurden die vier Tabellen des Im- und Exports in ein Geographisches Informationssystem eingelesen. „Die Datenausgabe aus einem GIS ist die Darstellung von raumbezogenen Daten in Form von Karten, Diagrammen und Tabellen auf Bildschirm (auch im Internet), Papier oder in elektronischer Form (Multimedia).“ (LIEBIG, MUMMENTHEY 2008: 19). Die für die Erstellung der Karten verwendete Software ArcGIS-ArcView 9.3 stammt von der Firma ESRI.

Um den virtuellen Wasserhandel nach und von Deutschland ausgehend darzustellen, wurden die Excel-Tabellenblätter mittels des ISO Länderschlüssels der Länder mit der von der Firma ESRI mitgelieferten Shapefile der Erde verknüpft. Je nach der zu überprüfenden These ließen sich nun entsprechende Karten erstellen.

2.5 Beschreibung weiterer verwendeter Daten

Zur Beurteilung, ob ein Land unter Wasserknappheit leidet wurde eine Shapefile verwendet, welche global für jedes Einzugsgebiet einen Wert bereithält, der Auskunft über die Wasserknappheit in diesem Einzugsgebiet gibt. Der Wert wird berechnet, indem die jährliche Wasserentnahme durch die langjährige mittlere erneuerbare Wasserressource innerhalb eines Einzugsgebietes dividiert wird. Positive Werte bescheinigen eine Übernutzung der Wasserressourcen und gelten als Indiz für Wasserknappheit. Bei negativen Werten werden die Wasserressourcen innerhalb eines Einzugsgebietes nicht zu stark beansprucht, sodass die Ressource Wasser auch nachhaltig verfügbar ist. Da in dieser Arbeit Analysen auf Basis von Ländern angestellt werden, wurde ein Wert für die Wasserknappheit innerhalb eines Landes berechnet. Der Mittelwert pro Land wurde entsprechend der Gewichtung der Größe aller Einzugsgebiete innerhalb des Landes berechnet (vgl. Abb. 6).

Für die Erstellung der Karte (vgl. Abb. 12), deren Ergebnisse im Zusammenhange der unter Punkt 3.5 diskutierten These verwendet werden, wurden zusätzliche Daten benötigt. Diese Daten, welche das Bruttosozialprodukt (BSP) pro Einwohner aller Mitgliedsstaaten der Weltbank und von anderen Ländern mit einer Einwohnerzahl von mehr als 30.000 umfassen, stammen direkt von der Weltbank aus der *List of economies* (Stand: April 2009). Die Daten liegen kategorisiert vor, d.h., dass nicht von jedem Land der Zahlenwert des Bruttosozialproduktes bekannt ist, sondern, dass die Länder in vier verschiedene Einkommensklassen unterteilt sind (THE WORLD BANK 2009). Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Einteilung der Gruppen.

Tabelle 3: Einteilung der Einkommensklassen auf Grundlage des BSP pro Kopf (eigene Darstellung 2009, Quelle: THE WORLD BANK 2009)

Income group	Range (per capita)
low income	\$935 or less
lower middle income	\$936 – 3.705
upper middle income	\$3.706 – 11.455
high income	\$11.456 or more

3 Ergebnisse

Im folgenden werden die Ergebnisse der Berechnungen präsentiert und die zuvor in der Einleitung aufgestellten Thesen überprüft. Dazu wurden mittels des GIS zur Überprüfung jeder These eine oder mehrere Karten aus den beschriebenen Daten erstellt. Begonnen wird mit einer allgemeinen Betrachtung des virtuellen Wasserhandels mit dem Fokus auf Deutschland.

3.1 Allgemeine Betrachtung des virtuellen Wasserhandels

Insgesamt exportierte Deutschland laut den Berechnungen in den Jahren 1998 bis 2002 virtuelles Wasser in 148 von 231 in die Modellierung eingegangene Länder und Autonomieregionen. Damit beläuft sich der gesamte virtuelle Wasserhandel aufgrund des Exports von den 23 betrachteten Feldfruchtgruppen von Deutschland in die Welt auf einen Wert von 37 km³ (37 Millionen m³) und besitzt damit ein größeres Wasservolumen als der gesamte, durch den Hoover-Staudamm aufgestaute, Lake Mead, welcher sich im Westen der USA am Colorado befindet (ca. 35 km³ Volumen) (US DEPARTMENT OF THE INTERIOR 2008).

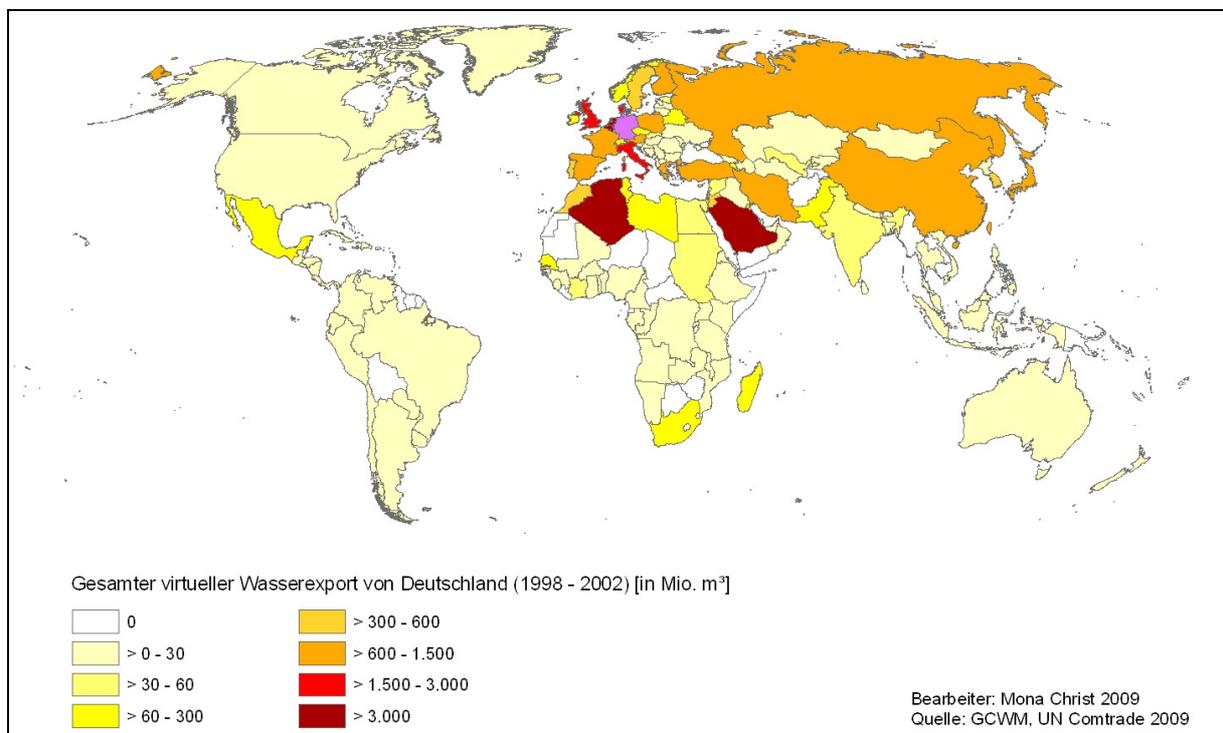


Abbildung 2: Darstellung des gesamten virtuellen Wasserexports von Deutschland in dessen Partnerländer für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

Zwar wurden 23 Feldfruchtgruppen mit Hilfe des Modells untersucht, tatsächlich exportierte Deutschland jedoch nur Güter aus 14 Gruppen. Zu den Feldfrüchten, welche in dem Zeit-

raum zwischen 1998 und 2002 nicht in Deutschland hergestellt wurden, zählen Reis, Maniok, Zuckerrohr, Erdnüsse, Datteln, Baumwolle, Kakao und Kaffee, also alles samt Produkte, welche vornehmlich in tropischen und subtropisch Regionen dieser Erde angebaut werden. Die klimatischen Verhältnisse in Deutschland lassen einen Anbau dieser Produkte unter natürlichen Bedingungen also nicht zu. Da die UN Comtrade Daten jedoch eine Exporttätigkeit Deutschlands mit einigen der 14 Feldfrüchte auflisten, bedeutet das, dass Deutschland in diesen Fällen als Drittland für den Handel mit diesen Produkten agiert. Nach dem Import der Güter werden diese also weiter in andere Staaten exportiert.

Neben den in Abbildung 2 zu erkennenden Ländern Saudi-Arabien und Algerien zählen auch Belgien und die Niederlande zu den Staaten, in welche das größte Volumen des virtuellen Wassers aus Deutschland exportiert wurde. Die Niederlande stellen mit einem Volumen von über 6 km³ den absoluten Spitzenreiter dar. Mit einem um ca. 2 km³ geringeren Volumen folgt Saudi-Arabien.

Durchschnittlich wurde in jedem Jahr des Betrachtungszeitraums ein Volumen von 7,45 km³ von Deutschland exportiert. Betrachtet man jedoch die exakten Werte für jedes Jahr, so lässt sich erkennen, dass es innerhalb dieser wenigen Jahre zu erheblichen Schwankungen des Exportvolumens kam. Die größte Menge virtuellen Wassers wurde im Jahr 2000 exportiert, 1998 am wenigsten (Tab. 4).

Tabelle 4: Exportvolumen des virtuellen Wassers für die Jahre 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009, Quelle: GCWM, UN Comtrade 2009)

Jahr	Exportvolumen des virtuellen Wassers in km ³
1998	5,09
1999	7,5
2000	9,45
2001	8,22
2002	6,99

Bei dieser undifferenzierten Gesamtbetrachtung des virtuellen Wasserexports Deutschlands lässt sich erkennen, dass der Großteil des virtuellen Wassers in Länder der Europäischen Union, nach Russland, China und in die Nicht-EU-Staaten des Mittelmeerraums exportiert wird. Dies liegt, im Fall der EU-Staaten, darin begründet, dass die Waren innerhalb der EU zollfrei gehandelt werden. Daneben spielt auch der Aspekt der geringen Entfernung (EU, Mittelmeerraum) eine Rolle für die Transportkosten und für schnell verderbliche Güter. Diese Beziehung trifft aber nicht für alle Fälle zu. So wird nach Mexiko, Südafrika und Madagaskar deutlich mehr virtuelles Wasser exportiert als in viele näher gelegenen Staaten.

Mit einem weltweiten Gesamtvolumen von fast 139 km³ virtuellem Wasser beträgt der Import des virtuellen Wassers aus dem Handel mit den 23 Feldfruchtgruppen von Deutschland mehr als das Dreieinhalbfache des Exports. Am Import des virtuellen Wassers von Deutschland sind insgesamt 155 Partnerländer beteiligt.

Das Bild des gesamten virtuellen Wasserimports gestaltet sich jedoch, nicht nur aufgrund der deutlich größeren Volumina, gegenüber dem des Exports sehr unterschiedlich. Auch in der Verteilung der Zugehörigkeit der Länder zu den höchsten Klassen gibt es große Differenzen. Bei einem direkten Vergleich der beiden Karten ist zudem darauf zu achten, dass aufgrund der deutlich höheren Importvolumina Deutschlands im Vergleich zum Export des virtuellen Wassers eine andere Einteilung der Klassen vorgenommen wurde.

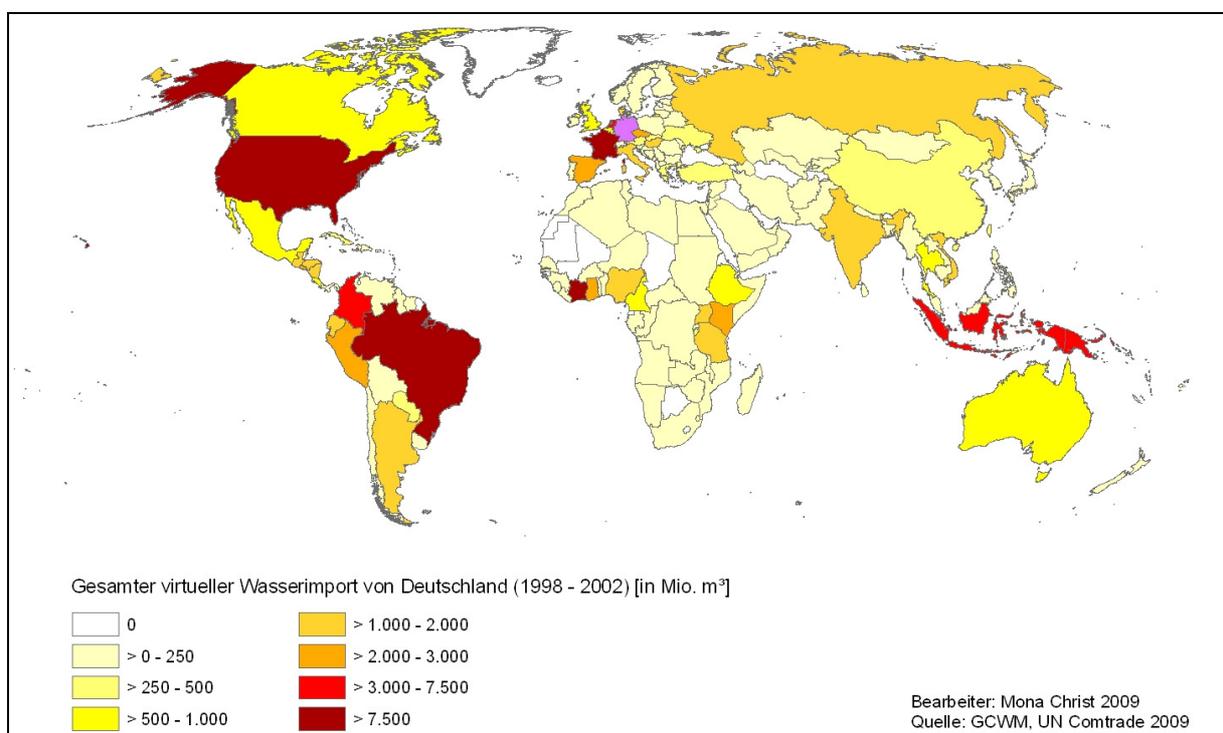


Abbildung 3: Darstellung des gesamten virtuellen Wasserimports von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigenen Darstellung 2009)

Bei der Klassifizierung der Importvolumina Deutschlands aus den verschiedenen Ländern sind die vier Hauptimportländer auf der Karte klar erkennbar. Neben den flächenmäßig recht großen Ländern Brasilien und den Vereinigten Staaten von Amerika, zählen auch Frankreich und die Elfenbeinküste dazu. Auch wenn Deutschland aus jedem der vier Länder mehr als 7,5 km³ virtuelles Wasser innerhalb der fünf Jahre importiert hat, so unterscheiden sich auch diese wieder deutlich voneinander. Mit etwas mehr als 8 km³ bildet die Elfenbeinküste die Untergrenze dieser höchsten Klasse. Frankreich und die USA folgen mit 10,7 bzw. 17,2 km³ virtuellem Wasser. Der Hauptimportpartner von virtuellem Wasser für Deutschland ist mit einem Gesamtvolumen von mehr als 30 km³ Brasilien. Damit entsprach das Volumen, das

Brasilien im Betrachtungszeitraum nach Deutschland exportierte, 80% des gesamten deutschen Exportvolumens zwischen 1998 bis 2002.

Der durchschnittliche Jahresimport des gesamten virtuellen Wassers von Deutschland für die untersuchten 23 Feldfruchtgruppen lag für die Jahre 1998 bis 2002 bei 27,77 km³. Im Falle des Imports kam es laut der Berechnung jedoch nicht zu solch großen Schwankungen der Volumina (Tab. 5) verglichen mit den Exporten.

Tabelle 5: Importvolumen des virtuellen Wassers für die Jahre 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

Jahr	Importvolumen des virtuellen Wassers in km ³
1998	27,11
1999	27,79
2000	26,89
2001	28,51
2002	28,55

Somit lässt sich schon zu Beginn der Analysen erkennen, dass Deutschland als Nettoimporteur von virtuellem Wasser gilt. Es wird somit mehr virtuelles Wasser importiert, als exportiert wird. Dies könnte zum einen daran liegen, dass Deutschland im Vergleich zu seiner recht kleinen Staatsfläche viele Einwohner hat und damit die Fläche für einen stärkeren Anbau von landwirtschaftlichen Produkten fehlt. Weiterhin konzentriert sich ein nicht unwesentlicher Teil des virtuellen Wasserimports auf Feldfruchtgruppen, welche aufgrund der klimatischen Beschränkungen nicht in Deutschland angebaut werden können.

Zudem ist festzuhalten, dass aus großen Staaten nicht unbedingt auch mehr importiert wird. Die Größe eines Staates ist somit nicht ausschließlich für das Gesamtvolumen des virtuellen Wasserhandels verantwortlich. So importiert Deutschland beispielsweise sehr viel mehr Wasser aus den Niederlanden als aus Italien. Wichtige Einflussfaktoren auf das Volumen des virtuellen Wasserhandels sind zudem sicherlich die Einwohnerdichte sowie der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Handelspartner.

3.2 Differenzierung des virtuellen Wassers in grünes und blaues Wasser

Wie bereits erwähnt, erlaubt die Datengrundlage des Global Crop Water Models eine Differenzierung des gesamten virtuellen Wassers in seine Anteile von grünem und blauem Wasser. Die in Deutschland im Untersuchungszeitraum zwischen 1998 bis 2002 produzierten und in andere Länder exportierten Produkte der 23 Feldfruchtgruppen wurden laut der Berechnungen im Durchschnitt fast ausschließlich mit Hilfe von grünem Wasser, also Niederschlagswasser, produziert, nämlich zu 99,33%. Einige Partnerländer Deutschlands erhielten

sogar ausschließlich Exportwaren, welche ohne Einsatz von Bewässerungswasser produziert wurden. Insgesamt belaufen sich diese Fälle auf eine Zahl von 41 von den 148 Exportpartnern (Abb. 4).

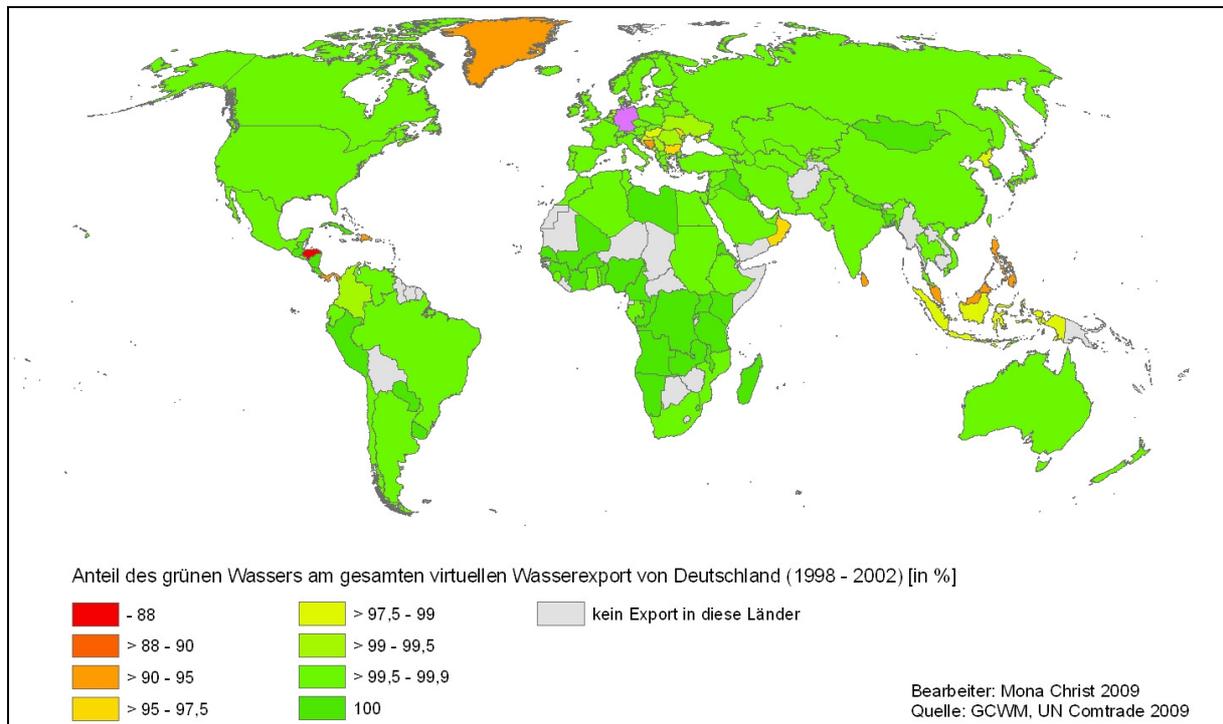


Abbildung 4: Darstellung des Anteils des grünen virtuellen Wassers am gesamten Export von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

Honduras ist das einzige Land, in welches Deutschland Waren exportiert, zu deren Herstellung weniger als 90% grünes Wasser eingesetzt wurde. Dies lässt sich damit erklären, dass Honduras nur im Jahr 1999 Waren von Deutschland bezogen hat und zudem auch nur Kartoffeln, was einen im Übrigen vergleichsweise sehr geringen gesamten virtuellen Wasserexport von etwas über 5.000 m³ von Deutschland nach Honduras für die gesamten fünf Jahre des Betrachtungszeitraumes ausmacht. Kartoffeln sind laut den Berechnungen die Feldfrüchte, die den höchsten Anteil an blauem Wasser an dem gesamten zur Produktion eingesetzten Wasser aufweisen und somit die Produkte, welche in ihrer Herstellung in Deutschland anteilmäßig am stärksten bewässert. Die Anteile des grünen virtuellen Wassers am Export aus Deutschland für Kartoffeln schwanken im Untersuchungsraum von 1998 bis 2002 zwischen 87,6% und 94,9%. Damit lassen sich auch die niedrigen Anteile des grünen virtuellen Wassers am Export von Deutschland in andere Länder erklären, wobei hier zusätzlich zu erwähnen ist, dass diese, wie z.B. Grönland, Malaysia oder Sri Lanka, jedoch neben Kartoffeln auch noch andere Güter importieren, welche teilweise zu 100% mit grünem Wasser produziert wurden und somit den Mittelwert des Anteils des grünen virtuellen Wassers der Länder anheben. Daher zählen diese Länder nicht wie Honduras zu der niedrigsten Klasse.

Insgesamt betrachtet lässt sich somit sagen, dass die Bewässerungswirtschaft in Deutschland nur einen eher geringen Beitrag zur Produktion der untersuchten 23 Feldfruchtgruppen aufweist. Der Niederschlag in den Wachstumsperioden ist wohl für die meisten Pflanzen ausreichend, um ein annähernd optimales Wachstum zu erzielen. Lediglich für die Produktion von Kartoffeln wird maximal etwa 12% des zur Produktion genutzten Wassers durch zusätzliche Bewässerung den Kartoffelpflanzen zugänglich gemacht.

Weiterhin zählt Deutschland zu den Ländern, in denen keine Wasserknappheit vorherrscht (vgl. Abb. 6). Der Wasserknappheitsindikator beträgt in Deutschland gewichtet nach den Flächen der gesamten Einzugsgebiete der Flüsse auf deutscher Staatsfläche 0,17. Damit wird zwar etwas mehr Wasser entnommen als im langjährigen Mittel gebildet wird, jedoch liegt Deutschland im Vergleich mit anderen europäischen Staaten damit im oberen Mittelfeld. Da der Anteil des grünen virtuellen Wassers am gesamten Export der 23 Feldfruchtgruppen mit 99,33% sehr hoch liegt und wahrscheinlich auch die in Deutschland verbleibenden Produkte mit einem ähnlich hohen Anteil an grünem Wasser produziert werden, wird der Großteil des in Deutschland entnommenen blauen Wassers wohl in den Sektoren Industrie und Haushalt eingesetzt.

Der Anteil des grünen Wassers am gesamten Import der 23 untersuchten Feldfruchtgruppen aus den einzelnen Staaten unterscheidet sich von dem des Exports. Die klimatischen Verhältnisse innerhalb arider und semi-arider Länder, die damit verbundenen geringen Niederschlagsmengen und der höhere Einsatz von Bewässerungsmaßnahmen, machen sich hier besonders deutlich. Insgesamt werden 86,18% des von Deutschland importierten virtuellen Wassers aus grünem Wasser gedeckt.

Deutlich zu erkennen ist, dass die Anteile des grünen virtuellen Wassers von Importprodukten, welche in Ländern des Mittelmeerraums und des nahen und mittleren Ostens produziert wurden, sehr gering sind (Abb. 5). Insgesamt liegen 16 der 18 Länder, welche nur bis zu 40% des gesamten virtuellen Wassers mittels des grünen Wassers aus dem Niederschlag decken, innerhalb dieser Regionen. Nur die afrikanischen Staaten Dschibuti und Sambia, welche ebenfalls zu den beiden niedrigsten Klassen zählen, liegen außerhalb der genannten Regionen. Zusammengenommen gehören den vier niedrigsten Klassen (bis zu einem Anteil von 80% des grünen Wassers) 28 Länder an, was knapp 20% aller Länder ausmacht, aus welchen Deutschland Waren der 23 Feldfruchtgruppen bezieht. Der Hauptgrund für diese Verteilung ist wohl in den klimatischen Bedingungen und der damit verbundenen geringeren Niederschlagsmenge zu suchen. Nach der effektiven Klimaklassifikation von A. Siegmund und P. Frankenberg liegt der Großteil dieser Staaten innerhalb der Trockenklimate mit einer Jahressumme des Niederschlags unter 250 mm oder innerhalb der semi-ariden bis semi-humiden Subtropen (3 – 5 bzw. 6 – 9 humide Monate bei einem Jahresmittel der Temperatur von 12°C bis 24°C). Südafrika, Malawi, Sambia und Simbabwe sowie Guyana und Surinam

zählen ebenfalls zu einer der vier niedrigsten Klassen. Innerhalb dieser Länder herrscht jedoch ein arides bis semi-humides tropisches Klima mit einem Jahresmittel der Temperatur von über 24 °C vor (Michael 2008: 266f.).

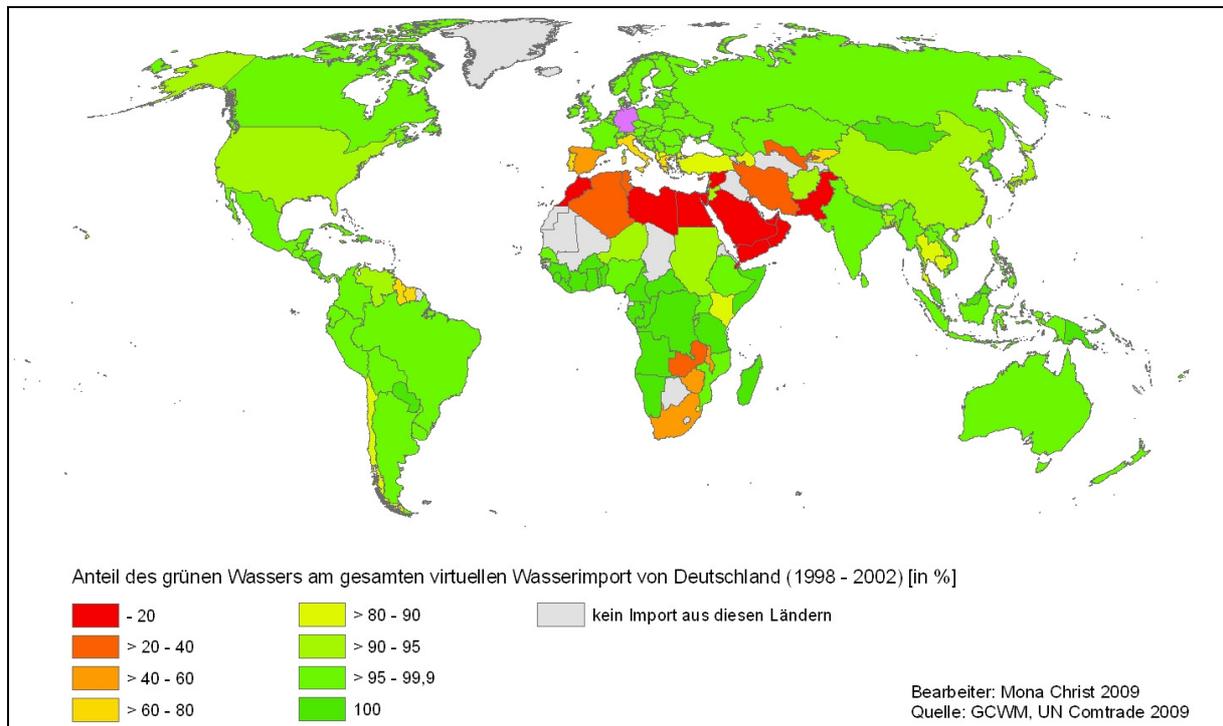


Abbildung 5: Darstellung des Anteils des grünen virtuellen Wassers am gesamten Import von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

Die Karte des Wasserknappheitsindikators zeigt recht deutlich, in welchen Staaten ausreichend Wasser verfügbar ist und in welchen nicht. Es ist zu erkennen, dass in den Ländern der humiden Tropen, in Teilen der Mittelbreiten und in der subpolaren Zone Wasser in ausreichender Menge zur Verfügung steht und die Wasserentnahmen die Rate der langjährigen mittleren erneuerbaren Wasserressource nicht überschreiten (blaue Signatur). Dem gegenüber stehen die Länder der Subtropen, in welchen teils eine sehr gravierende Wasserknappheit herrscht (rote Signatur). Ausnahmen bilden hierbei einige afrikanische Länder, welche in dem Gebiet der Sahara liegen. Ganz untypisch und gegen jegliche Erwartungen zeigen die Berechnungen für diese Länder an, dass die Wasserverfügbarkeit hier besonders hoch ist. Da die Berechnung aus der Wasserverfügbarkeit einzelner Einzugsgebiete resultierte, wobei die Größe der Einzugsgebiete in die Berechnung mit eingegangen ist, muss die Ursache für diese Anomalie in den zu Grunde liegenden Daten zu finden sein. Für die unerwarteten Ergebnisse von Ägypten, Mauretanien, Sahara und Senegal sind jeweils ein oder mehrere sehr kleine Einzugsgebiete verantwortlich. Da diese jedoch teilweise einen sehr niedrigen Wert für eine Wasserknappheit aufweisen, also dort genügend Wasser zur Verfügung steht, wirken sich diese kleinen Einzugsgebiete trotz der Flächengewichtung so deutlich aus, dass im Mittel innerhalb der Staaten theoretisch keine Wasserknappheit laut der Berechnung vorherrschen dürfte.

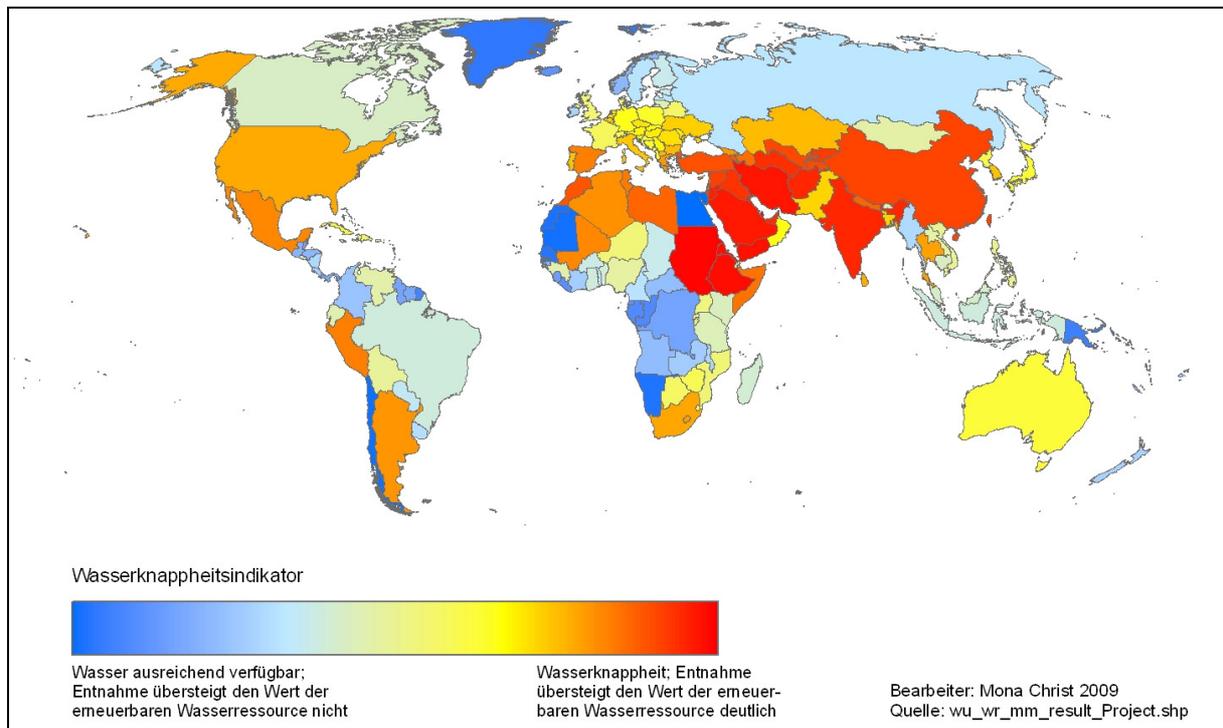


Abbildung 6: Darstellung des Wasserknappheitsindikators (eigene Darstellung 2009)

Vergleicht man die Karte des Wasserknappheitsindikators mit der des Anteils des grünen Wassers am Import von Deutschland, so erkennt man, dass die Karten für einige Länder mit einander korrelieren, nämlich immer dann, wenn wenig grünes Wasser eingesetzt wurde und Wasserknappheit herrscht. Ist das Klima in einem Land eher semi-arid bis arid wird somit tendenziell mehr blaues Wasser zur Produktion von Feldfrüchten eingesetzt. Doch auch in einigen anderen Ländern herrschen zum Teil Klimate vor, welche keine ausreichenden Niederschläge zulassen (z.B. der Nordwesten von China, der Westen der USA oder weite Teile Australiens) und für die der Wasserknappheitsindikator eher im roten Bereich liegt, die aber trotzdem zu einer der vier höchsten Klassen gehören und somit mehr als 80 % des in der Produktion der 23 Feldfruchtgruppen eingesetzten Wassers durch Niederschlagswasser decken. Da in dieser Arbeit jedoch die Durchschnittswerte des virtuellen Wasserbedarfs einer Pflanze innerhalb eines gesamten Landes eingehen, sind die teilweise doch recht starken Differenzen der klimatischen Bedingungen innerhalb eines großen Landes in dem virtuellen Wasserbedarf der Pflanzen nur noch schwer erkennbar. Weiterhin könnten Unterschiede zwischen den in den Ländern angebauten Arten vorherrschen.

Somit lässt sich zu der Analyse dieses Punktes festhalten, dass dort, wo verhältnismäßig viel blaues Wasser zur Produktion der untersuchten 23 Feldfruchtgruppen eingesetzt wurde, in der Regel auch Wasserknappheit herrscht. Da in diesen Staaten wenig Niederschlag fällt, ist der Einsatz von blauem Wasser für die ausreichende Produktion von Feldfrüchten unumgänglich. Es wird dort somit aus dem Grundwasser und dem Oberflächenwasser mehr entnommen, als das sich die Ressource Wasser im langjährigen Mittel wieder erneuern kann.

Aus der Region der feuchten Tropen stammen vor allem Produkte, welche zu 100 % aus grünem Wasser produziert wurden und damit die Wasserressourcen des betreffenden Landes nicht in Anspruch genommen haben.

3.3 Virtueller Wasserhandel aufgrund der sieben wichtigsten Getreidesorten

Bei der folgenden Analyse werden nur die sieben wichtigsten Getreidesorten, deren Wasserbedarf mittels des Global Crop Water Models berechnet wurden, betrachtet. Zu diesen Getreidesorten zählen Weizen, Mais, Reis, Gersten, Roggen und zwei verschiedene Hirsearten. Da Getreide als Grundnahrungsmittel aller Menschen dient, sollte der virtuelle Wasserhandel aufgrund dieser Produkte im Allgemeinen besonders hoch sein. Wie sich dieser Umstand auf Deutschland auswirkt, zeigen die nachfolgenden Abbildungen.

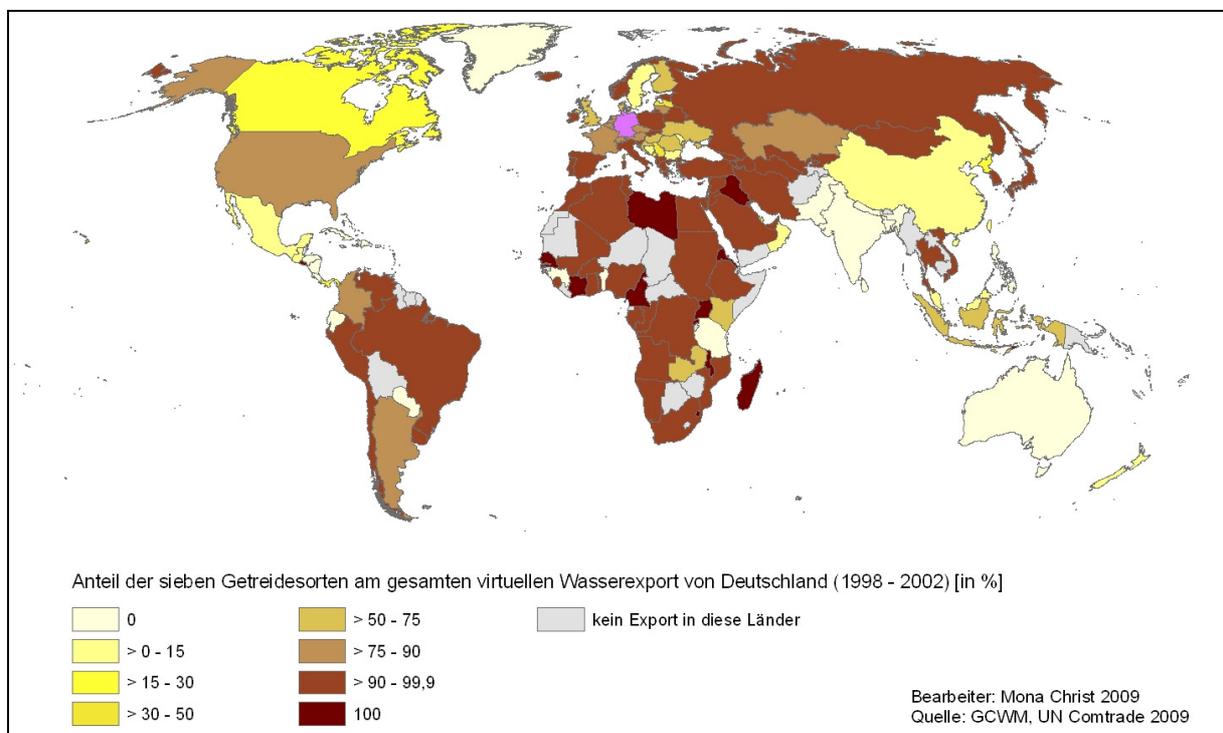


Abbildung 7: Darstellung des Anteils der sieben Getreidesorten am gesamten virtuellen Wasserelexport von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigenen Darstellung 2009)

Wie man Abbildung 7 entnehmen kann, ist der Anteil der Getreideexporte für die Jahre 1998 bis 2002 am gesamten virtuellen Wasserelexport generell recht hoch. Für 15 (zumeist afrikanische Länder) der insgesamt 148 Exportpartner Deutschlands stellt Getreide die einzige aus Deutschland eingeführte Feldfrucht dar, womit das virtuelle Wasser zu 100% in Form des Getreides gehandelt wird. Über die Hälfte aller Partnerländer beziehen mehr als 90% ihres virtuellen Wassers aus Deutschland in Form der sieben Getreidesorten. Die Länder, deren Anteil ihres virtuellen Wassers aus Deutschland aufgrund des Handels mit Getreide nur gering ist, decken ihren Getreidebedarf entweder durch Importe aus anderen Ländern oder sie

importieren neben Getreide einen so hohen Anteil der restlichen 16 Feldfruchtgruppen, dass sich der Anteil des Getreides im Gesamtvolumen nicht so deutlich niederschlägt.

Insgesamt exportierte Deutschland in den Jahren 1998 bis 2002 ein Gesamtvolumen von 31,4 km³ virtuellem Wasser über den Handel mit sechs der sieben wichtigsten Getreidesorten, denn Reis wird aufgrund der klimatischen Ansprüche der Pflanze nicht in Deutschland angebaut. Dies entspricht einem Anteil von fast 85 % des, durch den deutschen Export von den untersuchten 23 Feldfruchtgruppen zustande gekommenen, virtuellen Wasserhandels. Somit wurden im Betrachtungszeitraum durchschnittlich jedes Jahr ca. 6,3 km³ virtuelles Wasser in Form von Getreide von Deutschland exportiert, welches nahezu 100% durch den Einsatz von grünem Wasser produziert wurde.

Da in Deutschland die Produktion von Getreide für den Export einen so hohen Stellenwert hat, kann man davon ausgehen, dass, auch für den heimischen Bedarf, große Mengen Getreide angebaut werden und damit der Anteil des virtuellen Wassers aus Getreideimporten relativ gering sein wird. Das dies so ist zeigen die Zahlen und die Abbildung 8.

Aus insgesamt 65 der 154 Import Partnerländer bezieht Deutschland kein Getreide und aus weiteren 48 nur maximal 10% des gesamten virtuellen Wassers aus diesem Land. Diese Staaten befinden sich zum Großteil in den Tropen und den Subtropen. Besonders aus anderen europäischen Staaten bezieht Deutschland einen verhältnismäßig hohen Anteil des virtuellen Wassers aufgrund der Einfuhr von Getreide.

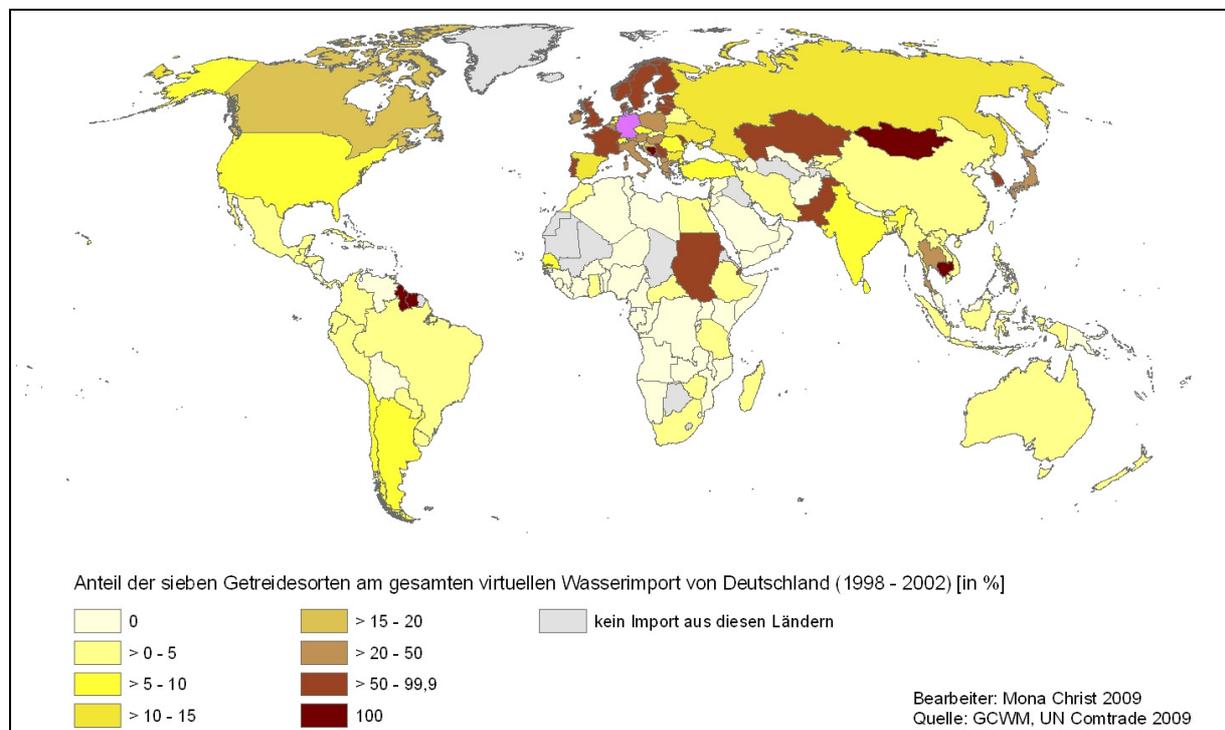


Abbildung 8: Darstellung des Anteils der sieben Getreidesorten am gesamten virtuellen Wasserimport von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

Insgesamt bezieht Deutschland 12,6 km³ virtuelles Wasser dank des Imports von Getreide, was einen geringen Anteil von ca. 9% des gesamten virtuellen Wasserimports ausmacht. Dies zeigt, dass Deutschland den größten Teil des zur Versorgung der Bevölkerung benötigten Getreides selbst produziert.

Da Deutschland selbst keinen Reis anbaut, muss dieser, um den Bedarf zu decken, von außerhalb bezogen werden. Aufgrund des Imports von Reis bezieht Deutschland innerhalb der fünf Jahre des Untersuchungszeitraumes ca. 1,6 km³ virtuelles Wasser. An diesem virtuellen Wasserhandel sind mit einem Anteil von fast 90% nur fünf Länder beteiligt (Tab. 6, Abb. 9).

Tabelle 6: Deutsche Importe virtuellen Wassers aus den am virtuellen Wasserhandel mit Reis beteiligten Länder für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009, Quelle: GCWM, UN Comtrade 2009)

Partnerland	virtuelles Wasser [im km ³]
USA	0.59402
Italien	0.35700
Thailand	0.22502
Spanien	0.19432
Indien	0.09254
Rest	0.27433
Welt gesamt	1.64468

Die Darstellung des Reisanteils am gesamten virtuellen Wasserimport Deutschlands durch Getreide zeigt, dass keiner der 5 Top-Exporteure ausschließlich nur Reis als Getreide exportiert, Thailand und Indien jedoch zu mehr als 99%. Italien folgt mit 81%, es folgen die USA mit 67% und Spanien mit 50%, was zeigt, dass in diesen Ländern auch andere Getreidesorten angebaut werden, welche nach Deutschland exportiert werden und damit zum virtuellen Wasserhandel beitragen.

Insgesamt importiert Deutschland aus 14 von 90 Handelspartnern, welche Getreide nach Deutschland ausführen, zu 100% nur Reis. Der virtuelle Wasserhandel, welcher daraus resultiert, ist jedoch im Vergleich zu den fünf größten deutschen Reis-Handelspartnern sehr gering. Von den 14 Staaten befinden sich sieben in Asien und sechs in Mittel- bzw. Südamerika. Gambia und Ägypten sind die einzigen afrikanischen Staaten, aus denen Deutschland Reis bezieht.

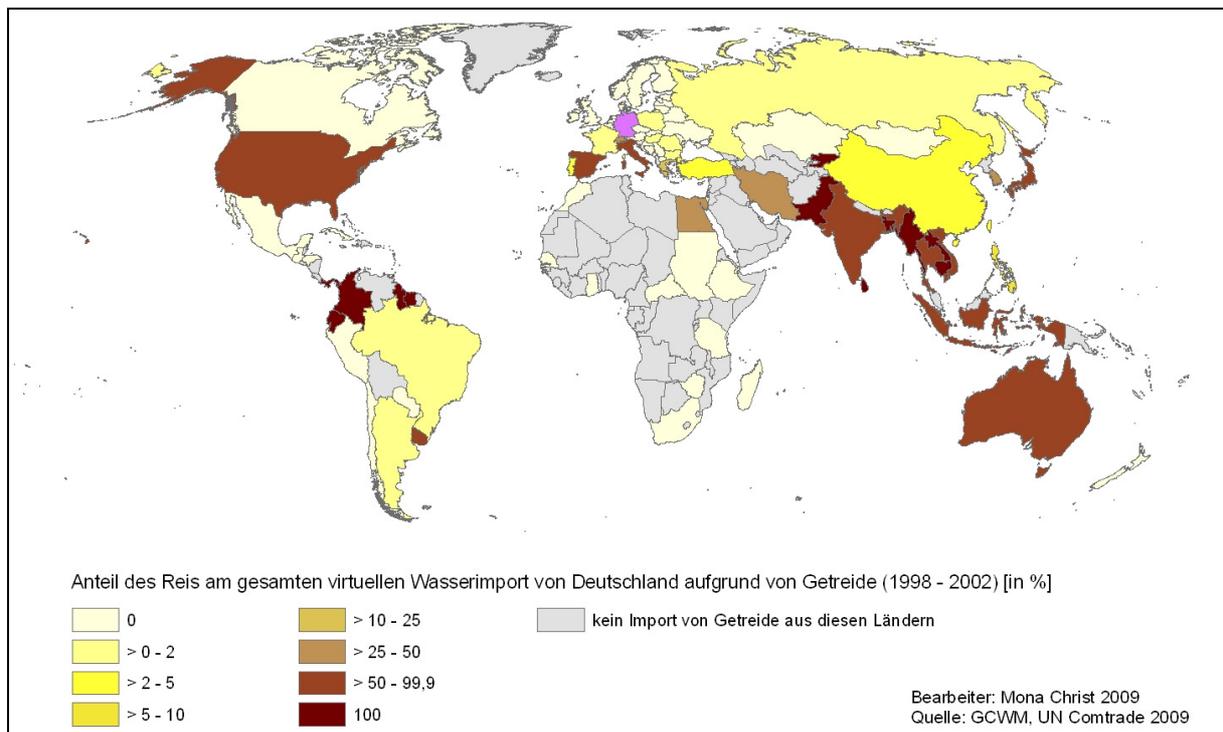


Abbildung 9: Darstellung des Anteils des Reis am gesamten virtuellen Wasserimport von Deutschland aufgrund von Getreide im Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

3.4 Virtueller Wasserhandel aufgrund von Feldfrüchten, die nicht in Deutschland angebaut werden

Innerhalb der 23 untersuchten Feldfruchtgruppen gibt es insgesamt neun Gruppen von Feldfrüchten, welche nicht in Deutschland angebaut werden, da hier die klimatischen Voraussetzungen für ihren Anbau nicht gegeben sind. Da der virtuelle Wasserhandel aufgrund des Reis-Imports bereits im vorherigen Punkt untersucht wurde, wird dieser daher hier nicht mehr mit berücksichtigt. Im folgenden soll nun der virtuelle Wasserhandel durch den Import von Maniok, Zuckerrohr, Palmöl, Erdnüssen, Datteln, Baumwolle, Kakao und Kaffee, Produkte, welche klassischerweise in den Tropen und Subtropen angebaut werden, genauer analysiert werden.

Insgesamt resultiert aus dem Import dieser Feldfrüchte ein virtueller Wasserimport von etwas über 66 km³ Wasser, was damit einem Anteil von 47,5% am gesamten Importvolumen des Wassers in Deutschland entspricht. Von diesen 66 km³ virtuellen Wassers entfallen in etwa 78% auf den Import von Kaffee und weitere 21% auf Kakao. Die anderen sechs Feldfrüchte nehmen jeweils nur einen Anteil von maximal 0,23% ein. Das dies nicht nur an dem unterschiedlichen Wasserbedarf der Feldfrüchte liegt, sondern ebenfalls auch auf die Importmengen dieser Güter zurückzuführen ist, zeigt die Tabelle 7.

Tabelle 7: Importvolumen der tropischen und subtropischen Feldfrüchte und der daraus resultierende virtuelle Wasserimport für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigenen Darstellung 2009, Quelle: GCWM, UN Comtrade 2009)

Feldfrucht	Importvolumen (1998 bis 2002) [in t]	virtueller Wasserimport (1998 bis 2002) [in Mio. m ³]
Maniok	376,02	153,38
Zuckerrohr	0,45	0,09
Palmöl	1,15	0,18
Erdnüsse	80,98	148,16
Datteln	33,36	113,26
Baumwolle	2,12	4,84
Kakao	885,68	14.211,07
Kaffee	3.889,69	51.584,57

Die zuvor als klassisch tropische und subtropische Anbauprodukte beschriebenen Feldfrüchte stammen tatsächlich zum überwiegenden Teil aus Staaten der niederen Breiten. Aus 17 Staaten bezieht Deutschland virtuelles Wasser ausschließlich in Form dieser Feldfrüchte. Insgesamt zeichnen sich vor allem die afrikanischen Staaten innerhalb der Tropen und Subtropen durch hohe Anteile des virtuellen Wasserhandels mit Deutschland aufgrund der acht beschriebenen Feldfrüchte aus. Der Schwerpunkt des virtuellen Wasserimports in Form von Kaffee liegt auf Brasilien, Kolumbien, Indonesien und Kenia, der von Kakao auf der Elfenbeinküste und Ghana (Abb. 10).

Insgesamt bezieht Deutschland aus Brasilien den größten Anteil des virtuellen Wassers am Handel mit tropischen und subtropischen Feldfrüchten, nämlich knapp 13 km³. Dies entspricht einem Anteil von annähernd 20 % des gesamten virtuellen Wasserhandels aufgrund des Imports von diesen Produkten. Die Tatsache, dass Brasilien damit trotz allem nur einen Anteil von 41 % am gesamten virtuellen Wasserimport der 23 Feldfruchtgruppen einnimmt zeigt, dass die Handelsbeziehungen zwischen Brasilien und Deutschland auf dem Handel von vielen unterschiedlichen Produkten basieren.

Die Zugehörigkeit von Algerien und Tunesien zu der zweithöchsten Gruppe resultiert aus dem Export von Datteln aus der Reihe der unter diesem Punkt analysierten acht Feldfrüchte. Ansonsten produzieren diese beiden Länder noch kleine Mengen an Kartoffeln, Hülsenfrüchten, Zitrusfrüchten und Trauben.

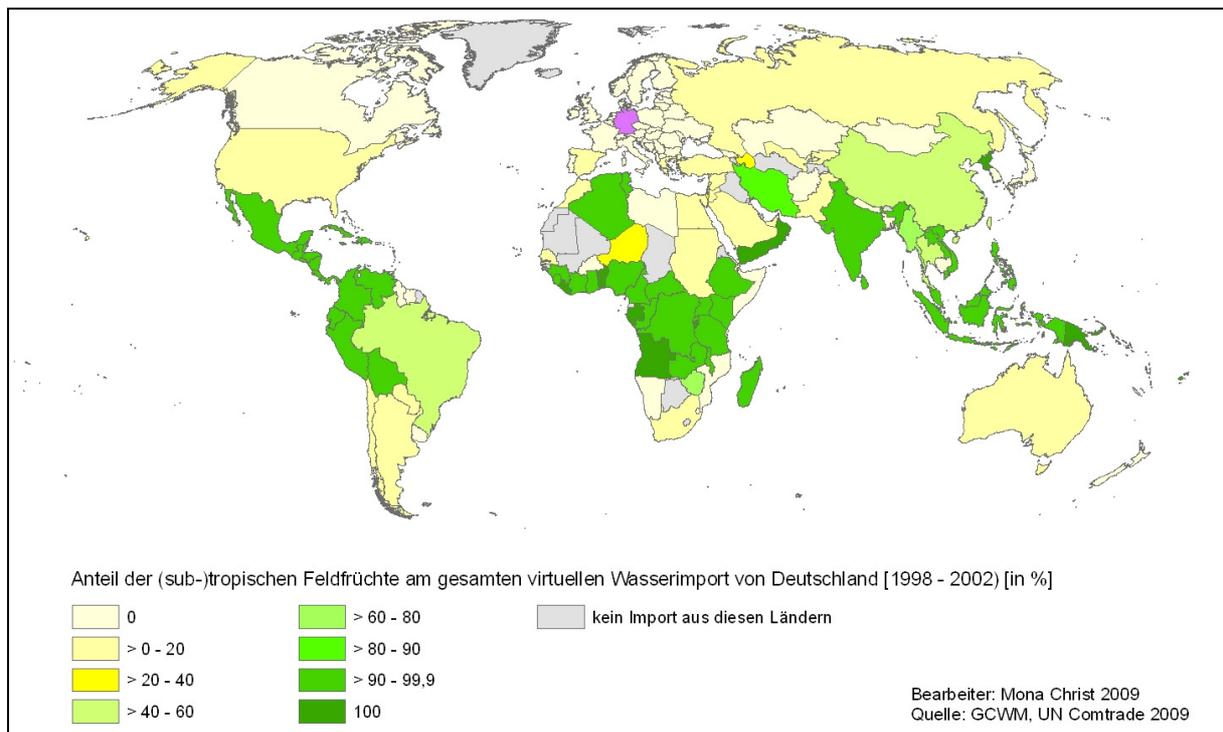


Abbildung 10: Darstellung des Anteils der (sub-)tropischen Feldfrüchte am gesamten virtuellen Wasserimport von Deutschland für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

Durchschnittlich wurden für die Produktion der tropischen und subtropischen Feldfrüchte etwa 85% grünes Wasser eingesetzt. 15% wurden somit künstlich durch Bewässerung auf die Felder aufgetragen. Dass die Verteilung des Einsatzes von Bewässerungswasser jedoch sehr unterschiedlich ist, zeigt die nachstehende Abbildung. So wird für die Produktion der Feldfrüchte innerhalb der humiden und semi-humiden Tropen und Subtropen fast ausschließlich nur grünes Wasser eingesetzt. In 72 der 96 Länder, aus welchen Deutschland diese Feldfrüchte bezieht, wird zwischen 90 – 100% Niederschlagswasser zur Produktion der Früchte eingesetzt. In diesen Regionen herrscht nach der Berechnung des Wasserknappheitsindikators auch kein Wasserstress. In den Ländern, welche unter ariden und semi-ariden klimatischen Bedingungen wirtschaften, wird stark bewässert. Mit einem Einsatz von mehr als 90% blauem Wassers führen die Vereinigten Arabischen Emirate, Saudi-Arabien, Israel und Oman diese Liste an. Gleichzeitig wird jedoch aus diesen Ländern nicht ganz so viel virtuelles Wasser in Form von subtropischen und tropischen Feldfrüchten nach Deutschland eingeführt (Abb. 11).

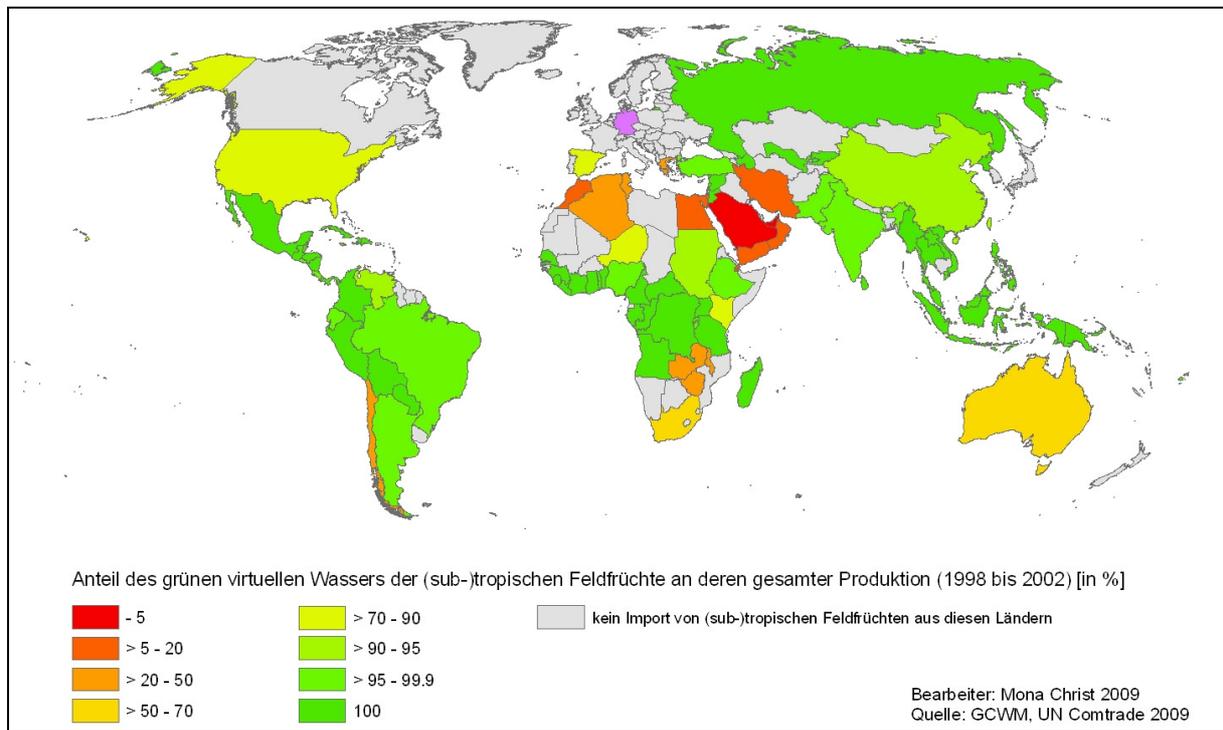


Abbildung 11: Darstellung des Anteils des grünen virtuellen Wassers der (sub-)tropischen Feldfrüchte an deren gesamter Produktion im Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

3.5 Vergleich des virtuellen Wasserhandels Deutschlands mit Industrie- und Entwicklungsländern

Wie die Klassifizierung des durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommens der Bevölkerung der Länder zeigt, zählen vor allem Westeuropa sowie Nordamerika zu der höchsten Einkommensklasse. Daneben gehören noch einige asiatische und mittelamerikanische, zwei afrikanische Staaten sowie Australien und Neuseeland zu dieser Einkommensgruppe. Damit ist die Verteilung dieser Länder recht ungleichmäßig ausgeprägt. Die Länder der Nordhalbkugel verfügen damit über ein weitaus höheres durchschnittliches Einkommen als die Länder, welche auf der Südhalbkugel liegen. Die höchste Dichte an Staaten, welche zu der niedrigsten Einkommensklasse gehören und damit nur über ein Pro-Kopf-Einkommen von 935 \$ oder weniger verfügen, findet sich in Afrika.

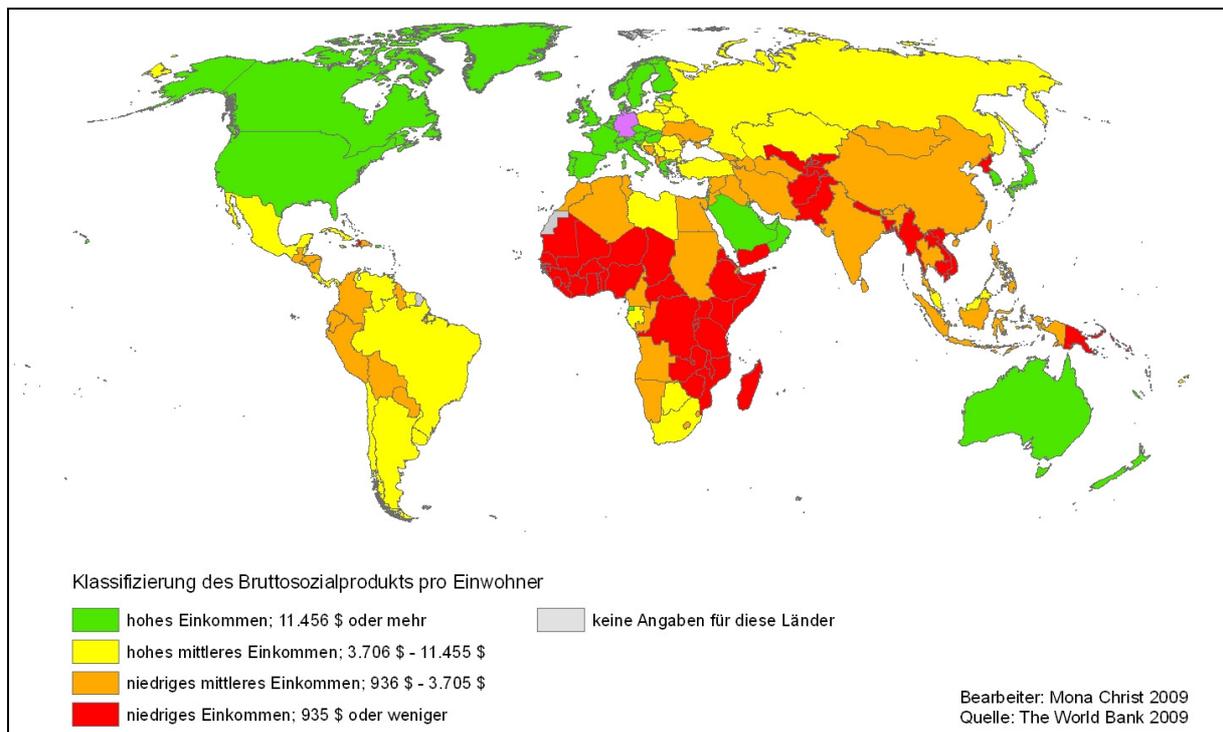


Abbildung 12: Darstellung der Klassifizierung des Bruttonationalprodukts pro Einwohner (eigene Darstellung 2009)

Bei einem Vergleich des durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommens (Abb. 12) mit dem gesamten virtuellen Wasserexport von Deutschland (Abb. 2) lässt sich festhalten, dass Deutschland in keines der Länder mit dem niedrigsten Einkommen mehr als 300 Millionen m³ virtuelles Wasser exportiert. Viele der Länder mit dem geringsten Einkommen beziehen sogar gar keine Produkte aus Deutschland. Dies könnte zum einen daran liegen, dass diese Länder ein Großteil der 23 Feldfruchtgruppen selbstständig produzieren. Zum anderen fehlen diesen Ländern wohl die notwendigen Devisen, um Importe im großem Maßstab beziehen zu können. Eine Korrelation zwischen hohem Einkommen und einem hohen virtuellen Wasserhandel mit Deutschland besteht für den Fall des deutschen Exports nicht. Die virtuellen Wasserexporte Deutschlands unterscheiden sich sehr deutlich innerhalb der Staaten Westeuropas, obwohl diese allesamt zu der höchsten Klasse zählen.

Für den virtuellen Wasserimport lässt sich erkennen, dass Deutschland tendenziell aus Staaten mit hohem bis hohem mittleren Einkommen mehr virtuelles Wasser importiert als aus denen, die zu den unteren beiden Klassen zählen. Jedoch gibt es auch hier Ausnahmen. So zählt zum Beispiel die Elfenbeinküste zu den vier Staaten, aus denen Deutschland die größten Mengen virtuellen Wassers importiert. Laut der Einschätzung der Weltbank müssen die Einwohner der Elfenbeinküste mit einem jährlichen Pro-Kopf-Einkommen von 935 \$ oder weniger leben.

3.6 Bilanzierung des Imports und Exports

Zum Abschluss der Analyse der Ergebnisse soll auf die Bilanz des Imports von virtuellem Wasser im Vergleich zu seinem Export eingegangen werden. Das Deutschland ein Netto Importeur von virtuellem Wasser ist, wurde schon zu Beginn der Analyse schnell klar. Ebenfalls wurde deutlich, dass die Verteilung der Schwerpunkte der Import- bzw. Export-Partnerländer sich sehr unterschiedlich verhält. Die folgende Abbildung, welche die Bilanz zwischen dem virtuellen Wasserexport und dem virtuellen Wasserimport aus den betreffenden Partnerländern darstellt, zeigt, dass auch im Verhältnis gesehen Brasilien, die USA, Frankreich und die Elfenbeinküste, die Länder, aus welchen Deutschland am meisten virtuelles Wasser importiert hat, mehr Wasser nach Deutschland exportieren, als sie aus Deutschland beziehen. Dasselbe gilt umgekehrt teilweise auch für die Länder, in welche Deutschland die größten virtuellen Wassermengen exportiert hat. Algerien, Saudi-Arabien und Belgien. Diese drei Länder beziehen auch in der Bilanz mehr Wasser von Deutschland als sie dorthin exportieren. Die Ausnahme in diesem Fall bilden die Niederlande. Zwar zählen sie laut der Berechnungen zu einem der vier Länder, in welche Deutschland das größte Volumen an virtuellem Wasser exportiert, jedoch erscheinen sie im Verhältnis betrachtet in einer roten Signatur. Das bedeutet, dass die Niederlande noch mehr Wasser nach Deutschland exportieren als das sie aus Deutschland beziehen (Abb. 13).

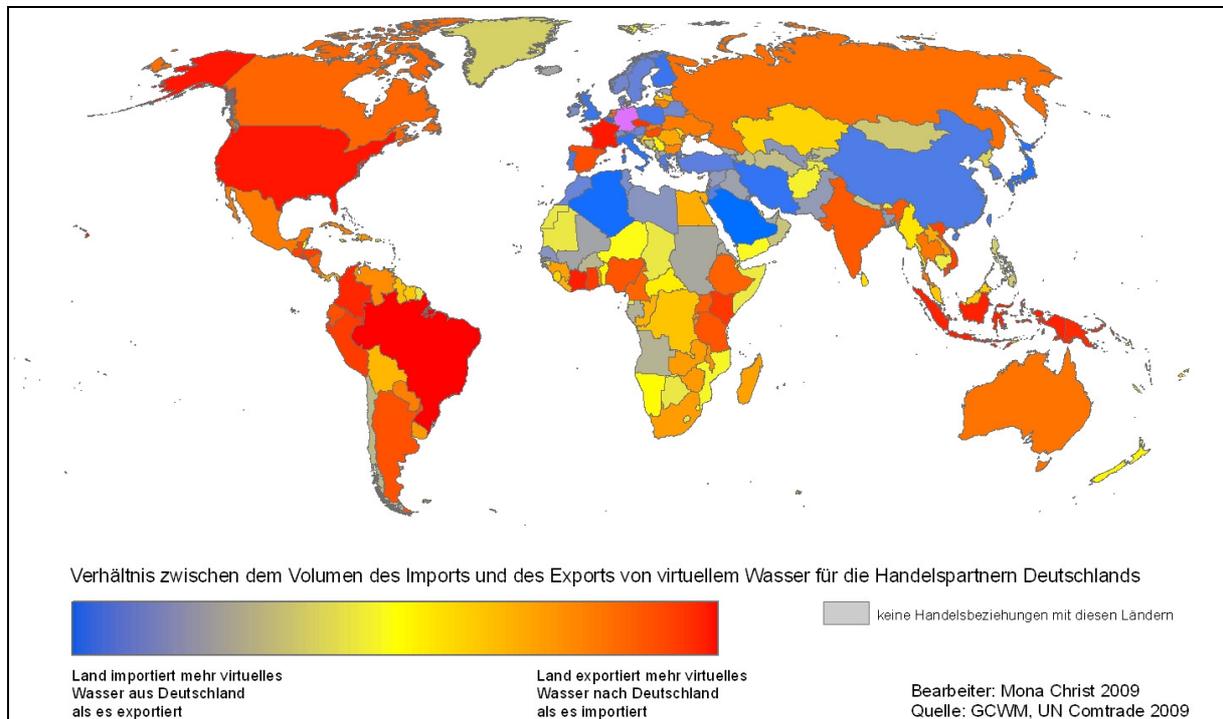


Abbildung 13: Bilanzierung des Import- und Exportvolumens des virtuellen Wassers in den Partnerländern Deutschlands für den Zeitraum von 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009)

Weiterhin wird deutlich, dass in den Großteil der Staaten des Mittelmeerraumes, in welchen tendenziell das Wasser knapp ist, mehr Wasser von Deutschland aus eingeführt wird, als

diese nach Deutschland ausführen. Die Ausnahmen bilden in diesem Fall Ägypten und Spanien. Ebenfalls importieren die Länder der arabischen Halbinsel und die Staaten des Nahen Ostens mehr virtuelles Wasser als sie exportieren. Die einzigen beiden Länder, die laut des Wasserknappheitsindikators neben einigen anderen Staaten unter einer sehr starken Wasserknappheit leiden und deren virtuelle Wasserexporte das Volumen der virtuellen Wasserimporte übersteigt, sind Äthiopien und Indien (Abb. 13).

4 Diskussion

4.1 Bewertung der Modellergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen mittels des Global Crop Water Models und der UN Comtrade Daten spiegeln natürlich nicht die Wirklichkeit des virtuellen Wasserhandels mit dem Fokus auf Deutschland wider, da es sich um Modellberechnungen handelt. Es werden lediglich aufgrund der Datengrundlage Annahmen getroffen. Die Größenordnung des virtuellen Wasserhandels wird jedoch damit gut wiedergegeben.

Unsicherheiten der Ergebnisse resultieren zum einen daraus, dass der virtuelle Wassergehalt der Feldfrüchte auf Modellergebnissen basieren, welche aufgrund der Zusammenführung der verschiedensten statistischen Daten aus sämtlichen Ländern basieren. Zudem wurden für die Berechnungen in dieser Arbeit die Modellergebnisse auf einen Mittelwert der einzelnen Länder gebracht. Dies hat zur Folge, dass die unterschiedlichen Wasserbedarfe einer Feldfruchtsorte, welche aufgrund der klimatische Unterschiede auftreten, für jedes Land gemittelt werden. Besonders in großen Ländern wie den USA und China, welche sich über mehrere Klimazonen erstrecken, kann durch die Berechnung solcher Mittelwerte der eigentliche Wasserbedarf einer Pflanzenart stark unter- bzw. überschätzt werden. Durch die Berechnung des virtuellen Wasserhandels unter Verwendung der UN Comtrade Daten werden diese Abweichungen noch verstärkt, da die gesamten Import- bzw. Exportmengen mit diesem Durchschnittswert berechnet werden. Zudem wurde für die Berechnung der Import- und Exportvolumina des virtuellen Wassers zwischen zwei Ländern Mittelwerte der Handelsmengen gebildet, da diese, welche sich in den Listen der UN Comtrade Statistik wiederfinden, teils sehr stark voneinander abweichen.

Dennoch wurden bei der Berechnung des virtuellen Wasserhandels wie im vorliegenden Fall die zur Zeit wahrscheinlich genauesten und vollständigsten Datengrundlagen verwendet. So erlauben die Daten des Global Crop Water Modells nicht nur die Bestimmung des virtuellen Wasserbedarf von 26 Feldfruchtgruppen. Der Gesamtbedarf lässt sich auch in die Anteile des grünen und blauen Wassers aufteilen. Die Vollständigkeit der UN Comtrade Daten hängt maßgeblich auch von den Meldungen der Handelsstatistiken der einzelnen Länder ab und von der Genauigkeit der Aufzeichnungen der einzelnen Regierungen.

4.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Ergebnissen

Ein Vergleich der in dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse mit den Ergebnissen früherer Arbeiten ist nicht ohne weiteres möglich. Dies liegt zum einen daran, dass es andere konkre-

te Studien mit den Fokus auf Deutschland bisher noch nicht gibt. Weiterhin basieren alle anderen Modellergebnisse auf Datengrundlagen, die der in dieser Arbeit verwendeten Datengrundlage nicht entsprechen. Ebenfalls unterscheiden sich die Modelle und damit auch die Ergebnisse dahingehend oft voneinander, dass andere Einteilungen der untersuchten Feldfrüchte unternommen wurden. Dennoch sollen einige Vergleiche angestellt werden, soweit dies möglich ist.

4.2.1 Vergleich mit den Ergebnissen des virtuellen Wasserhandels zwischen Nationen

Chapagain und Hoekstra untersuchten für den Zeitraum von 1997 bis 2001 den virtuellen Wasserhandel zwischen Nationen, welcher aus dem Handel mit Agrar- und Industrieprodukten resultierte. Dabei betrachteten sie 285 Feldfrüchte und 123 tierische Produkte sowie, wie bereits erwähnt, industriell gefertigte Güter (CHAPAGAIN, HOEKSTRA 2008: 20). Für die Berechnung des virtuellen Wasserbedarfs [$\text{m}^3 \text{t}^{-1}$] der einzelnen Feldfrüchte wurde ein Quotient aus deren spezifischem Wasserbedarf pro Hektar und des Ertrags dieser Fläche berechnet, wobei der spezifische Wasserbedarf der einzelnen Feldfrüchte für jedes Land nach einer Methode der Food and Agriculture Organisation (FAO) berechnet wurde (CHAPAGAIN, HOEKSTRA 2008: 21). Wurden die Feldfrüchte nach der Ernte weiterverarbeitet, so wurde für das daraus entstandene Produkt ein anderer virtueller Wassergehalt angenommen. Da in den meisten Fällen die Pflanze bei der Weiterverarbeitung nicht in ihrem ursprünglichen Zustand erhalten bleibt, sondern nur Teile dieser verwendet werden, wurde der ursprüngliche virtuelle Wasserbedarf durch den in dem Produkt enthaltenen Anteil der Pflanze geteilt (CHAPAGAIN, HOEKSTRA 2008: 21).

Die Ergebnisse dieses Modells zeigen, dass sich der gesamte virtuelle Wasserhandel der Welt auf einen Wert von 1,6 Milliarden m^3 pro Jahr in dem Zeitraum von 1997 bis 2001 beläuft, wobei 61% auf den Handel mit Feldfrüchten und deren weiterverarbeiteten Produkten entfallen. Der Handel mit tierischen Erzeugnissen macht 17% aus, der mit industriellen Produkten 22%. Als Staaten, welche die größten virtuellen Wassermengen exportieren, nennen Chapagain und Hoekstra die USA, Kanada, Frankreich, Australien, China, Deutschland, Brasilien, die Niederlande und Argentinien. Die größten Importeure von virtuellem Wasser sind nach ihren Berechnungen die USA, Deutschland, Japan, Italien, Frankreich, die Niederlande, Großbritannien und China (CHAPAGAIN, HOEKSTRA 2008: 22). Da die Ergebnisse dieser Arbeit nur 23 Feldfruchtgruppen betrachten, sind die Ergebnisse nicht direkt mit einander vergleichbar. Jedoch fällt auf, dass die USA, Frankreich, Brasilien und die Niederlande, welche laut Chapagain und Hoekstra zu den größten Exporteuren des virtuellen Wassers zählen, laut den Berechnungen sehr stark an dem virtuellen Wasserhandel mit Deutschland beteiligt sind. Das Deutschland auch zu einem der größten Exporteure zählt, ist eher fragwürdig, da

alleine Brasilien schon in ähnlichen Größenordnungen virtuelles Wasser nur nach Deutschland exportiert (30,4 km³), wie sonst alle am Export nach Deutschland beteiligten Partnerländer (37 km³). Jedoch können für Deutschland die tierischen Erzeugnisse und die industriell gefertigten Waren einen bedeutend größeren Anteil am Export als die Feldfrüchte aufweisen, was bei den hier durchgeführten Untersuchungen nicht berücksichtigt wurde.

Betrachtet man die Zahlen, welche Chapagain und Hoekstra für den virtuellen Wasserhandel mit Feldfrüchten für Deutschland im Zeitraum zwischen 1997 bis 2001, also ähnlich dem hier untersuchten Zeitraum angeben, dann fällt auf, dass auch sie Deutschland als einen Netto-Importeur von virtuellem Wasser in Bezug auf den Handel mit Feldfrüchten ansehen, jedoch sind deren Werte weitaus geringer. Für den Export berechneten sie ein Volumen von 27,6 km³, für den Import knapp 60 km³ (CHAPAGAIN, HOEKSTRA 2008: 24). Der Wert des Exports von virtuellem Wasser liegt bei dieser Untersuchung für die Jahre 1998 bis 2002 bei 37 km³, der des Imports bei 139 km³. Damit sind sich die Werte des Exports ähnlich, wohingegen die Werte für den Import sich sehr stark unterscheiden.

Weiterhin stellten Chapagain und Hoekstra auf Basis ihrer Berechnungen ein Verhältnis zwischen Import und Export von virtuellem Wasser für die einzelnen Länder auf. Dabei ergab sich, dass der Großteil Amerikas, Australien, der Großteil von Asien und die Länder Zentralafrikas einen Netto Export von virtuellem Wasser aufweisen, also mehr exportieren als importieren. Demgegenüber stehen die meisten Staaten Europas, Japan, Nord- und Südafrika, der Nahe Osten, Mexiko und Indonesien als Netto Importeure dar (CHAPAGAIN, HOEKSTRA 2008: 22). Vergleicht man dies mit dem Verhältnis zwischen dem Export und Import von virtuellem Wasser in den Partnerländern Deutschlands so zeigen sich einige Parallelen. Auch bei dem virtuellen Wasserhandel mit dem Fokus auf Deutschland gelten die meisten Länder Amerikas, Zentralafrikas, Australien und einige Länder Asiens als Netto Exporteure, wohingegen der Nahe Osten, Nordafrika und einige europäische Staaten mehr importieren. Abweichungen gibt es vor allem für Südafrika, Indonesien und Mexiko.

4.2.2 Virtueller Wasserhandel von Deutschland mit den Niederlanden und Marokko

Hoekstra und Chapagain untersuchten auch den Wasser-Fußabdruck von Marokko und den Niederlanden genauer. Der Wasser-Fußabdruck eines Landes beschreibt das Volumen des Wassers, welches für die Produktion von Gütern und Leistungen aufgewendet werden muss, die von den Bewohnern eines Landes konsumiert werden. Der Wasser-Fußabdruck kann aufgespalten werden in den internen und externen Wasser Fußabdruck, wobei der interne die Menge an Wasser beschreibt, welche inländisch genutzt wird und der externe Abdruck die Menge an Wasser beschreibt, welche in anderen Ländern zur Produktion von Gütern und

Leistungen genutzt wird, die dann in das betreffende Land exportiert werden (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2007: 144).

Der interne Wasser-Fußabdruck wurde berechnet, indem von der nationalen Wassernutzung eines Landes der virtuelle Wasserexport, welcher aus dem Export von inländisch produzierten Gütern in andere Länder resultiert, abgezogen wird. Der externe Wasser-Fußabdruck wurde bestimmt durch die Subtraktion des Reexports von Gütern in andere Länder vom virtuellen Wasserimport eines Landes. In der Studie wurden nur der Wasser-Fußabdruck untersucht, welcher aufgrund des Handels mit agrarischen Erzeugnissen entstand und sowohl die grüne als auch die blaue Wassernutzung zur Produktion der Produkte beinhaltet (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2007: 145). Der virtuelle Wassergehalt von Pflanzen wurde auf die gleiche Weise berechnet wie bereits unter Punkt 4.2.1 beschrieben.

Die Studie von Hoekstra und Chapagain ergab, dass sowohl Marokko als auch die Niederlande mehr Wasser in virtueller Form importieren als sie exportieren (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2007: 146). Bei den für diese Arbeit durchgeführten Berechnungen mit dem Fokus auf Deutschland zeigt sich ebenfalls, dass Marokko zu den Netto-Importeuren zählt. Die Niederlande exportieren jedoch in größerem Umfang nach Deutschland und zählen somit auf Basis der Berechnungen zu den Netto-Exporteuren.

Sowohl in den hier dargelegten Ergebnissen als auch in den Ergebnissen von Hoekstra und Chapagain zählt Deutschland zu einem der Haupthandelspartner der Niederlande. An einem gesamten virtuellen Wasserimport der Niederlande von 56,5 km³ pro Jahr für den Zeitraum zwischen 1997 bis 2001 ist Deutschland mit 7,1 km³ pro Jahr beteiligt. In dem selben Zeitraum exportieren die Niederlande 11,8 km³ virtuelles Wasser nach Deutschland, was sie somit, wie bereits erwähnt, auf der Ebene der Handelsbeziehung mit Deutschland zu einem Netto-Exporteur macht, wobei sie insgesamt betrachtet jedoch mehr virtuelles Wasser pro Jahr importieren. Da in das Modell von Hoekstra und Chapagain jedoch andere Feldfrüchte und auch tierische Erzeugnisse eingegangen sind (HOEKSTRA, CHAPAGAIN 2007: 146), sind die Volumina für einen direkten Vergleich mit dieser Studie zu hoch. Für die Berechnungen dieser Arbeit hat sich ein virtueller Wasserimport der Niederlande von 1,2 km³ pro Jahr für den Zeitraum von 1998 bis 2002 ergeben, für den Export der Niederlande nach Deutschland ein Volumen von 6,8 km³.

5 Schlussfolgerung

Die Analyse des virtuellen Wasserhandels mit dem Fokus auf Deutschland hat gezeigt, dass Deutschland durch den Export und Import von 23 unterschiedlichen Feldfrüchten in starkem Maße an den globalen virtuellen Wasserströmen beteiligt ist. Somit wirkt sich das deutsche Konsumverhalten auch auf die Wasserressourcen anderer Länder aus.

In der Bilanz betrachtet ist Deutschland ein Netto-Importland für virtuelles Wasser. In dem Zeitraum von 1998 bis 2002 wurden im Durchschnitt pro Jahr $7,45 \text{ km}^3$ virtuelles Wasser von Deutschland exportiert und $27,77 \text{ km}^3$ importiert, und dies alleine nur durch den internationalen Handel mit 23 Feldfruchtgruppen. Somit werden pro Jahr über 20 km^3 mehr virtuelles Wasser nach Deutschland eingeführt als exportiert.

Da das Global Crop Water Model, auf dessen Daten die Analyse basiert, eine Differenzierung des grünen und blauen virtuellen Wassers erlaubt, konnte für die Produktion der zum Export bestimmten Feldfrüchte innerhalb Deutschlands der Einsatz von fast 100% grünem Wasser bestimmt werden. Dies zeigt, dass die Bewässerungswirtschaft an der Produktion der Feldfrüchte der untersuchten 23 Feldfruchtgruppen keine Rolle spielt. Demnach muss angenommen werden, dass auch ohne den Einsatz von Bewässerungswasser eine fast identische Menge an Feldfrüchten produziert werden kann. Ein solch hoher Anteil des Niederschlagswassers in der Produktion von landwirtschaftlichen Gütern ist allerdings nicht überall möglich. Aufgrund des Klimas können in ariden und semi-ariden Regionen der Erde nur hohe Ernteerträge erzielt werden, wenn die Felder bewässert werden. Da Deutschland auch aus Ländern Feldfrüchte importiert, welche unter solch klimatischen Bedingungen wirtschaften, ist der Anteil des grünen Wassers am gesamten Importvolumen des virtuellen Wassers mit 85,58% geringer als des Exports.

In der Analyse der Ergebnisse haben sich keine bestimmten Muster der Verteilung der Handelspartner bezüglich des Exports und Imports des virtuellen Wassers von Deutschland ergeben. Es gibt zwar Tendenzen, diese werden von einigen Ausnahmen abgesehen aber nicht bestätigt. Man kann keine direkten Zusammenhänge zwischen dem Im- bzw. Export und der Entfernung oder der Größe des Partnerlandes erkennen. Handelsbeziehungen hängen in vielfältiger Art und Weise miteinander in Verbindung, sodass man nicht feststellen kann, je größer ein Land ist, desto mehr virtuelles Wasser exportiert Deutschland in dieses oder importiert es daher.

Die Analyse hat jedoch gezeigt, dass ein bedeutender Anteil des virtuellen Wasserimports von Deutschland auf Feldfrüchte zurückzuführen ist, welche nicht in Deutschland selbst her-

gestellt werden können und daher eingeführt werden müssen. Dabei sind vor allem die Genussmittel Kaffee und Kakao in besonderem Maße beteiligt.

Auf Grundlage der Ergebnisse ist es schwierig, eine Bewertung des Konsumverhaltes der Deutschen auszusprechen. Der Einsatz von mehr Wasser in der Produktion einer Feldfruchtart gegenüber einer anderen ist nicht als schlecht zu werten. Wenn dieses Mehr an Einsatz jedoch nur durch blaues Wasser gedeckt wird, schon eher, da die Nutzung von blauem Wasser in der Landwirtschaft in Konkurrenz zu anderen Sektoren steht. Nun stellt sich die Frage, ob es deswegen angebracht ist, aus Ländern, in denen viel blaues Wasser zur Produktion von Feldfrüchten eingesetzt wird, keine Produkte mehr zu beziehen. Diese Volkswirtschaften sind zumeist sehr stark auf den landwirtschaftlichen Sektor ausgerichtet und ein Verzicht der Produkte würde für die Menschen der betroffenen Staaten sicher nicht hilfreich sein.

Im Zuge der aktuellen Klimaveränderung und dem prognostizierten Anstieg der Weltbevölkerung ist es jedoch im Sinne eines nachhaltigen Wassermanagement sinnvoll, die vorhandenen Wasserressourcen auch in der Landwirtschaft so effizient einzusetzen, „dass der erwirtschaftete Ertrag im Verhältnis zur Wasserentnahme deutlich zunimmt.“ (HUMMEL ET AL. 2008: 60).

6 Literatur

- Bundesumweltamt (2007): <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umwelt-daten/public/theme.do?nodeId=3528>, 20. Juli 2009.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2008): The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. In: *Water International*, Ausgabe 33, Nummer 1, Seite 19 – 32.
- Döll, P. (2008): Wasser weltweit. Wie groß sind die globalen Süßwasserressourcen, und wie nutzt sie der Mensch?. In: *Forschung Frankfurt*, Jahrgang 26, Ausgabe 3.2008, Seite 54 – 59.
- Hoekstra, A., Chapagain, A. (2008): *Globalization of Water. Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Oxford (Blackwell).
- Hummel, D., Keil, F., Lux, A. (2008): Die globale Wasserkrise und der virtuelle Wasserhandel. Wie innovative Forschung zu einem besseren Ressourcen-Management beitragen kann. In: *Forschung Frankfurt*, Jahrgang 26, Ausgabe 3.2008, Seite 60 – 64.
- Liebig, W., Mumenthey, R.-D. (2008): *ArcGIS-ArcView 9. ArcGIS-Grundlagen*. 2. aktualisierte Auflage. Norden (Points).
- Michael, T. (Hrsg.) (2008): *Diercke Weltatlas*. Braunschweig (Westermann).
- Siebert, S., Döll, P. (2009): Quantifying blue and green water uses and virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation - Development and application of the Global Crop Water Model (GCWM). Zur Veröffentlichung eingereicht bei: *Journal of Hydrology*.
- The World Bank (2009): *World Bank List of Economies*. <http://www.worldbank.org/>, 10. Juli 2009.
- UN Comtrade Knowledgebase (2009a): <http://comtrade.un.org/kb/article.aspx?id=10062>, 05. Mai 2009.
- UN Comtrade Knowledgebase (2009b): <http://comtrade.un.org/kb/Article.aspx?id=10059>, 05. Mai 2009.
- US Department of the Interior (2008): <http://www.usbr.gov/lc/hooverdam/faqs/lakefaqs.html>, 13. Juli 2009.

Waterfootprint Network (2009): http://www.waterfootprint.org/?page=cal/waterfootprintcalculator_national, 20. Juli 2009.

7 Anhang

7.1 Glossar

blaues Wasser: stammt aus Flüssen, Seen oder dem Grundwasser und wird diesen durch z.B. Pumpen entnommen und zur Wasserversorgung von Haushalten, Industriebetrieben und Wärmekraftwerken sowie zur Bewässerung von Feldern genutzt; falls es nicht zu stark verschmutzt wurde, steht es nach der Nutzung größtenteils wieder zur Verfügung (DÖLL 2008: 55)

grünes Wasser: Niederschlagswasser; verdunstet auf Ackerflächen und ermöglicht damit die Produktion von Feldfrüchten (DÖLL 2008: 55)

konsumtive Wassernutzung: Wassermenge, die während der Nutzung verdunstet und damit für andere Nutzer verloren geht (DÖLL 2008: 55)

virtuelles Wasser: Wassermenge, die benötigt wird um ein Erzeugnis zu produzieren (DÖLL 2008: 55)

virtueller Wasserhandel: resultiert aus dem internationalen Handel mit Produkten oder Dienstleistungen (HUMMEL ET AL. 2008: 61)

Wasserbedarf: optimaler Bedarf für die Herstellung eines Produktes oder im Haushalt; für Haushalt jedoch schwer zu bestimmen

Wassernutzung: tatsächliche Nutzung für die Herstellung eines Produktes oder im Haushalt; Wassernutzung übersteigt den Wasserbedarf oftmals

Wasserverbrauch: Wassermenge, welche aus dem Hahn fließt; endnutzerverbrauchsorientiert

7.2 Übersicht des virtuellen Wasserhandels Deutschlands mit allen Partnerländern

Tabelle 8: Übersicht des virtuellen Wasserhandels von Deutschland mit allen Partnerländern für den Zeitraum 1998 bis 2002 (eigene Darstellung 2009, Quelle: GCWM, UN Comtrade 2009)

Partnerland	Gesamtexport von Deutschland [m ³]	Anteil des grünen Wassers am Gesamtexport [%]	Gesamtimport von Deutschland [m ³]	Anteil des grünen Wassers am Gesamtimport [%]	Bilanz des virtuellen Wassers [m ³]
Afghanistan	0,00	---	40.666,14	93,35	40.666,14
Albania	6.044.737,92	99,75	71.466,65	88,10	-5.973.271,27
Algeria	3.215.671.490,77	100,00	1.724.424,01	23,34	-3.213.947.066,77
American Samoa	4.578,52	100,00	0,00	---	-4.578,52
Angola	5.612.539,50	100,00	2.626.531,84	100,00	-2.986.007,67
Antigua and Barbuda	146,45	100,00	29.475,50	100,00	29.329,05
Azerbaijan	945.784,71	99,99	18.829,14	82,95	-926.955,58
Argentina	102.032,61	100,00	1.520.738.759,57	98,12	1.520.636.726,96
Australia	16.069,90	99,74	552.812.960,77	99,33	552.796.890,87
Austria	737.806.556,85	99,80	453.175.165,70	99,92	-284.631.391,14
Bahamas	3.618,11	93,69	1.523,96	100,00	-2.094,15
Bahrain	832,99	100,00	0,00	---	-832,99
Bangladesh	29.485.782,31	100,00	39.780,08	90,77	-29.446.002,23
Armenia	91.846.094,55	100,00	0,00	---	-91.846.094,55
Belgium	3.033.984.731,95	99,96	572.036.054,57	99,98	-2.461.948.677,38
Bolivia	0,00	---	58.029.130,79	100,00	58.029.130,79
Bosnia and Herzegovina	266.038,57	94,93	5.251,11	99,79	-260.787,45
Brasil	6.844.691,30	99,95	30.424.074.330,25	99,27	30.417.229.638,95
Belize	0,00	---	238.032,29	99,99	238.032,29
Solomon Islands	0,00	---	9.216.749,28	100,00	9.216.749,28
Bulgaria	1.798.969,63	95,42	212.610.206,98	99,59	210.811.237,35
Myanmar	0,00	---	3.787.103,41	99,33	3.787.103,41
Burundi	0,00	---	251.456.793,53	98,71	251.456.793,53
Belarus	192.252.584,66	100,00	5.678.288,84	100,00	-186.574.295,82
Cambodia	0,00	---	19.147,95	89,24	19.147,95
Cameroon	25.202.499,08	100,00	719.328.653,39	100,00	694.126.154,31
Canada	205.993,39	100,00	926.718.415,23	98,30	926.512.421,83
Cape Verde	1.374.970,93	99,90	0,00	---	-1.374.970,93
Central African Republic	0,00	---	2.528.936,14	100,00	2.528.936,14
Sri Lanka	384.875,89	93,52	8.392.816,09	97,77	8.007.940,20
Chile	23.455.997,31	100,00	22.071.016,22	84,46	-1.384.981,09
China	804.565.070,54	100,00	262.203.088,56	92,91	-542.361.981,98

Colombia	29.135,40	99,08	6.309.363.542,78	100,00	6.309.334.407,38
Comoros	0,00	---	17.194,12	100,00	17.194,12
Congo, Rep	10.814.506,36	100,00	73.229.901,56	100,00	62.415.395,20
Congo, Dem. Rep.	1.825.388,04	100,00	37.800.542,38	100,00	35.975.154,34
Costa Rica	3.342,01	100,00	682.657.256,82	100,00	682.653.914,81
Croatia	4.181.720,44	98,19	32.691.621,05	99,99	28.509.900,61
Cuba	1.442,88	100,00	330.733.693,36	99,53	330.732.250,48
Cyprus	51.569.572,67	99,95	74.492.753,24	22,16	22.923.180,58
Czech Republic	102.179.925,84	99,76	2.795.347.453,83	100,00	2.693.167.527,99
Benin	112,37	100,00	1.874.937,26	100,00	1.874.824,89
Denmark	1.676.164.238,70	99,93	1.432.760.858,94	99,92	-243.403.379,76
Dominica	0,00	---	5.730.688,62	100,00	5.730.688,62
Dominican Republic	101.984,63	92,96	145.927.494,16	100,00	145.825.509,53
Ecuador	59.577,21	99,91	1.411.829.016,31	99,99	1.411.769.439,10
El Salvador	1.013,50	99,78	2.838.491.861,36	98,96	2.838.490.847,86
Ethiopia	941.471,09	100,00	947.835.708,50	99,01	946.894.237,41
Eritrea	4.609.279,54	100,00	0,00	---	-4.609.279,54
Estonia	45.703.358,59	100,00	8.506.305,58	100,00	-37.197.053,01
Faroe Islands	429.485,83	99,60	0,00	---	-429.485,83
Fiji	0,00	---	27.806.141,83	100,00	27.806.141,83
Finland	697.705.993,63	99,99	15.321.836,55	100,00	-682.384.157,09
France	1.265.492.877,86	99,94	10.728.463.010,62	96,09	9.462.970.132,76
Djibouti	0,00	---	50.105,16	18,50	50.105,16
Gabon	3.006.455,03	100,00	275,24	100,00	-3.006.179,79
Georgia	3.146.663,84	99,90	17.329,12	97,19	-3.129.334,72
Gambia	2.566.413,82	99,77	2.749.151,98	99,43	182.738,17
Ghana	1.079.922,65	99,99	2.071.376.686,86	100,00	2.070.296.764,21
Greece	780.919.272,51	99,94	252.574.315,44	65,96	-528.344.957,07
Greenland	19.271,30	90,89	0,00	---	-19.271,30
Grenada	0,00	---	156.875,30	100,00	156.875,30
Guatemala	240.275,90	100,00	1.858.629.512,19	100,00	1.858.389.236,29
Guinea	810.085,31	100,00	101.947.315,84	100,00	101.137.230,53
Guyana	0,00	---	47.029.365,57	71,08	47.029.365,57
Haiti	0,00	---	47.896.694,49	100,00	47.896.694,49
Honduras	5.345,85	87,85	1.972.475.354,15	99,92	1.972.470.008,31
Hungary	25.003.669,58	98,74	1.675.771.556,88	98,90	1.650.767.887,30
Iceland	14.311.258,95	99,99	0,00	---	-14.311.258,95
India	51.400.624,27	100,00	1.419.306.270,94	97,17	1.367.905.646,67
Indonesia	543.128,92	97,81	7.085.495.423,84	100,00	7.084.952.294,92
Iran	889.359.349,64	100,00	35.964.579,02	27,93	-853.394.770,62
Iraq	20.714.082,14	100,00	0,00	---	-20.714.082,14
Ireland	170.641.165,48	99,98	55.225.224,08	100,00	-115.415.941,40
Israel	397.312.366,11	99,99	50.079.977,96	8,76	-347.232.388,15
Italy	2.243.091.229,06	99,83	1.157.940.554,05	70,14	-1.085.150.675,01
Cote D'Ivoire	33.302.193,65	100,00	8.008.727.297,42	100,00	7.975.425.103,77

Jamaica	0,00	---	2.456.156,93	99,44	2.456.156,93
Japan	1.314.189.973,16	100,00	580.484,86	93,91	-1.313.609.488,31
Kazakhstan	234.746,80	99,84	11.649.877,77	99,50	11.415.130,97
Jordan	451.693.447,63	100,00	483.357,42	93,18	-451.210.090,21
Kenya	1.736.886,99	100,00	2.481.699.560,71	86,04	2.479.962.673,72
Korea, Democratic People's Republic of	9.827,17	98,15	1.955,48	100,00	-7.871,69
Korea, Republic of	480.338.154,13	100,00	38.120,43	97,07	-480.300.033,70
Kuwait	94.403.248,30	99,98	0,00	---	-94.403.248,30
Kyrgyzstan	830.541,47	99,88	106.092,02	70,13	-724.449,45
Laos	0,00	---	73.414.964,18	99,99	73.414.964,18
Lebanon	45.832.135,89	100,00	49.968,30	92,05	-45.782.167,59
Latvia	4.378.175,98	99,62	51.414.156,43	100,00	47.035.980,46
Liberia	0,00	---	66.078.223,37	100,00	66.078.223,37
Libya	64.950.835,53	100,00	21.871,84	10,07	-64.928.963,69
Lithuania	20.288.626,82	99,88	234.426.323,95	100,00	214.137.697,13
Luxembourg	30.372.303,94	99,99	34.204.654,59	100,00	3.832.350,65
Madagascar	101.753.246,72	100,00	194.533.767,78	100,00	92.780.521,06
Malawi	1.049.513,38	100,00	166.842.311,80	48,58	165.792.798,42
Malaysia	471.085,64	93,48	33.940.021,57	100,00	33.468.935,93
Maldives	30.554,10	99,46	0,00	---	-30.554,10
Mali	14.502.912,60	100,00	0,00	---	-14.502.912,60
Malta	2.917.038,37	99,99	474.735,67	33,48	-2.442.302,69
Mauritius	2.742.464,90	100,00	3.636,97	85,17	-2.738.827,92
Mexico	217.317.775,53	100,00	585.910.580,66	98,74	368.592.805,13
Mongolia	75.097,51	100,00	1.106,06	100,00	-73.991,45
Moldova Republic of	432.194,81	95,16	9.019.189,79	98,27	8.586.994,98
Montenegro	3.658.511,13	99,40	7.534.160,37	100,00	3.875.649,24
Morocco	423.079.726,35	100,00	135.221.816,42	19,11	-287.857.909,92
Mozambique	1.750.331,30	100,00	1.820.100,56	95,86	69.769,27
Oman	542.248,63	97,38	969,38	5,78	-541.279,25
Namibia	61.766,04	100,00	587.449,99	100,00	525.683,96
Nepal	733.035,65	100,00	43.282,69	100,00	-689.752,96
Netherlands	6.190.843.120,27	99,44	6.815.082.512,40	99,94	624.239.392,13
Netherlands Antilles	592,18	96,03	0,00	---	-592,18
Aruba	36.626,19	99,81	0,00	---	-36.626,19
Vanuatu	0,00	---	3.510.514,65	100,00	3.510.514,65
New Zealand	38.419,60	100,00	1.372.649,18	99,74	1.334.229,58
Nicaragua	196.347,23	100,00	1.157.448.795,34	100,00	1.157.252.448,11
Niger	0,00	---	161.442,97	92,73	161.442,97
Nigeria	23.819.315,66	100,00	1.395.250.372,61	99,97	1.371.431.056,95
Norway	207.074.992,25	99,99	852,23	98,00	-207.074.140,01
Pakistan	74.026.541,36	100,00	31.016.684,15	15,86	-43.009.857,21
Panama	113.483,77	93,52	73.770.838,97	100,00	73.657.355,19

Papua New Guinea	0,00	---	3.222.023.613,80	100,00	3.222.023.613,80
Paraguay	724,82	100,00	272.913.831,93	100,00	272.913.107,11
Peru	1.868.744,68	100,00	2.048.737.042,26	99,96	2.046.868.297,58
Philippines	239.485,62	94,15	208.899,66	99,98	-30.585,96
Poland	848.821.267,88	99,94	214.447.735,41	99,98	-634.373.532,47
Portugal	557.516.606,63	99,98	7.772.747,04	75,20	-549.743.859,59
Timor Leste (East Timor)	471.208,69	100,00	38.158.694,11	100,00	37.687.485,42
Qatar	22.360,21	99,96	0,00	---	-22.360,21
Romania	4.635.948,14	99,07	88.481.881,82	97,99	83.845.933,68
Russian Federation	625.479.315,65	99,99	1.210.389.000,38	99,28	584.909.684,73
Rwanda	1.779,24	100,00	204.615.034,40	100,00	204.613.255,16
Saint Lucia	1.262,52	100,00	0,00	---	-1.262,52
Saint Vincent and the Grenadines	0,00	---	28.647,88	100,00	28.647,88
Sao Tome and Principe	0,00	---	47.341.660,92	87,72	47.341.660,92
Saudi Arabia	3.993.137.660,41	100,00	869.460,06	6,11	-3.992.268.200,36
Senegal	73.299.983,10	100,00	1.680.271,44	100,00	-71.619.711,65
Serbia (including Kosovo)	3.658.511,13	99,40	5.959.782,80	99,89	2.301.271,67
Seychelles	626,93	99,96	0,00	---	-626,93
Sierra Leone	574.585,89	99,99	18.981.993,24	100,00	18.407.407,35
Singapore	15.860,71	99,12	0,00	---	-15.860,71
Slovakia	42.198.447,29	99,87	477.371.129,75	98,42	435.172.682,46
Vietnam	381.586,56	99,97	1.687.982.178,86	100,00	1.687.600.592,30
Slovenia	29.935.109,67	99,95	4.205.532,51	100,00	-25.729.577,16
Somalia	0,00	---	566,51	100,00	566,51
South Africa	71.344.150,41	99,99	174.868.319,74	53,97	103.524.169,34
Zimbabwe	0,00	---	115.449.789,00	44,81	115.449.789,00
Spain	1.140.371.530,96	99,99	2.680.330.972,11	47,06	1.539.959.441,16
Sudan	31.756.449,21	100,00	22.898.633,47	93,55	-8.857.815,74
Suriname	0,00	---	32.356.594,59	79,04	32.356.594,59
Swaziland	1.443.845,13	100,00	2.555.531,94	87,94	1.111.686,81
Sweden	560.195.455,73	99,94	219.109.749,61	99,98	-341.085.706,12
Switzerland	111.127.655,76	99,91	3.926.140,34	100,00	-107.201.515,42
Syria	44.893.425,56	100,00	1.807.627,48	3,28	-43.085.798,08
Thailand	17.658.261,00	100,00	518.344.103,28	89,92	500.685.842,29
Togo	3.253.962,39	100,00	133.889.574,85	100,00	130.635.612,46
Tokelau	8.871,19	100,00	0,00	---	-8.871,19
Trinidad and Tobago	31.731,91	100,00	2.629.148,34	99,49	2.597.416,43
United Arab Emirates	11.346.444,75	99,62	131.348,84	3,65	-11.215.095,91
Tunisia	262.053.423,04	100,00	80.277.933,67	20,35	-181.775.489,37
Turkey	701.234.580,71	99,98	316.282.551,19	80,75	-384.952.029,51
Turkmenistan	988.828,13	100,00	0,00	---	-988.828,13

Uganda	47.511,55	100,00	1.184.702.146,87	100,00	1.184.654.635,33
Ukraine	4.775.576,90	99,11	426.357.588,82	98,94	421.582.011,93
Macedonia	13.534.841,19	99,97	27.904,86	88,80	-13.506.936,33
Egypt	36.023.889,68	99,95	105.424.957,32	1,52	69.401.067,64
United Kingdom	1.510.432.763,18	99,97	816.992.908,43	99,96	-693.439.854,75
Tanzania	308.187,69	100,00	1.393.642.571,55	100,00	1.393.334.383,86
United States of America	4.441.994,80	100,00	17.266.970.085,08	91,96	17.262.528.090,27
Burkina Faso	1.577.121,54	100,00	26.356,67	100,00	-1.550.764,87
Uruguay	17.429.497,49	100,00	141.635.545,00	98,06	124.206.047,51
Uzbekistan	52.034.730,21	99,99	504.988,85	26,07	-51.529.741,36
Venezuela	15.394.771,71	99,89	211.603.347,42	94,27	196.208.575,71
Yemen	0,00	---	95.908,99	18,71	95.908,99
Zambia	422.701,26	100,00	115.531.197,44	36,57	115.108.496,18
World	37.250.083.012,83	99,33	138.844.686.073,47	85,58	101.594.603.060,64

8 Eigenständigkeitserklärung

„Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungs- oder Studienleistung – auch nicht auszugsweise – verwendet wurde.“

Frankfurt, den 23. Juli 2009

Mona Christ