Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

Weitergehende Überlegungen zum bilanzhaften Ansatz des Wasserfußabdrucks

verfasst von

Nadine SINEMUS, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Wien, Oktober 2021

Betreut von:

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Reinhard Perfler
Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Roman Neunteufel
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Vorwort

Diese Arbeit wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien unter der Betreuung von Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Roman Neunteufel und Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Reinhard Perfler. Die Erarbeitung erfolgte im Rahmen der Studie „Virtuelles Wasser 2021: Wasserfußabdruck – der Wasserverbrauch für Güter des täglichen Bedarfs“ im Auftrag der ÖVGW und des BMLRT. In diesem Zuge möchte ich mich bei Roman Neunteufel für die ausgiebige Hilfe und gute Zusammenarbeit bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ***I***

Inhaltsverzeichnis ***III***

Kurzfassung ***V***

1. Einleitung ***1***

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung ***2***

3. Allgemeine Grundlagen zum Wasserfußabdruck ***3***

3.1 Virtuelles Wasser und Wasserfußabdruck 3

3.1.1 Der Wasserfußabdruck von Pflanzen und Pflanzenprodukten 4

3.1.2 Der Wasserfußabdruck von Tieren und tierischen Produkten 5

3.1.3 Der Wasserfußabdruck von Industriegütern 6

3.2 Verwendete Datengrundlagen für Österreich 7

3.3 Der Wasserfußabdruck Österreichs 8

3.4 Konsumveränderungen in Österreich 9

4. Material und Methoden ***11***

4.1 Berechnungsmethoden des Wasserfußabdrucks 11

4.2 Berechnung des Wasserfußabdrucks tierischer Produkte 13

4.3 Zusammensetzung des Wasserfußabdrucks Österreichs 14

4.4 Berechnung des Wasserfußabdrucks mittels CROPWAT 15

4.4.1 Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Weizen 15

4.4.2 Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Mais 17

4.4.3 Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Gras 17

4.5 Änderungen des Konsumverhaltens 18

4.5.1 Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Importe 18

4.5.2 Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Konsumänderungen 20

5. Ergebnisse und Diskussion ***22***

5.1 Wasserfußabdruck in Österreich – Veränderungen zu den bisherigen Daten 22

5.1.1 Veränderungen des Wasserfußabdrucks durch Importe 22

5.1.2 Veränderungen der konsumierten Menge eines Produktes 25

5.1.3 Veränderungen durch klimatische Bedingungen 27

5.1.4 Auswirkungen von Lebensmittelverlusten auf den Wasserfußabdruck 30

5.1.5 Änderungen des Wasserfußabdrucks unter Einbezug der Ertragsänderungen 33

5.1.6 Gegenüberstellung des Wasserfußabdrucks 1996–2005 zu 2014–2018 35

5.1.7 Gegenüberstellung des Wasserfußabdrucks 2014–2018 zu 2041–2070 37

6. Interpretation ***42***

6.1 Einsparungspotenziale 42

6.2 Relativierung des bilanzhaften Ansatzes 44

6.2.1 Methodische Unschärfen 44

6.2.2 Gesamtheitliche Betrachtungen über den Wasserfußabdruck hinaus 49

7. Schlussfolgerungen und Ausblick ***53***

8. Zusammenfassung ***57***

Abbildungsverzeichnis ***61***
Tabellenverzeichnis ***61***
Literaturverzeichnis ***62***
Abkürzungen ***66***
Anhang ***67***
Anhang I: Datenzusammenstellung konsumverfügbarer Mengen 67
Anhang II: CROPWAT-Berechnungen 67
Lebenslauf ***92***
Eidesstattliche Erklärung ***93***

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit behandelt das Konzept des virtuellen Wassers und des Wasserfußabdrucks. Dabei werden Einflussgrößen fokussiert und nach Möglichkeit erneuert, um potenzielle Änderungen zu den bisher veröffentlichten Daten aufzuzeigen. Neben der Aktualisierung für den Zeitraum 2014–2018 wird auch eine zukünftige Abschätzung im Zeitraum um 2050 unter Einbezug des Klimawandels getroffen. Des Weiteren wird auf methodische Unschärfen bei der Berechnung des Wasserfußabdrucks eingegangen und eine gesamtheitliche Betrachtung verfolgt.

Methodisch wurden aktuelle Werte zum Konsum, zu Importen und Exporten aus statistischen Datenbanken gesammelt, sowie mittels Klima- und Pflanzenparametern der Wasserfußabdruck für ausgewählte Pflanzen mit der von Hoekstra et al. (2011) entwickelten Methodik neu berechnet.

Der vermehrte Konsum ist für Steigerungen des täglichen virtuellen Wasserbedarfs in Österreich am bedeutendsten. Es wird vermutet, dass nicht mehr konsumiert wird, sondern vermeidbare Lebensmittelabfälle zunehmen. Um den Pro-Kopf-Bedarf an virtuellem Wasser zu reduzieren, würde es schon genügen sich an die Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung zu halten. Dies würde den Wasserfußabdruck, der insgesamt 4.377 Liter pro Person und Tag beträgt, um 900 Liter senken. Im Bezug zum Klimawandel konnte festgestellt werden, dass je nach Klimawandelszenario der Wasserfußabdruck von Landwirtschaftsprodukten um bis zu 11 % im Vergleich zum aktuellen Zeitraum steigt.

Methodische Unschärfen ergaben sich vor allem durch den Ertrag pro Hektar. Durch Effizienzsteigerungen in der Landwirtschaft sinkt der Wasserfußabdruck einzelner pflanzlicher Produkte. Es wird jedoch kein erhöhter Pflanzenwasserbedarf durch dichteren Bestand berücksichtigt.

Der Wasserfußabdruck ist ein Werkzeug zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen. Für einen gesamtheitlichen Ansatz unter Einbezug weiterer Auswirkungen neben dem Wasserbedarf ist vor allem die Ökobilanz ein hilfreiches Instrument.

Abstract

This thesis presents the concept of virtual water and water footprint. Influencing variables are analysed and, where possible, updated to show potential changes to the previously published data. In addition to updating the data for the period 2014–2018, a future estimate is made for the period around 2050, taking climate change into account. Furthermore, methodological uncertainties in the calculation of the water footprint are addressed and a holistic view is taken.

Methodically, current values on consumption, imports and exports were collected from statistical databases and the water footprint for selected plants was recalculated using climate and plant parameters with the methodology developed by Hoekstra et al. (2011).

Increased consumption is most significant for the growth of the daily virtual water demand in Austria. Although the data show increased consumption, it is most likely that not the consumption itself but avoidable food waste has grown. It would be sufficient to follow the recommendation of the German Nutrition Society to reduce the per-capita demand for virtual water. This would reduce the water footprint, which totals 4,377 litres per person per day, by 900 litres. In relation to climate change, it was found that depending on the climate change scenario, the water footprint of agricultural products increases up to 11 % compared to the current period.

Methodological inaccuracies resulted mainly from the yield per hectare. Efficiency improvements in agriculture reduce the water footprint of individual crop products. However, increased plant water demand due to denser cultivation is not considered.

The water footprint is a tool for quantifying environmental impacts. For a holistic approach that includes other impacts besides water demand, life cycle assessment is a particularly helpful tool.

1. Einleitung

Außergewöhnlich warme Sommer mit anhaltenden Hitzewellen und Trockenperioden treten seit einigen Jahren immer häufiger auf. Dies führt zur Frage, ob Österreichs Wasserressourcen unter diesen Bedingungen und bei steigendem Wasserverbrauch ausreichen. Im Rahmen dieser Thematik liegt der Gedanke an mögliche Einsparungspotenziale der Ressource Wasser auf der Hand. Am naheliegendsten sind Einsparungen in Bezug auf den direkten Wasserkonsum, also im Bereich der öffentlichen Trinkwasserversorgung. Dabei birgt auch der indirekte Wasserkonsum hohe Einsparungspotenziale. Dieser beinhaltet auch die Verbrauchsmengen, die national wie auch international für die Produktion von Konsumgütern benötigt werden.

Insbesondere in wasserarmen Regionen – wo teilweise wasserintensive Konsumgüter produziert werden – kommt es zunehmend zu Nutzungskonflikten in Bezug auf die Ressource. Unter Einbezug dieser geopolitischen Komponente wird die Dringlichkeit von wassersparenden Maßnahmen bei der Erzeugung von Gütern des täglichen Bedarfs hervorgehoben.

Das Konzept des virtuellen Wassers bzw. des Wasserfußabdrucks wird hier zur Hilfe gezogen. Dieses berücksichtigt den Wasserverbrauch einzelner Güter von Beginn an und zeigt zudem auf, aus welchen Regionen wie viel Wasser verwendet wird. Da die Datengrundlage der etablierten Kennzahlen jedoch vor über zwei Jahrzehnten erarbeitet wurde, ist zu vermuten, dass diese nicht mehr ganz zutreffend ist. Es ist anzunehmen, dass sowohl aufgrund von Änderungen des Konsumverhaltens wie auch wegen dem Klimawandel der durchschnittliche Wasserfußabdruck des österreichischen Konsums sich verändert hat.

Diese Masterarbeit, verfasst im Zeitraum von März 2021 bis September 2021, beschäftigt sich mit der Aufbereitung des Themas *virtuelles Wasser/Wasserfußabdruck* und untersucht den durchschnittlichen Wasserfußabdruck Österreichs. Dabei werden die Eingangsdaten für einzelne Produkte aktualisiert, um abschätzen zu können, inwieweit sich der Wasserfußabdruck zu den bisher publizierten Daten geändert hat. Im Zuge der Aufbereitung wird auch auf die methodischen Unschärfen bei der Bestimmung des Wasserfußabdrucks eingegangen werden, um mögliche irreführende Schlussfolgerungen zu vermeiden.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist es das Konzept des virtuellen Wassers und Wasserfußabdrucks und bisherige Berechnungen und Publikationen des Wasserfußabdrucks von Österreich darzustellen. Im Weiteren werden die bisherigen veröffentlichten Daten zum Wasserfußabdruck in Österreich nachvollzogen und für ausgewählte Produkte mit aktuellen Daten aus den Jahren 2014–2018 neu zu berechnet, um zumindest exemplarisch mögliche Veränderungen des Wasserfußabdrucks feststellen zu können. Dies soll auch für den Zeithorizont 2041–2070 in unterschiedlichen Klimaszenarien erfolgen, um den Einfluss des Klimas in Zukunft abschätzen zu können. Außerdem wird hinterfragt, ob und wo es Unschärfen bei der Quantifizierung des Wasserbedarfs in Form des Wasserfußabdrucks geben könnte. Zuletzt erfolgt eine holistische Betrachtung unterschiedlicher Quantifizierungsmöglichkeiten von Umweltauswirkungen und deren Zusammenspiel untereinander. Die Ziele lassen sich in den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Aufbereitung und Datenzusammenstellung zum Thema *virtuelles Wasser/Wasserfußabdruck* mit direktem Bezug zu Österreich
- Aufzeigen und Vergleich möglicher Einsparungspotenziale an virtuellem Wasser
- Entwicklung von möglichen Szenarien der Veränderung des Wasserfußabdrucks durch sozio-ökonomische Rahmenbedingungen und Klimawandel
- Darstellung von Unschärfen bei der Berechnung des Wasserfußabdrucks
- Relativierung der Betrachtung des bilanzhaften Ansatzes des Wasserfußabdrucks

Diese Arbeit gliedert sich in 5 Teile. Im Ersten Schritt werden mit Hilfe einer Literaturrecherche die Hintergründe und Berechnungsmethoden des virtuellen Wassers bzw. des Wasserfußabdrucks ermittelt. Zusätzlich werden die Einflussfaktoren auf den Wasserfußabdruck dargestellt und aktuelle Werte dieser gesucht. Zudem wird der aktuell publizierte Stand des Wasserfußabdrucks für Österreich aufbereitet.

Der Methodik-Teil zeigt eine genaue Aufschlüsselung der Berechnung des Wasserfußabdrucks für Pflanzen und für tierische Produkte. Des Weiteren wird beschrieben, wie die Berechnung einzelner Produkte mit aktuellen bzw. Zukunfts-Daten erfolgt. Im weiteren Verlauf soll die Methodik zur Änderung des Wasserfußabdrucks durch Konsumänderungen aufgezeigt werden.

Im Folgenden Teil werden die Ergebnisse dargestellt. Dafür wird exemplarisch für einzelne pflanzliche Produkte der blaue und grüne Wasserfußabdruck neu berechnet, um den Einfluss von Klimaänderungen nachvollziehen zu können. Des Weiteren erfolgt eine Aufbereitung von Klimawandel-Szenarien und deren möglichen Einfluss auf den Wasserfußabdruck. Die Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Änderungen der Einflussfaktoren werden ebenso aufgezeigt.

Die im Kapitel 5 ermittelten Ergebnisse werden anschließend interpretiert. Es werden Einsparungspotenziale aufgezeigt sowie der bilanzhafte Ansatz des Wasserfußabdrucks relativiert, indem eine gesamtheitliche Betrachtung von Umweltauswirkungen über den Wasserfußabdruck hinaus beschrieben werden.

Im letzten Abschnitt dieser Arbeit werden Schlussfolgerungen gezogen und ein Ausblick auf weitere Forschungspotenziale gegeben.

3. Allgemeine Grundlagen zum Wasserfußabdruck

Virtuelles Wasser und der Wasserfußabdruck haben vor allem im Bezug zum Klimawandel wieder an Aktualität gewonnen, da die größten Potenziale zum Wassersparen gefunden werden. Um ein besseres Verständnis für die Thematik zu bekommen, werden im folgenden Kapitel sowohl die Begriffe *virtuelles Wasser* und *Wasserfußabdruck* definiert sowie auch die Grundlagen zur Berechnung dieser erläutert werden. Des Weiteren werden die wichtigsten Datengrundlagen und Quellen beschrieben.

3.1 Virtuelles Wasser und Wasserfußabdruck

Virtuelles Wasser beschreibt den Bedarf an Frischwasser, welcher für die Herstellung eines Produktes über den gesamten Herstellungszyklus benötigt wird. Dies beinhaltet sowohl das Wasser, welches für den Gesamtzeitraum des Pflanzenwachstums verwendet wird – von der Aussaat bis zur Ernte – sowie auch jegliches Wasser für die Rohstoffgewinnung und Weiterverarbeitung, bis ein Produkt letztendlich konsumverfügbar ist. Beim Ansatz des virtuellen Wassers fallen Transporte kaum ins Gewicht, das Hauptaugenmerk liegt beim pflanzlichen Anbau bzw. bei der Produktion. Das Konzept des virtuellen Wassers wurde zum ersten Mal von Allen im Jahr 1998 eingeführt. Dieser entwickelte den Wasserfußabdruck als Hilfsmittel, um neue Lösungen für die Wasserknappheit im Mittleren Osten zu finden (Allen, 1998).

Virtuelles Wasser wird als volumetrische Einheit (z.B. m^3 pro kg hergestelltes Gut) betrachtet und in grünes, blaues und graues Wasser eingeteilt. In dieser Unterteilung wird das virtuelle Wasser überwiegend als Wasserfußabdruck bezeichnet (Hoekstra et al., 2011). Der Begriff des Wasserfußabdrucks wurde 2002 von Hoekstra und Hung eingeführt und wurde analog zur Bezeichnung des ökologischen Fußabdrucks gewählt (Hoekstra und Hung, 2002). Dieser ist ein multidimensionaler Indikator, welcher die Menge des Wasserkonsums nach Gewinnungsart und nach Art der Verschmutzung zeigt (Hoekstra et al., 2011).

Der grüne, blaue und graue Wasserfußabdruck werden wie folgt definiert:

- Der grüne Wasserfußabdruck beschreibt die Menge an Regenwasser, welche für Pflanzen über die gesamte Wachstumsdauer verfügbar ist. Hierbei ist der Niederschlag gemeint, welcher vom Boden gespeichert wird.
- Der blaue Wasserfußabdruck ist Oberflächen- und Grundwasser, welches zur Pflanzenbewässerung, Rohstoffgewinnung oder in der Produktion verwendet wird.
- Der graue Wasserfußabdruck bezieht sich auf die Verschmutzung und ist definiert als die Menge an Wasser, die benötigt wird um die Schadstoffmenge so weit zu verdünnen, dass bestehende Wasserqualitätsstandards eingehalten werden.

  (Hoekstra et al., 2011)

Der Anteil des virtuellen Wassers wird auch häufig als indirekter Wasserverbrauch bezeichnet. Dieser übersteigt um ein Vielfaches den direkten Wasserverbrauch, welcher in Haushalten und Gärten sowie anteilig für öffentliche Einrichtungen oder Verluste anfällt.

Der indirekte Wasserverbrauch bzw. der Wasserfußabdruck werden in einen internen und externen Anteil unterschieden. Der interne Verbrauch bezieht sich hierbei auf Wasserressourcen, welche im Inland für die Produktion von Konsumgütern verwendet wird. Der externe Verbrauch bezieht sich auf die Wassermenge, welche im Ausland für die Produktion von Gütern genutzt wird. Der

Einbezug des externen Verbrauchs ist entscheidend, um ein vollständiges Bild davon zu erhalten, wie sich der nationale Wasserverbrauch auf die Wassernutzung nicht nur im Land selbst, sondern auch im Ausland auswirkt, um somit die Wasserabhängigkeit und Nachhaltigkeit von Importen nachvollziehen zu können (Hoekstra et al., 2011).

3.1.1 Der Wasserfußabdruck von Pflanzen und Pflanzenprodukten

Die am häufigsten verwendeten Daten zum Wasserfußabdruck von Pflanzen und Pflanzenprodukten stammen aus der Publikation von Mekonnen und Hoekstra (2010a). Zur Bestimmung des grünen, blauen und grauen Wasserfußabdrucks von insgesamt 126 Pflanzen wurde ein rasterbasiertes Wasserbilanzmodell erstellt. Als Eingangsdaten für dieses Modell werden u.a. Klimadaten, Pflanz- und Erntezeitpunkte, Bewässerung und Ertrag verwendet. Für weitere 20 Pflanzen wurde in der vorliegenden Arbeit die Software CROPWAT genutzt, welche von der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) entwickelt wurde. Die Berechnungsmethode des Wasserfußabdrucks mittels CROPWAT wird in Kapitel 4.4 genauer erläutert. Mit der Publikation von Mekonnen und Hoekstra (2010a) wird somit eine Datengrundlage des Wasserfußabdrucks von insgesamt 146 Pflanzen und Pflanzenprodukte geschaffen. Darunter fallen auch Biokraftstoffe, also die Produktion von Biodiesel und Bioethanol aus den jeweils geeigneten Energiepflanzen. Für die Berechnung des Wasserfußabdrucks wurden nach Mekonnen und Hoekstra (2010a) mehrere Annahmen getroffen:

- Pflanzenspezifische Bewässerungskarten waren nur für einzelne Pflanzen bekannt, daher wurde für alle anderen Pflanzen die Annahme getroffen, dass alle Pflanzen der gleichen Pflanzenkategorie (einjährig/mehrjährig) den gleichen Anteil an bewässerter Fläche im Vergleich zur gesamten Erntefläche haben. Dies führt zu einer Unterschätzung des blauen Wasserfußabdrucks für Pflanzen, die sehr wahrscheinlich bewässert werden und zu einer Überschätzung des blauen Wasserfußabdrucks für Pflanzen, die nicht bewässert werden.
- Die Aussaat- und Erntezeitpunkte, welche zur Berechnung des Wasserfußabdrucks verwendet wurden, sind nur auf nationaler, nicht regionaler Ebene bekannt.
- Die Wurzeltiefe für sowohl nicht bewässerte als auch bewässerte Pflanzen ist definiert über die Pflanzencharakteristik. Der Einfluss des Bodens auf die Wurzeltiefe wird außer Acht gelassen.
- Das Wasserhaltevermögen des Bodens wird nur mit Hilfe der dominierenden Bodenart bestimmt.
- Bei Pflanzenbewässerung wird angenommen, dass die benötigte Bewässerungsmenge gegeben ist
- Düngemittelausbringungsmengen je Pflanze und Nation sind für die meisten Pflanzen nicht bekannt und werden daher abgeschätzt.
- Der graue Wasserfußabdruck wird über einen vereinfachten Ansatz bestimmt und kann daher nur als Schätzung gesehen werden.
- Zur Schätzung des Ertrages wird ein vereinfachtes lineares Modell verwendet, welches nur die Auswirkung des Wasserdefizits auf die Ertragsminderung berücksichtigt, jedoch andere Faktoren wie der Einsatz von Düngemitteln, den Salzgehalt des Bodens oder die Anbaueigenschaften der Pflanzen außer Acht lässt.
- Obwohl Zwischenfruchtanbau und Mehrfachanbau in den meisten Teilen der Welt praktiziert werden, wurden diese Praktiken nicht ausdrücklich berücksichtigt.

Im Bezug zum Wasserfußabdruck unterscheiden sich Pflanzenarten deutlich voneinander. Zucker oder Gemüse (rund 200-300L/kg) haben beispielsweise einen sehr geringen Wasserfußabdruck im Vergleich zu Kaffee, Tee oder Nüssen (rund 9.000 L/kg). Im internationalen Vergleich haben vor allem Indien und China mit 1.047 Gm³/a bzw. 967 Gm³/a einen sehr hohen Wasserfußabdruck, wobei jeweils der Verbrauch an grünem Wasser dominiert. Beim blauen Wasserfußabdruck sind neben Indien und China noch die USA und Pakistan zu nennen. Global gesehen beträgt der Wasserfußabdruck der Pflanzenproduktion im Zeitraum 1996–2005 7.404 Gm³ pro Jahr. Ein hoher blauer Wasserfußabdruck ist vor allem in ariden und semi-ariden Regionen zu finden (Mekonnen und Hoekstra, 2010a).

Global gesehen sind 78 % des für die Pflanzenproduktion verwendeten Wassers grünes Wasser. Blaues Wasser wird zu 12 % benötigt, graues Wasser macht einen Anteil von 10 % aus. In Österreich sind es rund 71 % grünes Wasser, 6 % blaues und 23 % graues Wasser und hat somit im Vergleich zum weltweiten Durchschnitt einen erhöhten Verbrauch an grauem Wasser. Im Allgemeinen ist der Wasserfußabdruck von nicht bewässerten Pflanzen höher als von bewässerten. Grund sind hierfür in der Regel höhere Erträge bei bewässertem Anbau (Mekonnen und Hoekstra, 2010a).

3.1.2 Der Wasserfußabdruck von Tieren und tierischen Produkten

Ähnlich zu Pflanzen und Pflanzenprodukten wurde auch für den Wasserfußabdruck von Tieren und tierischen Produkten eine Datenbank von Mekonnen und Hoekstra (2010b) geschaffen. Die nachfolgende Zusammenfassung der globalen Situation beruht auf den Daten von Mekonnen und Hoekstra (2010b). Genauer betrachtet wurden Rinder für die Fleischproduktion, Kühe zur Milchproduktion, Schweine, Schafe, Ziegen, Geflügel für die Fleischproduktion, Legehennen und Pferde. Die Betrachtung des Wasserfußabdrucks von tierischen Produkten ist im internationalen Kontext weiterhin von großer Bedeutung, da ein steigender globaler Fleischkonsum zu beobachten ist. Allein im Zeitraum von 1980-2004 hat sich die globale Fleischproduktion fast verdoppelt.

Für die Bestimmung des Wasserfußabdrucks tierischer Produkte wird in drei Produktsysteme unterschieden: Freiland-/Weidehaltung, gemischte Systeme und Industrielle Viehzucht. Diese Systeme unterscheiden sich auch in den Anteilen von grünem, blauem und grauem Wasser. Bei Weidehaltung beträgt der Anteil des grünen Wasserfußabdrucks 94 %, bei gemischten Systemen 87 % und bei industrieller Viehzucht 82 %. Während bei der Weidehaltung fast ausschließlich Wasser vor Ort verwendet wird, treten bei der industriellen Viehzucht vermehrt Importe von virtuellem Wasser auf, da Futtermittel importiert werden.

Die Tierproduktion benötigt vor allem Wasser für die Futtermittelproduktion, als Trinkwasser und zur Reinigung der Tiere und Ställe. Mit 98 % Anteil am gesamten Wasserfußabdruck tierischer Produkte sind in erster Linie Futtermittel von Bedeutung. Dieser wird analog zu Kapitel 3.1.1 berechnet. Dabei wird berücksichtigt, ob Futtermittel als Nebenprodukt gewonnen werden (beispielsweise Zuckerrübenköpfe) oder ob sie das Hauptprodukt darstellen. Als Nebenprodukt wird der Wasserfußabdruck als Null angesehen. Die Menge und Zusammensetzung des Futters werden je nach Tierart, Haltungsform und Herkunftsland bestimmt.

Vergleicht man unterschiedliche Fleischarten miteinander, wird deutlich, dass der Wasserfußabdruck von Geflügel am geringsten (globales Mittel: 4.300 L/kg) und der vom Rind am höchsten ist (globales Mittel: 15.400 L/kg). Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass der gesamte Wasserfußabdruck von industrieller Viehzucht am geringsten ist, der von Weidehaltung am höchsten. Dies ist bedingt durch effizienteren Futtermitteleinsatz in der industriellen Tierhaltung. Dennoch ist die Futterzusammensetzung von Tieren in Weidehaltung vom Standpunkt der

Wasserressourcen gesehen günstiger, da weniger blaues Wasser benötigt wird. Im Vergleich zu Pflanzen und pflanzlichen Produkten ist der Wasserfußabdruck tierischer Produkte immer höher, da Pflanzen für die Produktion von tierischen Lebensmitteln benötigt werden (Mekonnen und Hoekstra, 2010b).

Im Zeitraum 1996-2004 betrug der Wasserfußabdruck tierischer Produkte 2.422 Gm³/a, aufgeteilt in 87 % grünes, 6 % blaues und 7 % graues Wasser. Futtermittel benötigen davon 2.376 Gm³/a, das sind insgesamt 20 % der gesamten Produktion pflanzlicher Lebensmittel. Wird nur das blaue Wasser betrachtet, werden 105 Gm³/a für Futtermittel aufgebracht, was 12 % des gesamten blauen Wasserfußabdrucks für pflanzliche Produkte ausmacht. Bei der Betrachtung des globalen Wasserfußabdrucks beträgt der gesamte Anteil tierischer Produkte 29 %.

3.1.3 Der Wasserfußabdruck von Industriegütern

Eine Datensammlung zum Wasserfußabdruck von Industriegütern wurde von Mekonnen und Hoekstra (2011) veröffentlicht. Zur Bestimmung des industriellen Wasserfußabdrucks werden Daten der AQUASTAT-Datenbank der FAO entnommen. In dieser werden Wasserentnahmen je Nation gesammelt und nach den Sektoren Landwirtschaft, Industrie und Haushalte kategorisiert. Für Industriegüter wird die Annahme getroffen, dass 5 % des für industrielle Zwecke entnommenen Wassers tatsächlich verbraucht werden (blauer Wasserfußabdruck) und der verbleibende Anteil Rückfluss ist.

Der globale Wasserfußabdruck inklusive landwirtschaftliche Produktion, direkter Wasserverbrauch, Industrie und sonstige Verbräuche für den Zeitraum 1996–2005 beträgt 9.087 Gm³/a. Aufgeteilt wird dieser in 74 % grünem, 11 % blauem und 15 % grauem Anteil. Der Anteil der landwirtschaftlichen Produktion am gesamten Wasserfußabdruck beträgt 92 %. Den größten industriellen Wasserfußabdruck hat China, gefolgt von der USA. Der Anteil Chinas am industriellen Wasserfußabdruck beträgt 22 %, den der USA 18 %.

Zur Bestimmung des Wasserfußabdrucks einzelner Industriegüter werden jeweilige Produktionsschritte und Handelsketten genauer betrachtet. In einer Publikation aus dem Jahr 2012 (Berger et al, 2012) wird genauer auf den Wasserfußabdruck von Automobilen eingegangen. Die Berechnung des Wasserfußabdruck erfolgt hierfür in drei Phasen: Produktion, Gebrauch und Entsorgung. Die Produktion ist in diesem Falle für 95 % des Wasserfußabdrucks für Automobile verantwortlich. Betrachtet wird dabei die Herkunft der Rohstoffe und das benötigte Wasser für deren Gewinnung, sowie auch verwendetes Wasser in den einzelnen Produktionsstätten. Beim Gebrauch spiegelt sich der Wasserfußabdruck in erster Linie im Verbrauch von Kraftstoffen wider. Der Wasserfußabdruck in der Entsorgung entsteht u.a. durch Recyclingprozesse. In jeglichen Phasen wird nur der Verbrauch, nicht zurückgeleitetes Wasser für die Berechnung des Wasserfußabdrucks berücksichtigt. Unter Einbezug des gesamten Lebenszyklus eines Automobils beträgt der Wasserfußabdruck hierfür zwischen 52 und 83 m³ pro Automobil, abhängig nach der Größe.

Weiters wurde der Wasserfußabdruck von Baumwolle in mehreren Publikationen behandelt. Die Datengrundlage für den Wasserfußabdruck von Baumwolle und Baumwollprodukten wurde von Chapagain et al. (2006) geschaffen. Baumwolle wird häufig von anderen Konsumgütern gesondert betrachtet, da in der Regel der Anbau und die Weiterverarbeitung in einigen wenigen Ländern stattfindet, währenddessen vor allem in westlichen Ländern Baumwollprodukte als Neuware konsumiert werden und somit einen externen Wasserfußabdruck darstellen. In Europa sind rund 84 % des Wasserfußabdrucks von Baumwollkonsum extern, mit großen Einwirkungen in Indien und Usbekistan. Die Auswirkungen des externen Verbrauchs an virtuellem Wasser sind vor allem am Beispiel des Aralsees deutlich erkennbar. Durch Wasserentnahmen zur Bewässerung hat der

Aralsee zwischen 1960-2000 rund 60 % seiner Fläche und rund 80 % seines Volumens verloren, da Wasser aus den Zuflüssen Amu Darya und Syr Darya entnommen wird um Baumwolle anzupflanzen. Global gesehen wird rund 53 % der gesamten Anbaufläche von Baumwolle bewässert.

Für die Berechnung des Wasserfußabdrucks von Baumwolle wird der Wasserfußabdruck der landwirtschaftlichen Produktion und der industriellen Produktion, welche Bleichen, Färben und Drucken beinhaltet, betrachtet.

3.2 Verwendete Datengrundlagen für Österreich

Um den aktuellen Wasserfußabdruck Österreichs abzuschätzen, werden bereits bestehende Werte aus Datenbanken und Studien mit gegenwärtigen Verbrauchs- und Konsumzahlen erneuert. Des Weiteren werden für die Abschätzung des Einflusses des Klimawandels auf den Wasserfußabdruck sowohl Klimadaten aus der Klimanormalperiode 1990–2018 sowie für die Zukunft Daten der Periode 2041–2070 benötigt.

Die wichtigste Datengrundlage sind die Publikationen von Mekonnen und Hoekstra (2010a, 2010b). In diesen werden für über 140 Pflanzen und Pflanzenprodukte und rund 100 tierische Produkte weltweit auf regionaler Ebene ein grüner, blauer und grauer Wasserfußabdruck ausgewiesen. Basierend auf einem rasterbasiertem dynamischen Wasserbilanzmodel mit einer Auflösung von 5 mal 5 Bogenminuten wurde die Wassernutzung von Pflanzen über die gesamte Wachstumsdauer mit einem 1-Tages-Zeitschritt berechnet. Das Modell verwendet für jeden Zeitschritt die tägliche Bodenwasserbilanz und klimatischen Bedingungen. Für den grauen Wasserfußabdruck wird die Wasserverschmutzung, die mit dem Einsatz von Düngemitteln in der Pflanzenproduktion verbunden ist, für jede Rasterzelle abgeschätzt (Mekonnen und Hoekstra; 2010a). Der Wasserfußabdruck von tierischen Produkten setzt sich aus dem indirekten Wasserverbrauch für Futtermittel und dem direkten Verbrauch für Trinkwasser und Servicewasser zusammen. Als Servicewasser wird die Menge an Wasser angesehen, welche für die Reinigung des Betriebes bzw. des Tieres benötigt wird (Mekonnen und Hoekstra, 2010b). Die Bestimmung des Wasserfußabdrucks für Futtermittel erfolgte analog zum Wasserfußabdruck von Pflanzen und pflanzlichen Produkten.

Zur Aktualisierung des Wasserfußabdrucks einzelner Produkte sind Klimadaten der Periode 1990–2018 notwendig. Diese Daten stehen über einen Online-Zugang zum Hydrographischen Jahrbuch der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zur Verfügung (ZAMG, 2021). Die Daten enthalten Werte zu Temperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Windgeschwindigkeit, welche für die Berechnungen der Verdunstung benötigt werden. Aus diesen Werten kann nebst anderen Eingangsdaten der virtuelle Wasserbedarf von Pflanzen berechnet werden.

Für die anschließende Einarbeitung von Klimaszenarien werden Werte aus zwei Szenarien der ÖKS15-Datenreihe verwendet (Chimani et al., 2016). Diese Datenreihe besteht aus einer Vielzahl an Klimaszenarien in Österreich und beziehen sich auf den Zeitraum 2041–2070 bzw. 2071-2100. In diesem Fall wird jedoch nur der Zeitraum um 2050 betrachtet.

Um Änderungen des Konsums abschätzen zu können, werden in erster Linie Produktions-, Import- und Exportmengen von landwirtschaftlichen Produkten gesammelt. Die statistische Datenbank der Food and Agriculture Organization (FAO) liefert differenzierte Werte der jährlichen Produktion und der Import- und Exportmengen auf nationaler Ebene (FAO, 2021). Die dafür verwendeten Daten stammen aus der Detailed Trade Matrix bzw. der Food Balance. Für Baumwolle und Baumwollprodukte liefert die Trademap des International Trade Centres (ITC) eine umfangreiche Datengrundlage (ITC,2021). Baumwolle wird nicht mit den Daten der FAO analysiert, da dort nur das Rohprodukt Baumwollfaser aufgefasst wird und nicht verarbeitete Baumwolle. Für essbare

landwirtschaftliche Produkte wird außerdem auf die Versorgungsbilanz der Statistik Austria zurückgegriffen (Statistik Austria, 2021a). Ein weiterer Aspekt des Konsums sind die damit verbundenen Lebensmittelabfälle. Daten zu vermeidbaren Lebensmittelabfällen werden aus Studien und Forschungsberichten gewonnen (Obersteiner und Luck, 2020, Noleppa und Cartsburg, 2015, Scherhaufer et al., 2016, Pladerer und Hietler, 2019, Schneider et al., 2012, Sinabell et al., 2018).

Wissenschaftliche Publikationen zum Thema Virtuelles Wasser/Wasserfußabdruck beinhalten häufig eine detailliertere Betrachtung einzelner Produkte. Die daraus resultierenden Daten fließen in die Aktualisierung des Wasserfußabdrucks für Österreich mit ein. Außerdem sind einige Studien über Zukunftsprognosen des Wasserfußabdrucks vorhanden (Ercin und Hoekstra, 2013; Mekonnen und Gerbens-Leenes, 2020). Diese liefern die Grundlage für einen Vergleich der Zukunftsabschätzung dieser Arbeit.

3.3 Der Wasserfußabdruck Österreichs

Der bisherige Stand des Wasserfußabdrucks Österreichs stammt aus mehreren Publikationen von Vanham (Vanham, 2012a, Vanham, 2012b, Vanham, 2013). Darin wird der gesamte Wasserfußabdruck von in Österreich konsumierten Produkten betrachtet und in extern bzw. intern produzierte Waren aufgeteilt. Es erfolgt in der Publikation von Vanham (2012a) eine genauere Betrachtung von insgesamt 19 landwirtschaftlichen Produkten, da essbare Erzeugnisse zu 75 % des gesamten Wasserfußabdrucks Österreichs verantwortlich sind. Die 19 Produkte zeichnen sich durch einen hohen Wasserverbrauch aus und wurden daher genauer betrachtet.

Der bisher publizierte Wasserfußabdruck Österreichs beträgt 4.377 Liter pro Person und Tag (L/(E*d)) und teilt sich auf 5 Kategorien auf (vgl. Abbildung 1):

- Direkter Wasserverbrauch 114 L/(E*d)
- Industrieprodukte 608 L/(E*d)
- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar 1.570 L/(E*d)
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar 1.729 L/(E*d)
- Landwirtschaftsprodukte – nicht essbar 356 L/(E*d)

Die Daten des bisher publizierten Stands basieren auf Konsumdaten aus den Jahren 1996–2005 und Werten der virtuellen Wassergehalte von Produkten (Mekonnen und Hoekstra, 2010a und 2010b) aus den Jahren 1997–2010. Die Gesamtmenge des Wasserfußabdrucks teilt sich in 32 % internen Verbrauch und 68 % externen Verbrauch auf, wodurch Österreich Netto-Importeur von virtuellem Wasser ist. Bei den Kulturpflanzen beträgt der externe Wasserfußabdruck 72 % und bei den tierischen Produkten 51 %. Die Aufteilung von externem und internem Anteil ist produktspezifisch sehr unterschiedlich: Baumwolle wird beispielsweise zu 100 % nach Österreich importiert.

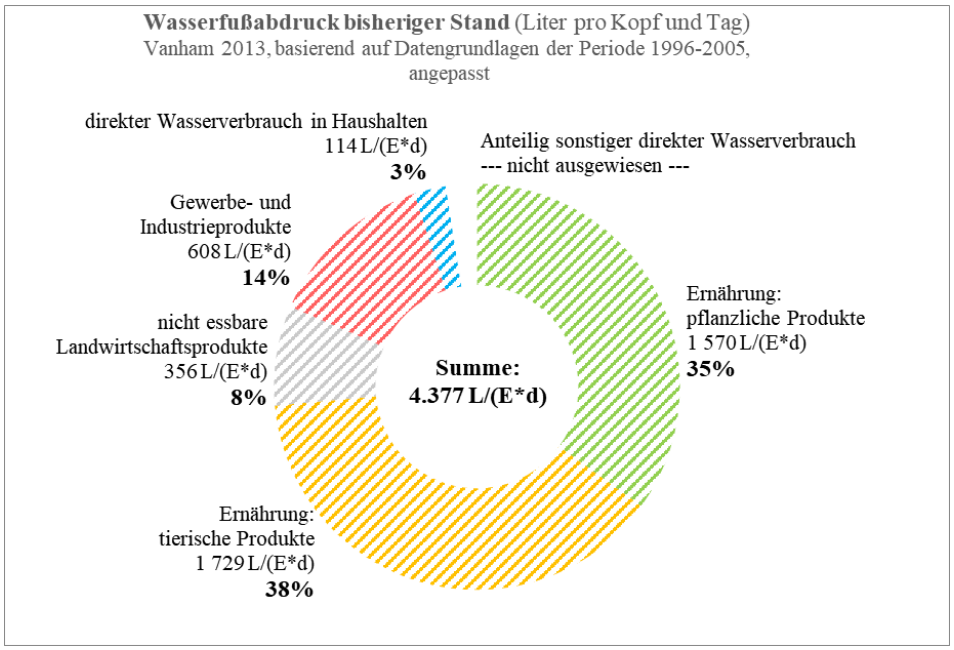

Abbildung 1: Wasserfußabdruck in Österreich – bisher publizierter Stand (Neunteufel et al., 2021; Vanham, 2013)

3.4 Konsumveränderungen in Österreich

Unter Konsumveränderungen wird sowohl die Änderung der Konsummenge als auch die Änderung des Herkunftslandes betrachtet. Die bisherigen Konsummengen mit Datengrundlage der FAO und Statistik Austria aus dem Jahr 2012 betragen für Österreich insgesamt 783,6 kg pro Person und Jahr bzw. 2,15 kg pro Person und Tag (Vanham, 2013). Laut Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) beträgt der Lebensmittelkonsum insgesamt 750,5 kg pro Person und Jahr bzw. 2,06 kg pro Person und Tag.

Zu den Konsumänderungen zählt auch die Änderung der Lebensmittelabfälle, welche nach Artikel 2 der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates als Nahrungsmittel definiert werden, die zu Abfall werden. Nach dieser Definition sind bei den Lebensmitteln sowohl die essbaren als auch nicht essbaren Teile mit inbegriffen. Unter Einbezug dieser Teilung werden auch die Abfälle in vermeidbare und unvermeidbare Lebensmittelabfälle aufgeteilt (Obersteiner und Luck, 2020), welche in der Landwirtschaft, Produktion, im Handel, in der Gastronomie und in Haushalten anfallen.

Unvermeidbare Lebensmittelabfälle sind jene Abfälle, welche üblicherweise bei der Speisenzubereitung entfernt werden. Hauptsächlich ist dabei von nicht essbaren Bestandteilen die Rede – wie beispielsweise Knochen oder Bananenschalen – aber auch von potenziell essbaren Bestandteilen – beispielsweise Kartoffelschalen (Scherhaufer et al., 2016). Unvermeidbare Lebensmittelabfälle fallen in allen Bereichen der Handelskette an – von der Landwirtschaft bis zum Haushalt.

Unter vermeidbaren Lebensmittelabfällen werden jene Lebensmittelabfälle angesehen, welche zum Zeitpunkt ihrer Entsorgung noch uneingeschränkt genießbar sind oder bei rechtzeitiger Verwendung noch genießbar gewesen wären. Die Entsorgung kann aus verschiedenen Gründen stattgefunden haben – zum einen kann es daran liegen, dass Lebensmittel nicht marktgängig sind (bei landwirtschaftlicher Produktion, (Weiter-)Verarbeitung, Distribution bzw. Groß- und Einzelhandel), zum anderen, dass sie aus unterschiedlichen Gründen nicht gegessen werden (in Großküchen- und Gastronomiebetrieben bzw. in Haushalten) (Scherhaufer et al., 2016). Als Entsorgung wird

das Einbringen in abfallwirtschaftliche Systeme verstanden, sowie auch das Nichternten von Lebensmitteln in der landwirtschaftlichen Produktion, die Verwertung durch Eigenkompostierung, Verfütterung und Einbringung in den Kanal. Im Bezug zum Wasserfußabdruck sind vor allem die vermeidbaren Lebensmittelabfälle von hoher Relevanz, da durch Einsparungen dieser auch der virtuelle Wasserbedarf reduziert werden kann.

4. Material und Methoden

Zur Bestimmung der Änderungen des Wasserfußabdrucks Österreichs werden sowohl Konsumdaten aus dem Zeitraum 2014–2018 sowie auch Daten zu Import- und Exportströmen und Klimadaten untersucht. Für die Berechnung des Wasserfußabdrucks von Pflanzen und pflanzlichen Produkten werden nachstehende Eingangsdaten benötigt:

- Evapotranspiration mit Bezug auf die Anbaufläche der jeweils betrachteten Pflanze
- Niederschlagsmengen
- Pflanzenkoeffizienten
- Erträge je Hektar

Durch den Einsatz aktueller Datensätze aus den Zeiträumen 2014–2018 und 2041–2070 kann die Veränderung des Wasserfußabdrucks von den bisher publizierten Daten abgeschätzt werden und mögliche zukünftige Änderungen betrachtet werden. Die detaillierte Berechnungsmethodik des Wasserfußabdrucks für pflanzliche Produkte sowie die Bestimmung der Änderungen des Konsumverhaltens sind nachfolgend näher beschrieben.

4.1 Berechnungsmethoden des Wasserfußabdrucks

Der erste veröffentlichte Ansatz zur Berechnung des Wasserfußabdrucks stammt aus dem Jahr 2009 (Hoekstra et al., 2009). Die Einarbeitung der Weiterentwicklungen erfolgte in der Publikation aus dem Jahr 2011 (Hoekstra et al., 2011). Diese bildet die Grundlage für weitere Berechnungen des Wasserfußabdrucks.

Der grüne und blaue Wasserfußabdruck beschreibt die Menge an Wasser, welche „verbraucht“ wird, um ein Produkt herzustellen. Der Begriff „Verbrauch“ bezieht sich in diesem Fall auf Wassermengen, die verdunsten, in ein anderes Einzugsgebiet oder Meer zurückfließen oder in ein Produkt aufgenommen werden (Hoekstra et al., 2011).

Die Berechnung des Wasserfußabdrucks einer Pflanze erfolgt, basierend auf den Standards der FAO (Allen et al., 1998), in 10-Tages-Schritten über die gesamte Wachstumsdauer. Zunächst wird die Grasreferenzverdunstung (ET_0) in ermittelt, welche die Verdunstung von Wasser auf einer ständig feuchten, mit 12 cm hohem Gras bewachsene Fläche beschreibt.

Berechnet wird sie mit Hilfe der Formel von Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34u_2)}$$

Mit:

ET_0	Grasreferenzverdunstung (mm/Tag)
R_n	Nettobestrahlungsstärke (MJ/(m²*Tag))
G	Bodenwärmestromdichte (MJ/(m²*Tag))
T	mittlere tägliche Lufttemperatur in 2 m Höhe (°C)
u_2	Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (m/s)
e_s-e_a	Sättigungsdampfdruckdefizit (kPa)
Δ	Steigung der Dampfdruckkurve (kPa/°C)
γ	psychrometrische Konstante (kPa/°C)

Anschließend wird die Verdunstung einer mit einer Kulturpflanze bewachsenen Fläche bestimmt. Diese wird im weiteren Verlauf Pflanzenverdunstung (ET_c) genannt. Es wird je nach Wachstumsstadium die Grasreferenzverdunstung mit dem jeweils notwendigem Pflanzenkoeffizienten K_c multipliziert. Dieser ist ein Korrekturfaktor, welcher pflanzenspezifisch ist und sich auch je nach Wachstumsphase ändert.

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Die Summe der Pflanzenverdunstung über die gesamte Wachstumsperiode (lgp) ist die sogenannte Pflanzenwassernutzung (CWU) und beschreibt die Menge an Wasser, welche zum Pflanzenwachstum benötigt wird.

$$CWU = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ET_c$$

Die Pflanzenwassernutzung wird eingeteilt in einen grünen und blauen Anteil, welche als grüne bzw. blaue Evapotranspiration bezeichnet werden. Grüne Evapotranspiration ($ET_{grün}$) beschreibt den Anteil der Pflanzenwassernutzung, welcher vom effektiven Niederschlag (P_{eff}) abgedeckt wird. Dieser ist die Menge an Niederschlag, welcher im Boden gespeichert wird und somit für Pflanzen verfügbar ist. Berechnet wird $ET_{grün}$ als Minimum aus der Pflanzenverdunstung und dem effektiven Niederschlag.

$$ET_{grün} = \min(ET_c, P_{eff})$$

Die blaue Evapotranspiration (ET_{blau}), in anderen Worten die Evapotranspiration von Bewässerungen, ist die Differenz aus Pflanzenverdunstung und effektivem Niederschlag. Wenn der effektive Niederschlag größer ist als die Pflanzenverdunstung, wird ET_{blau} gleich null gesetzt.

$$ET_{blau} = \max(0, ET_c - P_{eff})$$

Die Summe von $ET_{grün}$ bzw. ET_{blau} wird als grüne / blaue Pflanzenwassernutzung bezeichnet.

$$CWU_{grün} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ET_{grün}$$

$$CWU_{blau} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blau}$$

Der Faktor 10 dient zur Umrechnung von Wasserhöhen (mm) in Volumen je Landfläche (m^3/ha). Im letzten Schritt werden die jeweiligen Pflanzenwassernutzungen durch den Ertrag pro Hektar (Y) geteilt, um so den grünen bzw. blauen Wasserfußabdruck (WF) zu berechnen.

$$WF_{grün} = \frac{CWU_{grün}}{Y}$$

$$WF_{blau} = \frac{CWU_{blau}}{Y}$$

Für die Bestimmung des grauen Wasserfußabdrucks wird die Verschmutzung des Wassers durch den Anbau der Kulturpflanze betrachtet. Zur Berechnung wird die Menge der Verschmutzung (L) durch die Differenz zwischen maximal zulässiger Konzentration an Verschmutzung (c_{max}) und der natürlichen Konzentration im Vorfluter (c_{nat}) geteilt:

$$WF_{grau} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}}$$

Die natürliche Konzentration im Vorfluter ist hierbei die, welche ohne anthropogene Einflüsse im Gewässer auftreten würde.

4.2 Berechnung des Wasserfußabdrucks tierischer Produkte

Die Berechnung des Wasserfußabdrucks von tierischen Produkten gliedert sich nach Mekonnen und Hoekstra (2010b) in mehrere Teile:

- Der virtuelle Wasserbedarf von Futtermitteln: Es wird berechnet, wie viel Wasser zum Anbau der benötigten Futtermittel für die Viehhaltung benötigt wird. Des Weiteren wird mit einbezogen, wie viel Wasser zum Mischen des Futtermittels verwendet wird. Die Berechnung erfolgt analog zu Kapitel 4.1.
- Der Trinkwasserbedarf des Tieres: Das direkt verzehrte Wasser von Tieren wird mit in die Berechnung einbezogen.
- Der Bedarf an Brauchwasser: In diesem Falle handelt es sich um Wasser, welches für die Reinigung des Hofes und der Tiere benötigt wird.

Des Weiteren wird auch mit einbezogen, welcher Herkunft die Tiere bzw. die Futtermittel sind, um welches Produktionssystem es sich handelt und welche Mengen an Trink- und Brauchwasser für die jeweilige Tierart benötigt wird. Somit setzt sich der gesamte Wasserfußabdruck für Tiere und tierische Produkte unter Einbezug der vorherig genannten Kriterien wie folgt zusammen:

$$WF = WF_{Futter} + WF_{Trinkwasser} + WF_{Brauchwasser}$$

Die typische Einheit für den tierischen Wasserfußabdruck ist m³ pro Jahr und Tier bzw. m³ pro Tier. Der Wasserfußabdruck für Fleisch bezieht sich in der Regel auf den gesamten Lebenszyklus eines Tieres, es wird somit der virtuelle Wasserbedarf eines Tieres über mehrere Jahre aufsummiert. Für den Wasserfußabdruck für Milch und Eier wird wiederum ein jährliches Mittel genommen, da die Konsumverfügbarkeit bei diesen Produkten nicht erst nach Ende der Lebenszeit eines Tieres vorhanden ist.

4.3 Zusammensetzung des Wasserfußabdrucks Österreichs

Der Wasserfußabdruck Österreichs setzt sich, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, aus fünf Hauptkategorien zusammen:

- Direkter Wasserverbrauch
- Industrieprodukte
- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar
- Landwirtschaftsprodukte – nicht essbar

Der direkte Wasserverbrauch des bisher publizierten Stands (Vanham, 2012a) stammt aus der AQUASTAT-Datenbank und bezieht sich auf den häuslichen Wasserverbrauch. Für die Aktualisierung dieses Datensatzes wird auf die neu berechneten Werte des häuslichen Verbrauchs inklusive mitversorgter Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft des Projektes *Wasserschatz Österreichs* (2021) zurückgegriffen.

Der Wasserfußabdruck von Industrieprodukten wird, wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, nicht für jedes einzelne Industrieprodukt, welches in Österreich konsumiert wird, ermittelt, sondern über die Wasserverbrauchskategorie *Industrie* der AQUASTAT-Datenbank. Dadurch ist nicht klar abgrenzbar, welche Industriegüter sehr verbrauchsreich sind.

Der Anteil der landwirtschaftlichen essbaren Produkte ist mit 75 % der ausschlaggebendste in der Betrachtung des Wasserfußabdrucks. Diese werden unterteilt in pflanzliche und tierische Produkte. Die pflanzlichen Produkte beinhalten sowohl jegliches Getreide, Gemüse und Obst, welches konsumiert wird, als auch verarbeitete Produkte, wie beispielsweise Brot oder Pasta. Der Wasserfußabdruck von tierischen Produkten beinhaltet zum einen den von Fleisch und verarbeitetem Fleisch, zum anderen den von Milch, Milchprodukten und Eiern. Nicht betrachtet wird der Wasserfußabdruck von Fischen und Meeresfrüchten, da hierfür keine Datengrundlage vorhanden ist. Somit wird der Wasserfußabdruck für alle essbaren Konsumgüter mit Hilfe der Datenbanken von Mekonnen und Hoekstra (2010a, 2010b) mit den Verbrauchsdaten von Österreich verrechnet, um auf einen Pro-Kopf-Bedarf an virtuellem Wasser schließen zu können.

Zu den landwirtschaftlichen nicht essbaren Produkten zählt vor allem der Konsum von Baumwolle, aber auch von Biokraftstoffen. Letztere sind in der Publikation von Vanham (2013) nicht signifikant, da Biokraftstoffe erst im Jahr 2005 in Europa an Wichtigkeit gewonnen haben und die Publikation sich auf den Zeitraum 1996–2005 bezieht. Genauere Ausführungen zu Biokraftstoffen folgen in Kapitel 6.2.1.2 auf Seite 45. Zur Aktualisierung der Daten zu nicht essbaren landwirtschaftlichen Produkten liegt der Fokus auf Konsumänderungen von Baumwollprodukten und auf den Einbezug von Biokraftstoffen.

4.4 Berechnung des Wasserfußabdrucks mittels CROPWAT

Um Veränderungen des Wasserfußabdrucks durch Klimaänderungen zu untersuchen, wurde der grüne und blaue Wasserfußabdruck für einzelne pflanzliche Produkte neu berechnet. Dies erfolgte mit Hilfe der Software CROPWAT, welche von der FAO (2021a) zur Verfügung gestellt wird.

Das Programm wurde als Entscheidungstool entwickelt, um Pflanzenwasserbedarf und die daraus resultierende mögliche Bewässerungsmenge bestimmen zu können. Dabei werden auf Bodenparameter, Klimadaten und Pflanzendaten zurückgegriffen. In erster Linie wird CROPWAT verwendet, um Bewässerungspläne zu entwickeln und dabei auch auf variierende Fruchtfolgen einzugehen (Smith, 1992).

Alle Berechnungen des Programms basieren auf zwei FAO-Publikationen:

- No. 56: Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements (Allen et al., 1998)
- No. 33: Yield response to water (Doorenbos und Kassam, 1979)

Um den Einfluss der Klimaänderungen analysieren zu können, wird CROPWAT zur Neuberechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks einzelner pflanzlicher Produkte verwendet. Hierbei wird Weizen, Mais und Gras betrachtet, da diese Produkte auch als Tierfutter dienen. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die Änderung des Wasserfußabdrucks tierischer Produkte schließen.

Der graue Wasserfußabdruck wird für die gewählten pflanzlichen Produkte nicht neu berechnet, da in erster Linie der Einfluss des Klimas auf den Wasserfußabdruck analysiert werden soll. Der graue Wasserfußabdruck ist jedoch eher ein Indikator für effizientere Wassernutzung in der Produktion bzw. erhöhten oder reduzierten Gebrauch von Düngungsmitteln in der Landwirtschaft.

4.4.1 Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Weizen

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben muss für die Berechnung des Wasserfußabdrucks zunächst die Grasreferenzverdunstung berechnet werden, was über das Programm CROPWAT erfolgt. Die in Österreich am meisten angebaute Weizenart ist Winterweichweizen, weshalb für diese Art der Wasserfußabdruck neu berechnet wird. Dieser hat eine gesamte Vegetationsdauer von 270 Tagen. Da Weizen im Marchfeld großflächig angebaut wird, werden Klimadaten der Gemeinde Fuchsenbigl im Marchfeld verwendet. Die Bestimmung von ET_0 erfolgt über Monatsdaten der ZAMG und wird für den Zeitraum 1990–2018, 2014–2018 und 2041–2070 berechnet. Für die Zukunftsperiode werden aus den ÖKS15-Daten zwei Szenarien ausgewählt, um eine weitgehende Abdeckung der Bandbreiten möglicher klimatischer Entwicklungen zu gewährleisten. In diesem Fall wird das mittlere RCP4.5 und das trockene RCP8.5 betrachtet. Die Bezeichnung RCP (Representative Concentration Pathways) beschreibt die zu erwartende Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre

im Jahr 2100 und den sich daraus ergebenden zusätzlichen Strahlungsantrieb in der Wärmebilanz der Erde von 4,5 Watt/m² bzw. 8,5 Watt/m². Unterschieden wird hierbei noch, ob es sich um eine günstige oder ungünstige Niederschlagsentwicklung handelt. Benötigt werden zur Bestimmung von ET_0 folgende Werte:

- effektiver Niederschlag (mm/Monat)
- minimale Temperatur (°C/Monat)
- maximale Temperatur (°C/Monat)
- relative Luftfeuchte (%)
- Windgeschwindigkeit (km/Tag)
- Sonnenstunden (h/Tag)

Für die weitere Berechnung der Pflanzenverdunstung werden Pflanzenkoeffizienten benötigt. Die K_c-Werte stammen aus der FAO-Publikation Nr.56 (Allen et al., 1998) und werden für diese Region adaptiert. Sie lauten wie folgt:

- Anfangs- und Entwicklungsphase: 0,70
- Mitte der Saison: 1,15
- Endphase: 0,25

Des Weiteren werden Bodenparameter benötigt. Die Grundlagendaten dafür stammen aus der digitalen Bodenkarte des Bundesforschungszentrums für Wald (2021).

- nutzbare Feldkapazität: 180 mm/Meter
- Durchlässigkeit: 90 mm/Tag
- maximale Wurzeltiefe: 100 cm

Als weitere Bedingung wird für den Anbau von Weizen festgelegt, dass dieser im Allgemeinen aus wirtschaftlichen Gründen nicht bewässert wird. Dadurch entfällt der blaue Wasserfußabdruck und es wird nur ein grüner Wasserfußabdruck berechnet. Da dennoch periodisch der effektive Niederschlag die Pflanzenverdunstung nicht abdeckt, ist mit einer Ertragsminderung zu rechnen. Diese wird mit Hilfe des Tools „Schedule“ in CROPWAT bestimmt.

Im letzten Schritt erfolgt die Summenbildung des $ET_{grün}$, welche durch den Ertrag geteilt wird. Der Ertrag selbst wird, wenn Minderungen berechnet wurden, dementsprechend reduziert, wodurch sich der grüne Wasserfußabdruck erhöht. Daten zu den Erträgen stammen, wie schon bei Mekonnen und Hoekstra (2010a), von Monfreda et al. (2008). Für die Vergleichbarkeit mit den bisherigen Daten werden die gleichen Erträge wie 1996–2005 verwendet. Im weiteren Verlauf werden auch die Erträge auf aktuelle Werte der Statistik Austria (2021c) mit einbezogen, um die Auswirkungen der Ertragsänderungen auf den Wasserfußabdruck zu verdeutlichen.

4.4.2 Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Mais

Die Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Mais erfolgt analog zur Berechnung für Weizen. Es werden ebenfalls die Zeiträume 1990–2018, 2014–2018 und 2041–2070 betrachtet. Für die Zukunftsperiode werden erneut die Szenarien RCP4.5 mittel und RCP8.5 trocken betrachtet.

Als repräsentative Klimastation wird erneut Fuchsenbigl im Marchfeld verwendet. Die Betrachtung von Mais erfolgt in erster Linie als Futtermais, sodass Änderungen des Wasserfußabdrucks übertragbar sind auf Änderungen des Wasserfußabdrucks für die Fleischproduktion. Für Mais wird eine Vegetationsperiode von 150 Tagen im Zeitraum von Juli bis Dezember angesetzt. Die K_c-Werte für Mais lauten wie folgt:

- Anfangs- und Entwicklungsphase: 0,30
- Mitte der Saison: 1,20
- Endphase: 0,35

Die Bodenparameter werden analog zu Kapitel 4.4.1 gewählt, da erneut die Betrachtung im Marchfeld liegt. Nach der Ermittlung der Pflanzenverdunstung wird in 10-Tages-Schritten ermittelt, ob der effektive Niederschlag ausreichend für die Pflanzenwassernutzung ist. Falls nicht, wird die Differenz aus Pflanzenwassernutzung und effektivem Niederschlag als Beregnung angenommen. Nach einer Studie von Sinabell et al. (2015) wird Mais für Effizienzsteigerungen bewässert. Die Einteilung in $ET_{grün}$ und ET_{blau} erfolgt analog zu Kapitel 4.1.

Die Berechnung des Wasserfußabdrucks erfolgt aus der Summe von $ET_{grün}$ bzw. ET_{blau} geteilt durch den Ertrag, welcher aus dem Zeitraum 1996–2005 stammt. Analog zur Berechnung des Wasserfußabdrucks von Weizen werden auch bei Mais die Erträge anschließend auf den aktuellen Stand gebracht.

4.4.3 Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Gras

Da über 90 % des virtuellen Wasserbedarfs von Fleisch durch die zur Produktion benötigten Futtermittel entsteht (Mekonnen und Hoekstra 2012), wird auch der Wasserfußabdruck für Gras berechnet, um so die Auswirkungen des Klimawandels auf den virtuellen Wasserbedarf von Rindfleisch abzuschätzen. Die Futtermittel für Rinder bestehen in Österreich zu rund 56 % aus Gras (Gerbens-Leenes et al., 2011), weshalb Gras als Futtermittel genauer betrachtet wird.

Die Berechnung des grünen und blauen Wasserfußabdrucks für Gras erfolgt analog zu den Berechnungen für Weizen und Mais. Als Zeiträume werden erneut 1990–2018, die Teilperiode 2014–2018 und die Zukunftsperiode 2041–2070 (mit den Szenarien RCP4.5 mittel und RCP8.5 trocken) betrachtet. Da in Oberösterreich vermehrt Rindfleisch produziert wird und Rinder gehalten werden, wird als Klimastation repräsentative Allerheiligen im Mühlviertel gewählt. Als Vegetationsperiode wird ein Jahr angesetzt, also 365 Tage. Die K_c-Werte für Gras lauten:

- Anfangs- und Entwicklungsphase: 0,90
- Mitte der Saison: 1,95
- Endphase: 0,95

Die Bodenparameter lauten für diese Region wie folgt (BFW, 2021):

- nutzbare Feldkapazität: 140 mm/Meter
- Durchlässigkeit: 90 mm/Tag
- maximale Wurzeltiefe: 100 cm

Für Gras wird keine Beregnung angenommen, somit wird nur der grüne Wasserfußabdruck berechnet. Analog zu Weizen werden auch hier Ertragsminderungen mit einbezogen. Die Summe von $ET_{grün}$ wird somit erneut durch den reduzierten Ertrag geteilt, was den grünen Wasserfußabdruck ergibt. Die Publikation von Monfreda et al. (2008) liefert keine Daten zu den Erträgen von Gras, weshalb ausschließlich auf die Daten der Statistik Austria (2021c) zurückgegriffen wird.

4.5 Änderungen des Konsumverhaltens

Neben den Einwirkungen des Klimas sind auch Änderungen im Konsumverhalten ausschlaggebend für den Wasserfußabdruck. Diese beziehen sich sowohl auf die Änderung der Konsummenge sowie auch auf mögliche Änderungen der Konsumgüter. Des Weiteren ist die Herkunft der Produkte von Bedeutung, daher spielt auch die Änderung der Eigenproduktion und Importmengen eine Rolle. In den folgenden Kapiteln wird genauer auf das Konsumverhalten eingegangen.

4.5.1 Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Importe

Zur Bestimmung des Wasserfußabdrucks für Österreichs ist es notwendig sowohl die Eigenproduktion als auch die Importe zu betrachten. Da jedes Land in der Publikation von Mekonnen und Hoekstra (2010a, 2010b) unterschiedliche Wasserfußabdrücke für Produkte ausgewiesen bekommt, ist es notwendig den Importmix der in Österreich konsumierten Produkte zu betrachten. Da die Analysierung des vollständigen „Warenkorbs“ für Österreich sehr umfangreich ist, werden exemplarisch sechs landwirtschaftliche Produkte genauer betrachtet:

- Weizen
- Kartoffeln
- Tomaten
- Kaffee
- Rindfleisch
- Baumwolle (Textilien und Kleidung)

Es wird auf Daten der statistischen Datenbank der FAO (2021a) und für Baumwolle auf die International Trade Map (ITC, 2021) zurückgegriffen. Hierbei werden die Länder betrachtet, die insgesamt mindestens 80 % der gesamten Importmenge abdecken. Zur Berechnung des Wasserfußabdrucks durch unterschiedliche Herkunftsländer werden zunächst die gesamten Importe der sechs ausgewählten Produkte betrachtet. Anschließend werden die Haupt-Importländer ermittelt. Im letzten Schritt erfolgt eine mengengewichtete Durchschnittsbildung der Anteile des Wasserfußabdrucks der eigenen Produktion und der importierten Güter. Für Baumwolle wird das globale Mittel

des Wasserfußabdrucks gewählt, da die Herkunft der Baumwollfaser und der Produktionsstätten für Textilien nicht nachvollziehbar ist.

Im Allgemeinen ist festzustellen, dass die in Österreich produzierten Lebensmittel bedingt durch das Klima in der Regel einen geringeren Wasserfußabdruck aufweisen. Dies wird auch in Abbildung 2 deutlich: die Produktion der sieben dargestellten Produkte haben in Österreich durchgängig einen geringeren Wasserfußabdruck als im weltweiten Durchschnitt. Für Linsen ist kein Wert für Österreich bekannt.

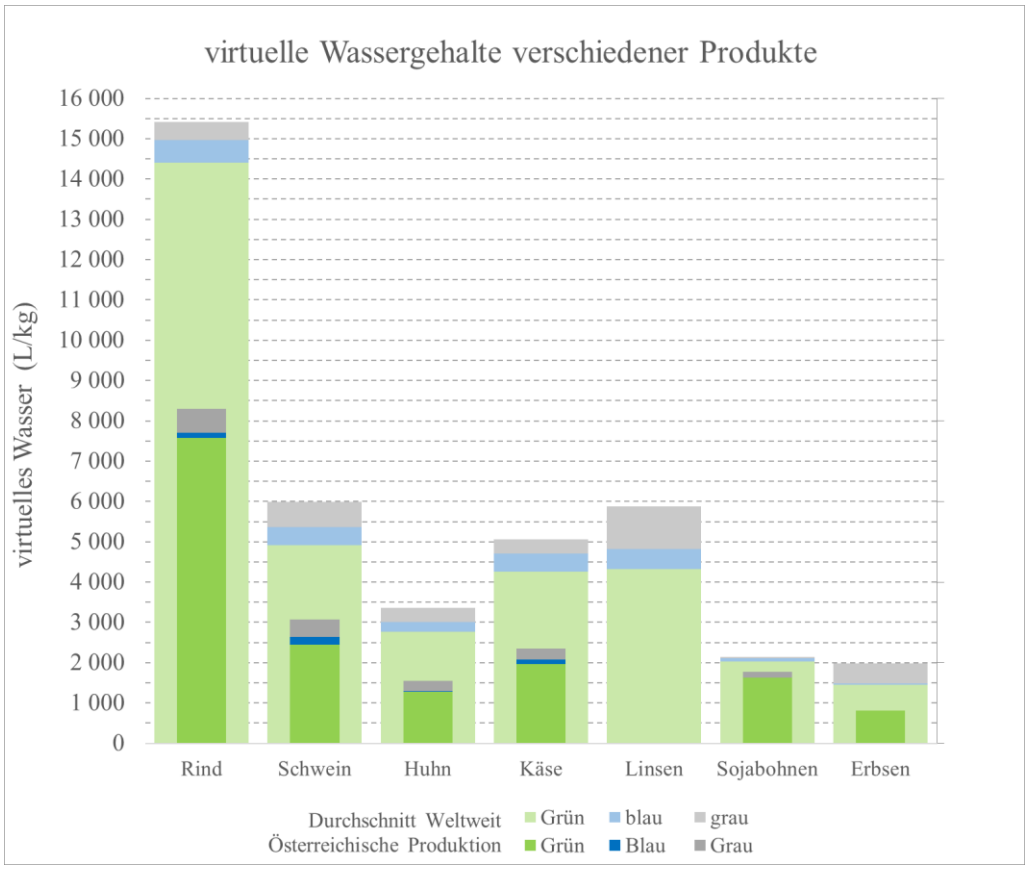

Abbildung 2: Virtuelle Wassergehalte verschiedener Produkte (Neunteufel et al., 2021)

Methodisch bestehen mehrere Unschärfen: Genaue Importländer für Österreich sind in der Regel nicht genau nachvollziehbar, da nur Daten zu direkten Importländern vorliegen (First Chain). Diese können jedoch auch selbst importieren. Die Daten dazu sind nicht verfügbar. Des Weiteren ist nicht bekannt, in welchem Verhältnis sich die Exportmengen eines Landes aus der inländischen Produktion und den zuvor importierten Gütern zusammensetzen. Dadurch ist bei der konsumverfügbaren Menge nicht genau bestimmbar, wie viel tatsächlich in Österreich produziert wurde und was importiert wurde. Dies wirkt sich auch auf die mengengewichtete Berechnung des Wasserfußabdrucks unter Einbezug der Importe aus.

Für die Betrachtung im Zeitraum 2041–2070 wird keine Änderung der Importe angenommen, da die Datengrundlage keine logische Extrapolation zulassen. Daher wird der gleiche Importmix wie schon in der Teilperiode 2014–2018 verwendet.

4.5.2 Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Konsumänderungen

In zahlreichen Studien werden sowohl die Konsummengen und deren Entwicklung in Österreich betrachtet als auch die Veränderung der vermeidbaren Lebensmittelverluste.

Die Bestimmung der Konsumänderungen von den in Kapitel 4.5.1 auf Seite 18 gelisteten Produkten erfolgt mit Hilfe der Daten der FAO. Diese sammelt in der statistischen Datenbank seit 1961 von über 245 Ländern und Gebieten Daten zu Lebensmitteln und Landwirtschaft (FAO, 2021a). Methodisch werden von der FAO im Allgemeinen die Zahlen von Regierungen durch nationale Veröffentlichungen gesammelt sowie durch Fragebögen der FAO ergänzt. Um die Datenerfassung so vollständig wie möglich zu gestalten, werden Datenlücken mit Werten aus inoffiziellen Quellen ergänzt und dementsprechend auch in den einzelnen Datensätzen gekennzeichnet. Daten anderer internationaler Agenturen oder Organisationen werden ebenso mit eingebunden (FAO,2021b).

Aufgeteilt wird die Datenbank u.a. in Daten zu Produktion, „Food Balance“ und Handel. Zur Ermittlung der Eigenproduktion von Weizen, Kartoffeln, Tomaten und Rindfleisch wird auf die Produktions-Datenbank zurückgegriffen (FAO, 2021a). Für die Import- und Exportströme dieser Produkte (inklusive Kaffee) wird die „Detailed Trade Matrix“ der Handels-Datenbank verwendet (FAO, 2021a). Für die weitere Ermittlung der Menge an Lagerbestand und Futtermitteleinsatz wird die „New Food Balance“ betrachtet (FAO, 2021a).

Zur Feststellung der Konsumänderungen in Österreich werden sowohl die in Österreich produzierten Lebensmittel betrachtet als auch die Import- und Exportströme. Des Weiteren werden Daten zu Änderungen der Lagerhaltung von Lebensmitteln und deren Verwendung als Futtermittel benötigt.

Um die konsumverfügbare Menge eines Produktes zu bestimmen, wird die Produktionsmenge und die gesamte Importmenge addiert. Davon werden die Gesamtexporte, Änderungen der Lagerhaltung und Futtermittel abgezogen, sodass der Rest als konsumverfügbar bleibt:

$$Konsumverfügbare\ Menge = Produktion + Importe - Exporte - Futtermittel - Lagerhaltung$$

Für Importe und Exporte werden auch weiterverarbeitete Produkte, wie beispielsweise Tomatenpaste in der Lebensmittelbetrachtung Tomate, zur gesamten Import- bzw. Exportmenge zuaddiert. Die Methodik zur Bestimmung der konsumverfügbaren Menge wird für alle exemplarisch gewählten landwirtschaftlichen Produkte mit Ausnahme der Baumwolle verfolgt.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der konsumverfügbaren Menge für Baumwolle erfolgt nicht über die Daten der FAO, sondern mittels Daten des International Trade Centres (ITC). Die FAO sammelt beim Produkt Baumwolle Daten zu den einzelnen Rohstoffen, jedoch nicht zu den verarbeiteten Produkten wie T-Shirts oder Jeans. Beim Beispiel Baumwolle ist die Lieferkette zusätzlich sehr undurchsichtig. Hierbei wird die Baumwollfaser vom Ursprungsland zur Weiterverarbeitung als Garn bzw. Stoff exportiert. Das daraus entstandene Produkt kann wiederum erneut zur Textilverarbeitung exportiert werden, bis das Endprodukt schließlich nach Österreich importiert wird. Es ist also möglich, dass für jeden einzelnen Produktionsschritt Wasser in unterschiedlichen Ländern benötigt wird. Der virtuelle Wassergehalt eines T-Shirts, welches in Österreich konsumiert wird, ist somit nicht nachvollziehbar. Daher werden mit Hilfe der ITC Trade Map die gesamten Textilimporte nach Österreich ermittelt und mit dem globalen Mittel des Wasserfußabdrucks für Baumwollprodukte verrechnet.

Zur Abschätzung der Konsumänderungen im Zeitraum 2041–2070 werden aus der FAO-Datenbank jegliche Importe, Exporte und Produktionsmengen in den Kategorien *pflanzliche essbare Landwirtschaftsprodukte* und *tierische essbare Landwirtschaftsprodukte* für die einzelnen Jahre von 1996 bis 2018 aufsummiert und anschließend extrapoliert. Es wird jedoch von einer weniger starken Zunahme ausgegangen, da lineare Extrapolationen häufig zu Überschätzungen führen können. Es findet das 1. Gossensche Gesetz Anwendung, welches besagt, dass der Grenznutzen mit zunehmender Konsummenge abnimmt.

5. Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der neuberechneten Werte des Wasserfußabdrucks für den Zeitraum 2014–2018 dargestellt und analysiert. Des Weiteren erfolgt eine Abschätzung der weiteren Änderungen im Zeitraum 2041–2070 in unterschiedlichen Szenarien.

5.1 Wasserfußabdruck in Österreich – Veränderungen zu den bisherigen Daten

Der Bezugszeitraum des bisher veröffentlichten Wasserfußabdrucks Österreichs ist aus den Jahren 1996–2005. Um abschätzen zu können, inwieweit sich dieser zum Zeitraum 2014–2018 ändert, werden aktuelle Daten zu Konsum, Importen, Exporten und klimatischen Bedingungen zusammengestellt und den Daten aus 1996–2005 gegenübergestellt.

Veränderungen des Wasserfußabdrucks ergeben sich im Wesentlichen durch die Änderung folgender Einflussfaktoren:

- Veränderung der konsumierten Menge eines Produktes
- Veränderungen des Wasserfußabdruckes durch Änderungen im Ertrag, bei Optimierungen in der Produktion oder durch Veränderungen der Importe
- Veränderungen des Wasserfußabdrucks durch Änderungen der klimatischen Bedingungen in den Anbaugebieten von landwirtschaftlichen Produkten.

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben beträgt der bisherige Wasserfußabdruck Österreichs 4.377 Liter pro Person und Tag. Mit eingeflossen sind die Kategorien direkter Wasserverbrauch, Industrieprodukte, pflanzliche landwirtschaftliche Produkte essbar, tierische landwirtschaftliche Produkte essbar und landwirtschaftliche Produkte nicht essbar. Für den direkten Wasserverbrauch werden in der Publikation von Vanham (2012a) 114 Liter pro Person und Tag angegeben. Darin enthalten ist jedoch nur der Wasserverbrauch von Haushalten. Der Verbrauch für öffentliche Einrichtungen, Dienstleistungen, Verluste etc. sind in diesem Fall nicht enthalten, sollten jedoch mit in Betracht gezogen werden.

Im weiteren Verlauf werden diese Änderungen analysiert, um anschließend auf eine Änderung des Wasserfußabdrucks für Österreich Rückschlüsse ziehen zu können. Da die Datenaufbereitung sehr umfangreich ist, erfolgt eine exemplarische Betrachtung einzelner landwirtschaftlicher Produkte, um so Rückschlüsse auf den gesamten Wasserfußabdruck ziehen zu können. Die Betrachtung der Wasserfußabdrucks-Änderungen erfolgt für die Zeiträume 2014–2018 und 2041–2070.

5.1.1 Veränderungen des Wasserfußabdrucks durch Importe

Je nach Herkunft eines Produktes ändert sich auch der Wasserfußabdruck, weshalb die Importe nach Österreich eine wichtige Rolle auf den Pro-Kopf-Verbrauch haben. Genauer werden wie schon in Kapitel 4.5.1 gelisteten Lebensmittel betrachtet.

Im Allgemeinen ist sowohl in Tabelle 1 Produkte werden in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1als auch in Tabelle 2 ersichtlich, dass es bei fast allen betrachteten Produkten in der Produktion, den Importen und den Exporten zu Steigerungen gekommen ist. Die Eigenproduktion von Tomaten mit rund 56.000 t/a im Zeitraum 2014–2018 wurde gegenüber dem Zeitraum 1996–

2005 mehr als verdoppelt. Allein 34 % der österreichischen Tomaten stammen aus Wien und Wien Umgebung (Land schafft Leben, 2021), wo der Großteil der Tomaten als Ganzjahreskultur ohne Erde gezüchtet werden. Vermutlich ist die Eigenproduktion durch technischen Fortschritt stark gestiegen. Die Produktionsmenge von Kartoffeln ist eher gleichbleibend, die von Rindfleisch wiederum ist um 9 % auf rund 280.000 t/a gestiegen. Weizen wird im Zeitraum 2014–2018 zu rund 20 % mehr produziert im Vergleich zu 1996–2005.

Die Importe weisen die größten Änderungen auf: vor allem die Weizenimporte zeigen für den Zeitraum 2014–2018 mit der fünf-fachen Menge im Bezug zum Zeitraum 1996–2005 eine deutliche Veränderung. Es ist durchweg ersichtlich, dass die Produkte, die auch in Österreich produziert werden, vermehrt importiert werden. Nur bei den Produkten Kaffee und Baumwolle, welche seit jeher nur importiert werden, ist ein leichter Rückgang der Importmengen mit 6 bzw. 7 % zu sehen.

Dafür sind die Exporte von Kaffee und Baumwolle von 1996–2005 zu 2014–2018 gesunken, wodurch die konsumverfügbare Menge dieser Produkte in Österreich steigt. Alle weiteren Produkte werden ähnlich zu den Importen auch vermehrt exportiert. Dennoch steigt die konsumverfügbare Menge aller betrachteten landwirtschaftlichen Produkte um 2 % (Kaffee) bis 71 % (Weizen). Alle Änderungen der Produktion, Importe und Exporte der betrachteten landwirtschaftlichen Produkte werden in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Produktion, Importe und Exporte für die Zeiträume 1996–2005 und 2014–2018

	Ø-Mengen in t/a im Zeitraum 1996–2005			**Ø-Mengen in t/a im Zeitraum 2014–2018**		
	Produktion	Importe	Exporte	Produktion	Importe	Exporte
Weizen*	1.396.875	200.347	577.125	1.660.864	1.007.845	928.887
Kartoffeln*	689.458	84.496	38.372	681.140	209.106	91.817
Tomaten*	26.057	65.963	7.439	56.080	98.220	15.972
Kaffee*	-	78.008	23.524	-	72.456	17.110
Rindfleisch*	257.137	80.955	113.731	280.977	197.190	264.796
Baumwolle**	-	143.978	77.661	-	135.439	64.241

Quellen: *FAO, 2021a, **ITC, 2021
Anm.: Summenwerte von Produktion, Importe und Exporte erfolgt in eigenen Berechnungen

Tabelle 2: Änderungen von 1996–2005 zu 2014–2018 bei Produktion, Importen und Exporten in %

	Änderungen von 1996–2005 zu 2014–2018 in %		
	Produktion	Importe	Exporte
Weizen*	119%	503%	161%
Kartoffeln*	99%	247%	239%
Tomaten*	215%	149%	215%
Kaffee*	-	93%	73%
Rindfleisch*	109%	244%	233%
Baumwolle**	-	94%	83%

Quellen: *FAO, 2021a, **ITC, 2021
Anm.: Summenwerte und Quotientenwerte zu Produktion, Importe und Exporte erfolgt in eigenen Berechnungen

Die Auswirkungen der vermehrten Importe nach Österreich zeigen sich auch im Wasserfußabdruck unter Berücksichtigung des Importmixes. Wie in Tabelle 3 zu sehen, steigt der Wasserfußabdruck von 1996–2005 zu 2014–2018 bei Weizen um knapp 50 L/kg, da der Wasserfußabdruck der Importländer höher ist als der der Eigenproduktion. Würde der Weizenkonsum rein aus Eigenproduktion gedeckt werden, könnten im Vergleich zur aktuellen Situation rund 70 L/kg eingespart werden. Bei Tomaten zeigt sich der Trend in die andere Richtung: da vermehrt in Österreich produziert wird, sinkt der Wasserfußabdruck unter Berücksichtigung der Importe von 1996–2005 zu 2014–2018 um rund 10 L/kg. Bei reiner Eigenproduktion würden im Vergleich zur aktuellen Situation rund 70 L/kg eingespart werden. Bei Kaffee und Baumwolle konnte keine Änderung des Wasserfußabdrucks festgestellt werden, da diese Produkte zu 100 % importiert werden. Der Wasserfußabdruck von Kartoffeln und von Rindfleisch zeigt kaum Änderungen, da die Produktionsmenge innerhalb Österreichs etwa gleichbleibend ist und die Importe und Exporte gleichermaßen gestiegen sind.

Tabelle 3: Wasserfußabdruck in L/kg unter Berücksichtigung der Importe und bei Betrachtung reiner Eigenproduktion

	WF inkl. Importe aus 1996–2005 (L/kg)**	**WF inkl. Importe aus 2014–2018 (L/kg)****	**WF österreichischer Produktion (L/kg)***
Weizen	836	882	814
Kartoffeln	151	151	150
Tomaten	116	107	33
Kaffee	14.003	14.003	-
Rindfleisch	8.275	8.230	8.300
Baumwolle	9.982	9.982	-

Quelle: *Mekonnen und Hoekstra, 2010a, 2010b; FAO, 2021a
Anm.: **Eigene Berechnungen unter Einbezug der Herkunft der sechs Güter mit Daten zum Wasserfußabdruck von Mekonnen und Hoekstra (2010a, 2010b) und Mengen zur Produktion, Importen und Exporten von FAO (2021)

5.1.2 Veränderungen der konsumierten Menge eines Produktes

Wie schon in Kapitel 4.5.2 beschrieben, wird die konsumverfügbare Menge für den Zeitraum 1996–2005 und 2014–2018 bestimmt, um so auf etwaige Konsumänderungen schließen zu können, da diese sich direkt auf den Wasserfußabdruck auswirken. Es werden die konsumverfügbaren Mengen für den Zeitraum 2014–2018 bestimmt und den Werten aus der Zeitspanne 1996–2005 gegenübergestellt. Für die in Kapitel 5.1 aufgelisteten Produkte ergeben sich somit folgende Werte:

Tabelle 4: Konsumverfügbare Mengen in t/a in den Zeiträumen 1996–2005 und 2014–2018

	Konsumverfügbare Menge (t/a)		**Änderung in %**
	1996–2005*	**2014–2018****	
Weizen	636.306	1.472.032	231%
Kartoffeln	502.601	821.334	163%
Tomaten	102.292	141.528	138%
Kaffee	56.382	48.079	85%
Rindfleisch	154.647	188.422	122%
Baumwolle	66.289	71.198	107%

Quellen: *Vanham, 2012a, **ITC, 2021 für Baumwolle; FAO, 2021a für alle weiteren
Anm.: Summenwerte und Änderungen der konsumverfügbaren Menge für 2014–2018 erfolgt durch eigene Berechnungen

Die Daten der Jahre 1996–2005 stammen aus der Publikation von Vanham (2012a). Da es nicht vollständig nachvollziehbar ist, wie die konsumverfügbaren Mengen zu dem Zeitpunkt berechnet wurden, können methodische Unschärfen durch unterschiedliche Berechnungsansätze vorhanden sein.

Für die Berechnung des Baumwollkonsums wird ein anderer Ansatz verfolgt. Da in Österreich in erster Linie Baumwolle als Textilien importiert wird, wird mit Hilfe der International Trade Map (ITC, 2021) ermittelt, welche Menge an Baumwolltextilien importiert wird. Hierfür werden alle Produkte der Warengruppen 12, 14, 15, 23, 60, 61, 62 und 63 nach der Einteilung des Harmonized System-Codes (HS-Code) betrachtet. Dieses ist ein international standardisiertes System von Namen und Nummern zur Klassifizierung von gehandelten Produkten und wird von der Weltzollorganisation (WCO) gepflegt (WCO, 2021). Insgesamt werden 62 Unterkategorien betrachtet. Zur Ermittlung des Baumwollkonsums in Tonnen pro Jahr werden somit die Import- und Exportmengen der einzelnen Warengruppen verrechnet, um so auf die gesamte Menge der konsumverfügbaren Baumwolle schließen zu können. Für die Kategorie „Altkleider“ wird 60 % der österreichischen Exportmenge zur gesamten Importmenge aufaddiert, da Altkleider zunächst in Österreich neuwertig gekauft worden sind und somit in Österreich konsumiert werden. Da nicht bekannt ist, aus welcher Faser die Altkleider bestehen, werden 60 % angenommen. Dies ist der gleiche Anteil wie bei der aktuellen Schätzung der weiteren Kategorien. Es ergeben sich konsumverfügbare Mengen von rund 66.000 t/a für den Zeitraum 1996–2005 bzw. 71.000 t/a für den Zeitraum 2014–2018 ohne Altkleider. Werden Altkleider mit einbezogen sind es rund 87.000 t/a für den Zeitraum 1996–2005 und rund 92.000 t/a für den Zeitraum 2014–2018.

Aus den Grundlagendaten geht hervor, dass die Kategorie *nicht essbare Landwirtschaftsprodukte* einen gesamten Wasserfußabdruck von 356 Litern pro Person und Tag ausmachen. Allein die Baumwolle hat jedoch unter Berücksichtigung der Altkleider im Zeitraum 1996–2005 einen Wasserfußabdruck von 281 Litern pro Person und Tag und würde somit knapp 80 % der Kategorie

ausmachen. Ohne die Berücksichtigung der Altkleider liegt der Wasserfußabdruck bei 221 Litern pro Person und Tag. Es liegt nahe, dass bisher Altkleider in den bisher publizierten Daten nicht als Erstkonsum berücksichtigt wurden. Dennoch wird die Kategorie nicht essbare Landwirtschaftsprodukte in der aktuellen Schätzung nicht um die Altkleider als Teil des Erstkonsums erweitert, da es nicht eindeutig ist, ob diese Anteile in den bisher publizierten Daten bereits mit eingeflossen sind und eine Mehrfachzählung ausgeschlossen werden soll. Die Methodenkorrektur würde den Wasserfußabdruck um rund 70 Liter pro Person und Tag steigern.

In Tabelle 4 ist zu sehen, dass es bei fast allen betrachteten Produkten eine Steigerung der konsumverfügbaren Menge gibt. Dies kann durch anwachsende Bevölkerungszahlen, aber auch durch eine zunehmende Lebensmittelverschwendung verursacht werden. Der Anstieg des Konsums hat auch große Auswirkungen auf den Wasserfußabdruck. Allein bei der Betrachtung der Konsumänderung der sechs ausgewählten Produkte ist ein gesamter Anstieg des Wasserfußabdrucks in Österreich um 20 % zu beobachten. Tabelle 5 zeigt die Veränderung des Wasserfußabdrucks durch Änderungen im Konsum. Für die betrachteten Produkte steigert sich der Wasserfußabdruck um insgesamt 228 L/(E*d). Die größte Steigerung ist bei Weizen zu verzeichnen, hier steigt der Wasserfußabdruck um rund 120 L/(E*d) auf 408 L/(E*d). Auch bei Rindfleisch ist eine deutliche Steigerung erkennbar. Der Wasserfußabdruck nimmt um rund 50 L/(E*d) zu. Für die Kategorien *pflanzliche essbare Landwirtschaftsprodukte* und *tierische essbare Landwirtschaftsprodukte* ergeben sich folgende Änderungen des Wasserfußabdrucks durch die konsumverfügbare Menge vom Zeitraum 1996–2005 zu 2014–2018:

- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar: +3 %
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar: +8 %

Für die Abschätzung der konsumverfügbaren Menge im Zeitraum 2041–2070 werden die konsumierten Mengen mit Hilfe der vorhandenen Daten aus den Jahren 1996–2018 linear extrapoliert.

Als weitere Annahme für die Änderungen des österreichischen Konsums um 2050 könnten Änderungen im globalen Kontext angesehen werden. Beispielsweise könnte der Fleischkonsum in Österreich abnehmen, wenn die Nachfrage in Asien steigt und somit auch die Konsumpreise steigen. Eine Intensivierung der Tierproduktion könnte dem entgegenwirken. Dies würde sich jedoch negativ auf den Wasserfußabdruck auswirken. Da sowohl die Änderungen des globalen Konsums als auch jegliche Intensivierungen der Produktion nicht prognostizierbar sind, fließen diese Annahmen nur in Form einer Szenarienvariante mit ein.

Unter Berücksichtigung der Konsumänderung mit der oben genannten Annahme der linearen Extrapolation ergeben sich für die Produktgruppen *pflanzliche Landwirtschaftsprodukte - essbar* und *tierische Landwirtschaftsprodukte - essbar* folgende Zunahmen für den Zeitraum 2041–2070 zum Referenzzeitraum 2014–2018:

- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar: +2 %
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar: +7 %

Für die Produktkategorien *Landwirtschaftsprodukte – nicht essbar* und *Industrieprodukte* konnte in Ermangelung von Grundlagendaten keine Abschätzung der konsumverfügbaren Menge getroffen werden. Nur die Änderung von Baumwolle wird in diesem Fall berücksichtigt.

Tabelle 5: Wasserfußabdruck ausgewählter Produkte (L/(E*d)) in den Zeiträumen 1996–2005 und 2014–2018

	Wasserfußabdruck in L/(E*d)	
	1996–2005*	**2014–2018****
Weizen	191	408
Kartoffeln	26	39
Tomaten	4	5
Kaffee	269	212
Rindfleisch	433	488
Baumwolle	221	286**
SUMME	**1.147**	**1.375**

*Quellen: *Mekonnen und Hoekstra, 2010a und 2010b,
Anm.: **Eigene Berechnung des Wasserfußabdrucks mit Konsumdaten aus FAO (2010a) und Statistik Austria (2021b) und Wasserfußabdruck-Daten aus Mekonnen und Hoekstra (2010a, 2010b)
**unter Einbezug der Altkleiderexporte

5.1.3 Veränderungen durch klimatische Bedingungen

Die Veränderung des Wasserfußabdrucks von Pflanzen wird anhand von Weizen, Mais und Gras bestimmt. Um rein die Klimaauswirkung auf den Wasserfußabdruck zu betrachten, werden nur die Klimadaten je Zeitraum geändert. Pflanzenparameter, Bodenparameter und Ertrag werden gleichbleibend angesetzt. Der Ertrag wird nur reduziert, falls nach den Berechnungen der effektive Niederschlag nicht ausreichend ist (vgl. Kapitel 4.4.1).

Tabelle 6: Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Klimaeinwirkungen

	Wasserfußabdruck (L/kg)					**Änderungen zu 2014–2018 in %**	
	1996–2005*	**1990–2018**	**2014–2018**	**2041–2070 (RCP4.5)**	**2041–2070 (RCP8.5 trocken)**	**RCP4.5**	**RCP8.5 trocken**
Weizen	686	704	710	745	752	+5%	+6%
Mais	413	465	481	499	542	+4%	+13%
Gras	/	876	887	900	965	+1%	+9%

Quellen: *Mekonnen und Hoekstra, 2010a
Anm.: Eigene Berechnungen des Wasserfußabdrucks unter Einbezug der Klimadaten von ZAMG (2021)

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, ist mit einer Steigerung des Wasserfußabdrucks für alle analysierten pflanzlichen Produkte zu rechnen. Die Daten von Mekonnen und Hoekstra dienen als Vergleichswerte, jedoch ist nicht vollständig nachvollziehbar, welche Rohdaten für die Berechnung des Wasserfußabdrucks verwendet wurden. Daher liegt der Fokus auf der Entwicklung des Wasserfußabdrucks für die Zeiträume 1990–2018, der Teilperiode 2014–2018 und den Zukunftsszenarien. Allein die Betrachtung der Teilperiode 2014–2018 zeigt eine Zunahme des Wasserfußabdrucks aller betrachteten Produkte im Vergleich zur Periode 1990–2018. Die Steigerung ist bei Mais mit 3 % am höchsten. Mit Hilfe der Änderungen des Wasserfußabdrucks von Weizen, Mais und Gras wird abgeschätzt, inwieweit sich der Wasserfußabdruck pflanzlicher und tierischer essbarer Produkte von den bisher veröffentlichen Daten zum aktuellen Stand (2014–2018) geändert hat. Weizen repräsentiert in diesem Fall die pflanzlichen essbaren Landwirtschaftsprodukte, da Weizen und Backwaren aus Weizen den größten Anteil der konsumierten Lebensmittel darstellt (Dräger de Teran und Suckow, 2021). Da der Wasserfußabdruck von tierischen Produkten zu 98 % durch die Herstellung von Futtermitteln verursacht wird, wird die Abschätzung der Änderung des

Wasserfußabdrucks für essbare tierische Produkte mithilfe von Mais und Gras bestimmt (Mekonnen und Hoekstra, 2010b). Mais repräsentiert hierbei Kraftfutter, Gras wird als Weidehaltung angesehen. In Österreich werden überwiegend Schweine- und Rindfleisch konsumiert (Statistik Austria, 2021a), weshalb die Futtermittelzusammensetzung dieser Tierarten genauer betrachtet wird. Da in drei Produktionsformen – Weidehaltung, gemischte Systeme, Industrielle Tierproduktion – unterschieden wird, wird für die Bestimmung der durchschnittlichen Futtermittelzusammensetzung der oben genannten Tierarten ein Mittelwert für die Zugabe von Kraftfutter der drei Produktionsformen verwendet. Für Rinder für die Fleischproduktion beträgt der Zusatz von Kraftfutter im Durchschnitt 8,9 %, für Schweine sind es 87 % (Mekonnen und Hoekstra, 2012). Laut der Versorgungsbilanz der Statistik Austria (2021) werden in Österreich 17,7 kg Rindfleisch pro Person und Jahr konsumiert. Bei Schweinefleisch sind es 51,7 kg pro Person und Jahr. Um einen allgemeinen Wert für den Anteil von Kraftfutter an Futtermitteln zu bestimmen, wird ein gewichtetes Mittel aus diesen Werten gebildet. Für Österreich sind dies 67 % Kraftfutteranteil. Diese Überlegungen werden auf die Änderungen des Wasserfußabdrucks übertragen, welcher dadurch um 2,7 % steigt. Mit den in Tabelle 6 gegebenen Daten sind folgende Schätzungen zur Zunahme des Wasserfußabdrucks durch klimatische Änderungen vom Zeitraum 1990–2018 zur Teilperiode 2014–2018 zu sehen:

- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar: +0,8 % virtuelles Wasser
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar: +2,7 % virtuelles Wasser

Für die Bestimmung der Zukunftsszenarien werden zwei Szenarien der ÖKS15-Datenreihe verwendet, zum einen ein mittleres RCP4,5-Szenario, zum anderen ein trockenes RCP8,5-Szenario. Es werden die Monatswerte der potenziellen Evapotranspiration (ETp) genutzt, um, der Methodik aus Kapitel 4.4 folgend, den Wasserfußabdruck unter Einbezug zukünftiger klimatischer Änderungen zu berechnen.

Insgesamt steigt der Wasserfußabdruck, wie in Tabelle 6 ersichtlich, für Weizen von 2014–2018 zu 2041–2070 um 5 % (RCP4.5) bzw. 6 % (RCP8.5 trocken), für Mais um 4 % (RCP4.5) bzw. 13 % (RCP8.5 trocken), für Gras um 1 % (RCP4.5) bzw. 9 % (RCP8.5 trocken). Der Wasserfußabdruck für Weizen und Gras ist eher hoch, da die Vegetationsperiode dieser Pflanzen sehr lang ist. Mit Hilfe der berechneten Wasserfußabdrücke der Periode 2041–2070 werden erneut Rückschlüsse gezogen, um die Änderungen des Wasserfußabdrucks pflanzlicher und tierischer Landwirtschaftsprodukte bedingt durch klimatische Veränderungen abschätzen zu können. Die Futtermittelzusammensetzung wird weiterhin mit einem Kraftfutteranteil von 67 % angenommen. Für das Szenario 1, welches mit Daten des mittleren RCP4,5-Szenarios bestimmt wurde, ergeben sich folgende Schätzungen zur Änderung des Wasserfußabdrucks im Vergleich zur Teilperiode 2014–2018:

- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar: +4,9 % virtuelles Wasser
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar: +3,0 % virtuelles Wasser

Für das Szenario 2, berechnet mit den Werten des trockenen RCP8.5-Szenarios, lauten die Schätzungen:

- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar: +5,9 % virtuelles Wasser
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar: +11,4 % virtuelles Wasser

Da beim Weizen der Winterweichweizen betrachtet wurde und somit vor allem die Wintermonate ausschlaggebend sind, ist der Unterschied von RCP4.5 und RCP8.5 trocken wesentlich geringer als bei Mais und Gras. Die Sommermonate, welche vor allem im RCP8.5 trocken-Szenario eine sehr hohe Verdunstungsrate aufweisen, nehmen keinen Einfluss auf den Winterweichweizen.

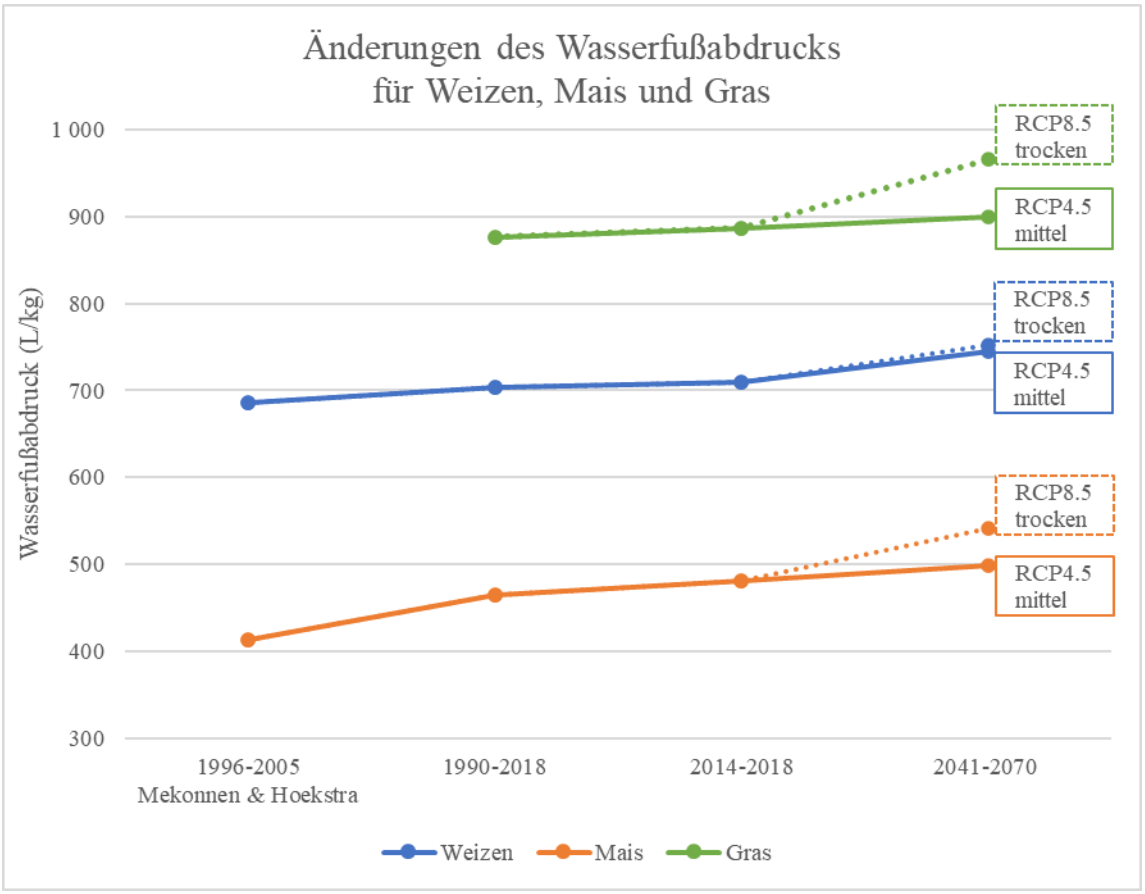

Abbildung 3: Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Klimaeinwirkungen

5.1.4 Auswirkungen von Lebensmittelverlusten auf den Wasserfußabdruck

Die Menge der verwendeten Lebensmittel hat einen signifikanten Einfluss auf den Wasserfußabdruck Österreichs. Laut einer Studie (Noleppa und Cartsburg, 2015) werden nur 72 % der Lebensmittel konsumiert, die restlichen 28 % teilen sich in etwa gleich große Teile an vermeidbaren und unvermeidbaren Lebensmittelverlusten auf (vgl. Abbildung 4).

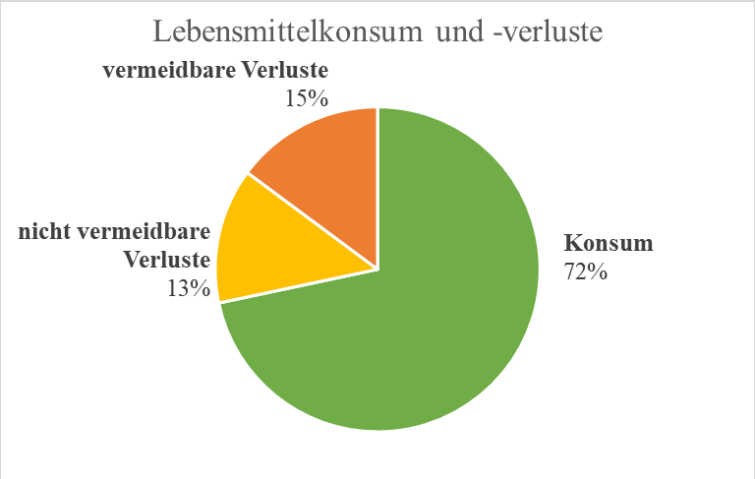

Abbildung 4: Lebensmittelkonsum und Lebensmittelverluste in Österreich (Neunteufel et al., 2021)

Bei der Betrachtung der Konsummengen von 1996–2005 und 2014–2018 ist ersichtlich, dass der Pro-Kopf-Konsum in Österreich gestiegen ist (vgl. Tabelle 7). Die größte Steigerung der konsumverfügbaren Menge in kg/(E*a) ist mit 214 % bei Weizen zu erkennen. Diese kann daran liegen, dass die Methodik zur Bestimmung der konsumverfügbaren Menge bei Vanham (2012a) unterschiedlich ist zur Methodik dieser Arbeit. Möglich ist auch ein erhöhter Weizenkonsum in Bezug zur Bioethanol-Produktion. Die Abgrenzung des Weizenanbaus für Lebensmittel und für Energie ist nicht gegeben. Nur bei Baumwolle und Kaffee ist ein Rückgang zu verzeichnen. Bei Baumwolle liegt dies vermutlich an der vermehrten Produktion von Kleidung mit alternativen Stofffasern wie Viskose, Modal oder Polyester. Kartoffeln, Tomaten und Rindfleisch sind in der Periode 2014–2018 auch zu einer größeren Menge verfügbar. Der Anstieg liegt zwischen 13 und 51 %.

Tabelle 7: Konsumverfügbare Mengen in kg/(E*a)

	Konsumverfügbare Menge in kg/(E*a)		**Änderung in %**
	1996–2005*	**2014–2018**	
Weizen	79.0	169.0	214%
Kartoffeln	62.4	94.3	151%
Tomaten	12.7	16.3	128%
Kaffee	7.0	5.5	79%
Rindfleisch	19.2	21.6	113%
Baumwolle	8.2	8.2	99%

*Vanham, 2012a

Unter der Annahme, dass Lebensmittel tatsächlich nicht vermehrt konsumiert werden, sondern größere Mengen entsorgt werden, führt dies zu einem Einsparungspotenzial an Lebensmittelverlusten, um den Wasserfußabdruck minimieren zu können. Wie in Kapitel 3.4 beschrieben, teilen sich die Lebensmittelverluste in unvermeidbare und vermeidbare Anteile. Diese fallen in der Landwirtschaft, der Verarbeitung, im Handel, in der Gastronomie und in Haushalten an.

Wie in Abbildung 5 dargestellt, entstehen die meisten unvermeidbaren Abfälle im Haushalt und bei der Verarbeitung. Bei letzterem sind dies vor allem Verluste durch Qualitätssicherung und Lagerhaltung. In der Landwirtschaft fallen 12 % der unvermeidbaren Lebensmittelverluste vor allem durch Ernteverluste, Beschädigung und Schädlingsbefall an. Im Handel geht mit 3 % am wenigsten verloren.

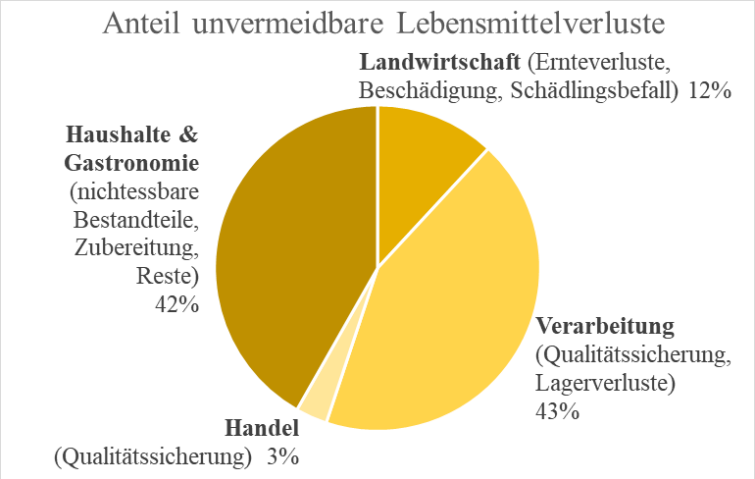

Abbildung 5: Anteil unvermeidbare Lebensmittelverluste (Neunteufel et al., 2021)

Abbildung 6 zeigt das Aufkommen der vermeidbaren Lebensmittelabfälle in den oben genannten Kategorien. Daten zu vermeidbaren Lebensmittelabfällen in der Landwirtschaft sind kaum vorhanden. Dabei werden genießbare Lebensmittel bereits am Feld zurückgelassen oder in der Produktion aussortiert (Scherhaufer et al., 2016). Vor allem Verluste vor der Ernte werden in den meisten Erhebungen nicht berücksichtigt. Des Weiteren kommt es auch zu Verlusten durch Marktüberschuss, beispielsweise bei Kopfsalaten. In einer Studie aus Großbritannien wird geschätzt, dass 30 % der Gemüseproduktion das Feld nicht verlassen (Noleppa und Cartsburg, 2015). Diese Annahme ist nach einer Studie von Schneider et al. (2012) auch auf Österreich übertragbar. Die dort erhobenen Daten ergeben für einzelne Gemüse- und Obstsorten zwischen 18-27 %.

Bei der Produktion fallen rund 122.000 Tonnen vermeidbare Lebensmittelabfälle pro Jahr an. Backwaren haben daran den größten Anteil; 51.700 Tonnen vermeidbare Lebensmittelabfälle sind in dieser Branche zu verzeichnen. Davon sind 35.600 Tonnen Brot und Gebäck, die der Lebensmitteleinzelhandel an die Produzenten retourniert (Pladerer und Hietler, 2019). Vermeidbare Lebensmittelabfälle entstehen hier durch Überproduktion, Transportschäden oder Aussortierung für weitere Verarbeitung (Noleppa und Cartsburg, 2015).

Für den Gastronomiesektor werden für Österreich jährlich rund 175.000 Tonnen vermeidbare Lebensmittelabfälle angesetzt. Die Datengrundlage hierfür ist jedoch nicht so umfangreich wie für den Handel und die Haushalte, weshalb diese Zahl nur als Abschätzung zu verstehen ist (Scherhaufer et al., 2016). Gründe für vermeidbare Lebensmittelabfälle im Gastronomiesektor sind vor allem Verderb, Reste und Übermengen.

Zu vermeidbaren Lebensmittelabfällen im Handel und in Haushalten sind für Österreich eine Vielzahl von Studien vorhanden. Insgesamt fallen rund 89.500 Tonnen pro Jahr im Handel und rund 521.000 Tonnen pro Jahr in Haushalten an. Gründe für die Menge an vermeidbaren Lebensmittelabfällen in Haushalten sind vor allem Verderb und Reste, beim Handel Verteilungsverluste, Aussehen und Frische (Noleppa und Cartsburg, 2015).

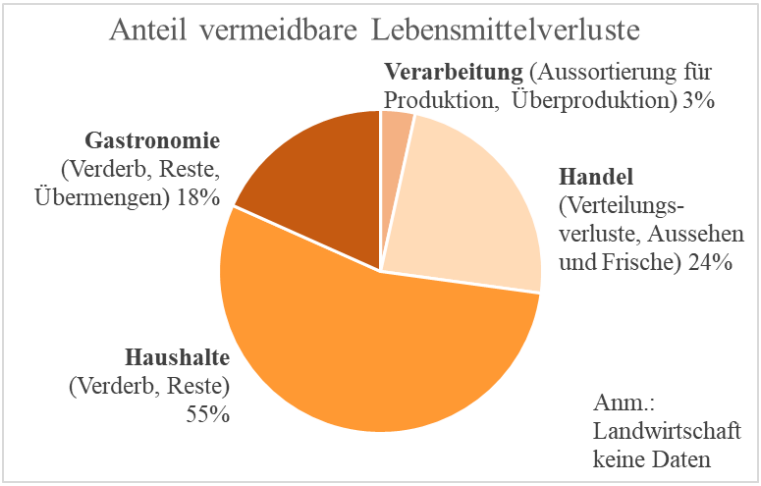

Abbildung 6: Anteil vermeidbare Lebensmittelverluste (Neunteufel et al., 2021)

Sowohl durch Umfragen als auch mittels Restmüllanalysen kann die Menge und die Zusammensetzung der vermeidbaren Lebensmittelabfälle von Haushalten und Handel bestimmt werden, welche insgesamt 14,5 Masse-% ausmachen. Die Zusammensetzung dieser Abfälle sind in Abbildung 7 zu sehen. Demnach werden vor allem Gemüse und Brot nicht bzw. nicht rechtzeitig konsumiert.

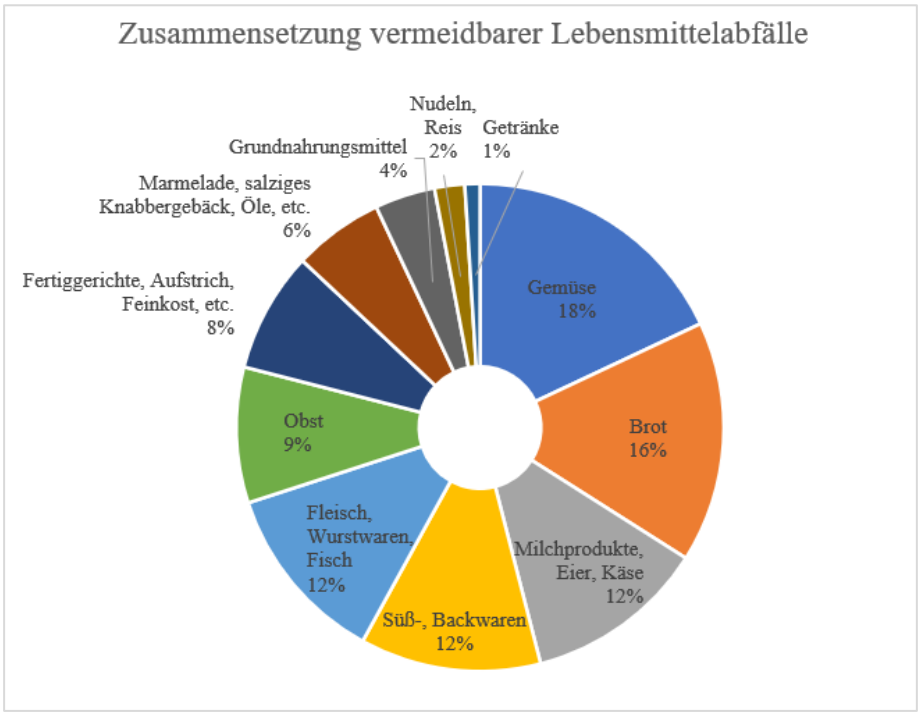

Abbildung 7: Zusammensetzung vermeidbarer Lebensmittelabfälle nach Produktgruppen (Obersteiner und Luck, 2020; eigene Abbildung)

5.1.5 Änderungen des Wasserfußabdrucks unter Einbezug der Ertragsänderungen

In Kapitel 5.1 wird der Einfluss der Ertragsänderungen zunächst außer Acht gelassen, da diese einen sehr positiven Effekt auf den Wasserfußabdruck haben können. Dies liegt daran, dass die gesamte Pflanzenwassernutzung durch den Ertrag pro Hektar geteilt wird. Eine Effizienzsteigerung im Ertrag führt somit rechnerisch zur Reduzierung des Wasserfußabdrucks. Somit werden Änderungen durch klimatische Bedingungen nicht ausreichend gezeigt.

Der Ertrag pro Hektar steigt sowohl beim Weizenanbau als auch beim Maisanbau durch die steigende Effizienz in der Flächennutzung. Die Grundlagendaten weisen für Weizen einen Ertrag von rund 4,5 t/ha aus. Dieser steigert sich um rund 20 % auf 5,5 t/ha in der Periode 2014–2018 (siehe Tabelle 8). Die Größe der Anbaufläche für Weizen ist seit 2008 konstant bei rund 300.000 ha geblieben. Die Produktionsmenge wiederum ist durchgängig stark schwankend, wodurch keine aussagekräftige Extrapolation für den Ertrag in der Periode 2041–2070 möglich ist. Daher wird für diesen Zeitraum 5,5 t/ha gewählt, gleich zur Periode 2014–2018.

Tabelle 8: Ertragsänderungen und Änderungen des Wasserfußabdrucks unter Berücksichtigung des Ertrages

		Mekonnen & Hoekstra	**1990–2018**	**2014–2018**	**Änderungen in %**	
					2014–2018 zu M&H	**2014–2018 zu 1990–2018**
t/ha	Ertrag Weizen	4.5*	5.1**	5.5**	+22%	+7%
	Ertrag Mais	7.7*	9.5**	10.1**	+32%	+6%
L/kg	WF Weizen	686	672	635	-7%	-6%
	WF Mais	413	341	332	-20%	-3%

Quellen: *Monfreda et al., 2008; **Statistik Austria, 2021c;
Anm.: Änderungen in % erfolgt durch eigene Berechnungen

Wie in Abbildung 8 ersichtlich sinkt der Wasserfußabdruck deutlich unter Berücksichtigung der Ertragsänderungen, während der Ertrag pro Hektar steigt. Insgesamt sinkt unter Miteinbezug der Klimaänderungen und des Ertrags der Wasserfußabdruck von Weizen um 6 % bzw. um 37 L/kg von der Periode 1990–2018 zur Teilperiode 2014–2018. Im Vergleich zu den Daten von Mekonnen und Hoekstra (2010a) sinkt der Wasserfußabdruck des Zeitraums 2014–2018 um 7 %. Der Anstieg des Wasserfußabdrucks für 2041–2070 erfolgt aufgrund der Klimaänderungen, da, wie zuvor schon genannt, der Ertrag für diesen Zeitraum gleichbleibend zu 2014–2018 angenommen wurde.

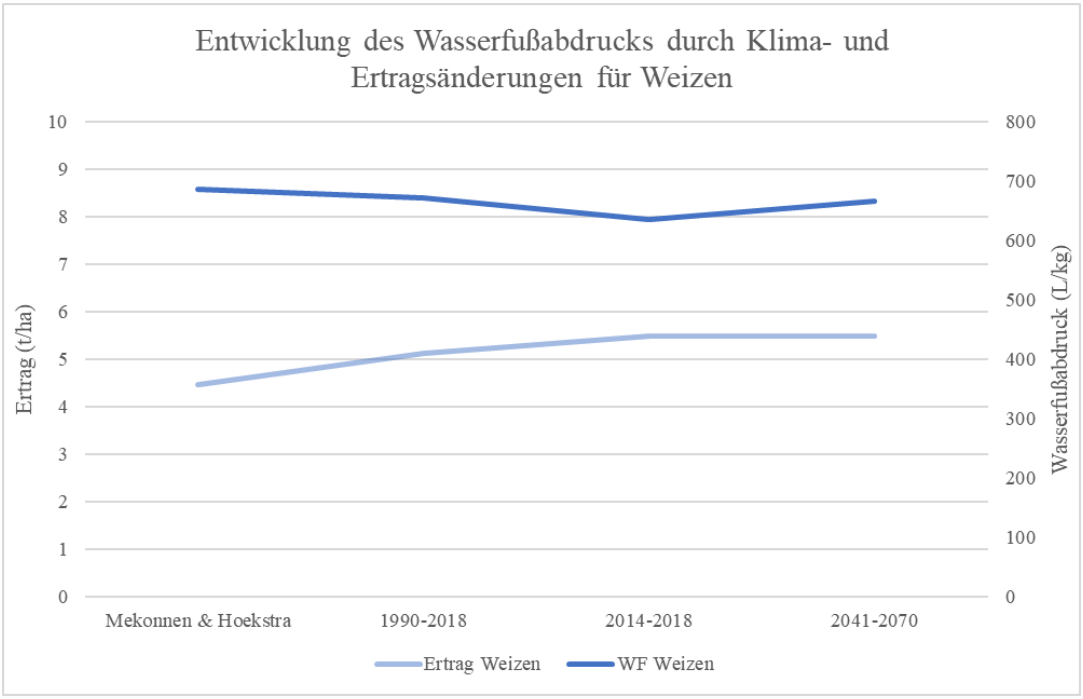

Abbildung 8: Entwicklung des Wasserfußabdrucks durch Klima- und Ertragsänderungen für Weizen (Monfreda et al., 2008; Statistik Austria, 2021;, ZAMG, 2021; eigene Abbildung)

Die Änderungen des Wasserfußabdrucks von Mais sind noch deutlicher erkennbar als der von Weizen. Vor allem zu den Daten von Mekonnen und Hoekstra (2010a) sind die Ertragszunahmen bis 2014–2018 um 32 % signifikant. Der Ertrag pro Hektar steigert sich, wie in Tabelle 8 zu sehen, um 2,4 t/a von 7,7 auf 10,1 t/a. Dadurch sinkt der Wasserfußabdruck um 20 % von 413 auf 332 L/kg. Wie in Abbildung 9 zu sehen, ist die Ertragssteigerung von 1990–2018 zur Teilperiode 2014–2018 geringer als zu den Grundlagendaten. Hier steigert sich der Ertrag um insgesamt 6 %, wodurch der Wasserfußabdruck um 3 % geringer wird. Die Annahmen zum Zeitraum 2041–2070 werden analog zu denen von Weizen getroffen, sodass auch hier ein Anstieg des Wasserfußabdrucks durch die klimatischen Änderungen ersichtlich ist.

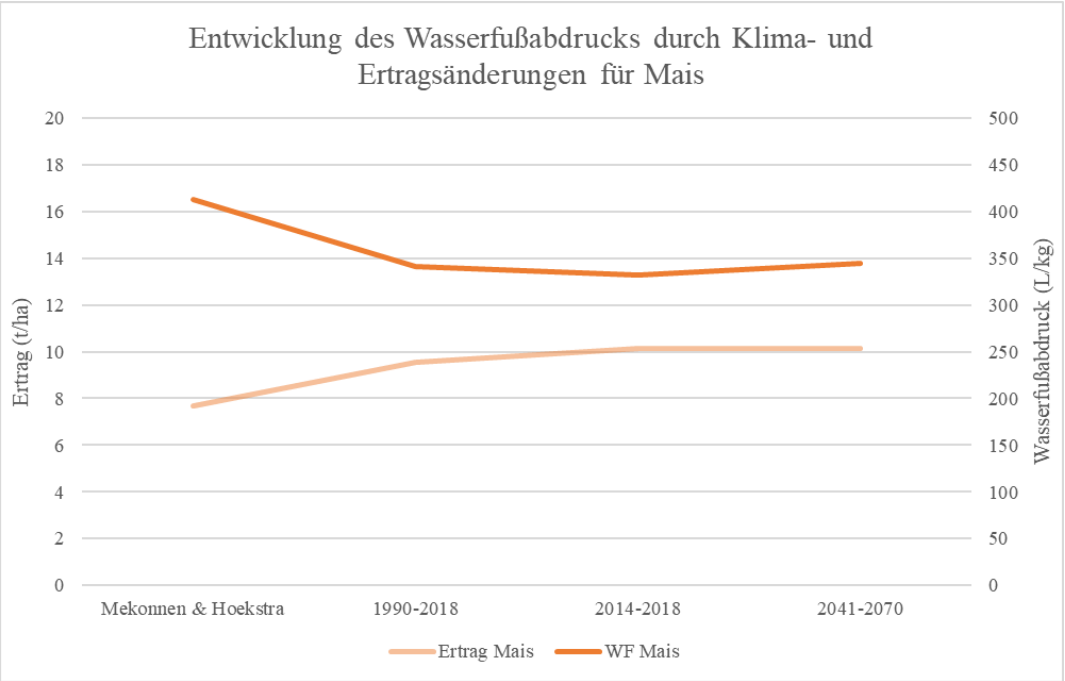

Abbildung 9: Entwicklung des Wasserfußabdrucks durch Klima- und Ertragsänderungen für Mais (Monfreda et al., 2008; Statistik Austria, 2021c; ZAMG, 2021; eigene Abbildung)

5.1.6 Gegenüberstellung des Wasserfußabdrucks 1996–2005 zu 2014–2018

Unter Berücksichtigung der geänderten Eingangsdaten ändert sich auch der Wasserfußabdruck Österreichs, ausgedrückt als Pro-Kopf-Verbrauch in Liter pro Person und Tag. Mit Ausnahme der Ertragsänderungen führen jegliche Änderungen in Konsum oder klimatisch bedingt zu einer Steigerung des Wasserfußabdrucks.

Wie in Tabelle 9 zu sehen ändert sich der Wasserfußabdruck vor allem durch Konsumänderungen. Die stärkste Steigerung ist hier bei den tierischen essbaren Landwirtschaftsprodukten zu sehen. Unter Einbezug der Änderungen durch Konsum und Klima steigt der österreichische Wasserfußabdruck im Zeitraum 2014–2018 um rund 390 Liter pro Person und Tag bzw. um insgesamt 9 % im Vergleich zu den bisher veröffentlichten Daten. Die Ertragsänderungen werden nicht mit einbezogen, da diese den Wasserfußabdruck rechnerisch reduzieren und dadurch der Einfluss der klimatischen Bedingungen und der Konsumänderungen nicht ausreichend gezeigt wird.

Tabelle 9: Änderungen des Wasserfußabdrucks bedingt durch unterschiedliche Einflussfaktoren

	Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Einflussfaktoren in %			Wasserfußabdruck in L/(E*d)		
	Konsum	**Klima**	**Ertrag**	**1996–2005***	**2014–2018 (exkl. Ertrag)**	**2014–2018 (inkl. Ertrag)**
direkter Wasserverbrauch in Haushalten	-	-	-	114	126	126
Anteilig sonstiger direkter Verbrauch	-	-	-	-	108	108
pflanzliche Produkte - essbar	3%	0,8%	-6%	1.570	1.630	1.532
tierische Produkte - essbar	8%	2,7%	-3%	1.729	1.918	1.860
landwirtschaftliche Produkte - nicht essbar	7%	-	-	356	376	376
Gewerbe- und Industrieprodukte	-	-	-	608	608	608
Summe				**4.377**	**4.766**	**4.610**

*Quelle: *Vanham, 2013
Anm.: Der Wasserfußabdruck für 2014–2018 inkl. & exkl. Ertrag erfolgt durch eigene Berechnungen

Abbildung 10 zeigt die Zusammensetzung des Wasserfußabdrucks der aktuellen Schätzung basierend auf bisherigen Publikationen und Daten zu Konsumänderungen zwischen den Zeiträumen 1996–2005 und 2014–2018 sowie den Veränderungen des Wasserfußabdrucks ausgewählter Produkte durch klimatische Änderungen zwischen der Klimaperiode 1990–2018 und der Teilperiode 2014–2018. Die Grundlagendaten zur Neuberechnung des Wasserfußabdrucks für Österreich stammen aus Publikationen von Vanham (2013) und Mekonnen und Hoekstra (2010a, 2010b, 2011). In der Kategorie *landwirtschaftliche Produkte – nicht essbar* ist die Konsumänderung, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, berücksichtigt. Änderungen des Wasserfußabdrucks bedingt durch den seit 2005 stark gestiegenem Konsum von Biokraftstoffen wird in der Darstellung nicht explizit ausgewiesen. Da Biokraftstoffe überwiegend aus Pflanzen bestehen, die auch als Futterpflanzen verwendet werden, ist es nicht klar abgrenzbar, für welchen Zweck eben diese Pflanzen angebaut werden. Wenn beispielsweise Weizen für Biokraftstoffe gepflanzt wird und Reste davon als Futtermittel verwendbar sind, wird nur für den Biokraftstoff ein Wasserfußabdruck ausgewiesen, der von den gewonnenen Futtermitteln wird auf null gesetzt. Die Primärnutzung der Rohstoffe ist allerdings nicht bekannt. Somit sind die Biokraftstoffe zum Teil in der Kategorie der pflanzlichen essbaren Landwirtschaftsprodukte (z.B. über Weizen, Mais und Raps) und zum Teil in der Kategorie der tierischen Landwirtschaftsprodukte über die Futtermittel in der Tierproduktion beinhaltet. Tatsächlich müssten die Anteile der Energiepflanzen bei den Kategorien der essbaren Landwirtschaftsprodukte geringer sein, dafür der Anteil der nicht essbaren Landwirtschaftsprodukte größer. Da die Anteile der Biokraftstoffe am Wasserfußabdruck der essbaren Produkte jedoch nicht quantifizierbar sind, wird der Anteil der nicht essbaren Landwirtschaftsprodukte nicht erhöht.

Die aktuelle Schätzung des Wasserfußabdrucks zeigt, dass weiterhin die Ernährung mit etwa 75 % Anteil den größten Bedarf an virtuellem Wasser aufweist. Zudem wird anteilig der sonstige direkte Wasserverbrauch beispielsweise mitversorgter Industrie mit einbezogen. Mit rund 110 Litern pro

Person und Tag ist dieser Anteil vergleichsweise gering. Wenn die Ertragsänderung auch mit einbezogen wird, ist der Wasserfußabdruck pflanzlicher essbarer Landwirtschaftsprodukte im Zeitraum 2014–2018 geringer als im Zeitraum 1996–2005. Allerdings müsste in diesem Fall der erhöhte Wasserbedarf durch dichtere Bepflanzung je Hektar berücksichtigt werden. Hierfür liegen jedoch keine Daten vor, weshalb die Ertragsänderungen nicht angesetzt werden. Bei den tierischen essbaren Landwirtschaftsprodukten kommt es dennoch zu einer Steigerung, da die Konsumsteigerung stärker ist als der Einfluss der Ertragssteigerung auf den Wasserfußabdruck. Insgesamt erhöht sich, wie in Tabelle 9 ersichtlich, unter Berücksichtigung des Konsums, des Klimas und des Ertrags der aktuelle Wasserfußabdruck im Vergleich zu 1996–2005 um rund 200 Liter pro Person und Tag bzw. um 5 %.

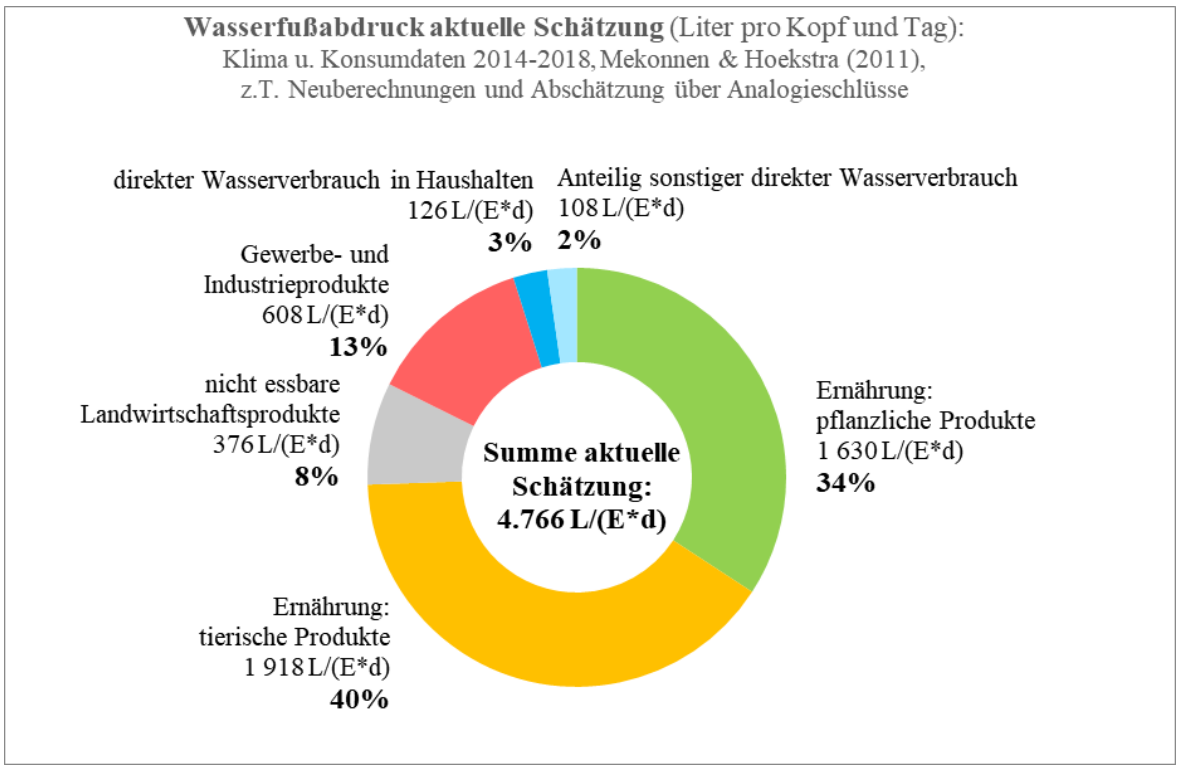

Abbildung 10: Wasserfußabdruck aktuelle Schätzung (Neunteufel et al., 2021)

5.1.7 Gegenüberstellung des Wasserfußabdrucks 2014–2018 zu 2041–2070

Zur Abschätzung der zukünftigen Änderungen des Wasserfußabdrucks werden, wie in Kapitel 4.4.1 kurz beschrieben, zwei Klimaszenarien betrachtet. Für die Abschätzung des Wasserfußabdrucks im Zeitraum 2041–2070 werden mehrere Annahmen getroffen:

1. Da keine logische Extrapolation für den Ertrag pro Hektar möglich ist, wird dieser als gleichbleibend angenommen. Wie schon bei der aktuellen Schätzung wird der Wasserfußabdruck mit den Erträgen vom Zeitraum 1996–2005 und von der Teilperiode 2014–2018 betrachtet.
2. Da der Fleischkonsum für rund 75 % des Wasserfußabdrucks tierischer essbarer Landwirtschaftsprodukte verantwortlich ist, wird als weiteres Szenario betrachtet, welche Auswirkungen eine Reduktion des Fleischkonsums von 25 % auf den Wasserfußabdruck haben. Gründe dafür könnten ein bewussterer Fleischkonsum und steigende Weltmarktpreise durch Nachfragesteigerungen, insbesondere in Asien, gesehen werden.

3. Die Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Klimaänderungen werden in zwei Szenarien bestimmt. Im mittleren RCP4.5-Szenario ändert sich im Vergleich zur Periode 2014–2018 der Wasserfußabdruck um 4,9 % (pflanzliche essbare Landwirtschaftsprodukte) bzw. um 3,0 % (tierische essbare Landwirtschaftsprodukte). Im trockenen RCP8.5-Szenario ändert sich der Wasserfußabdruck um 5,9 % (pflanzliche essbare Produkte) bzw. 11,4 % (tierische essbare Produkte).
4. Der Konsum von Biokraftstoffen wird auch in den Zukunftsszenarien nicht explizit dargestellt, da nicht klar abgegrenzt werden kann, welche Pflanzen primär als Futtermittel und welche als Energiepflanze verwendet werden.

Die Konsummengen werden, wie in Kapitel 4.5.2 beschrieben, linear extrapoliert, wobei nur Konsumänderungen der pflanzlichen und tierischen essbaren Landwirtschaftsprodukte betrachtet werden. Eine Abschätzung für die Zunahme des Baumwollkonsums im Zeitraum 2041–2070 wird nicht vorgenommen, um die Vergleichbarkeit mit der bisherigen und aktuellen Schätzung des Wasserfußabdrucks zu ermöglichen. Es wird die in Kapitel 5.1.2 berechnete Menge des aktuellen Konsums im Zeitraum 2014–2018 angesetzt. Industrie- und Gewerbeprodukte und nicht essbare Landwirtschaftsprodukte werden als gleichbleibend angenommen. Die Konsumänderungen im Vergleich zur Teilperiode 2014–2018 lauten wie folgt:

- Pflanzliche essbare Landwirtschaftsprodukte: +2 %
- Tierische essbare Landwirtschaftsprodukte: +7 %
- Tierische essbare Landwirtschaftsprodukte unter Einbezug des reduzierten Fleischkonsums um 25 %: +6 %

Die Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Klimaänderungen werden in zwei Szenarien, ein mittleres RCP4.5 und ein trockenes RCP8.5, bestimmt. Berechnet werden diese für den Zeitraum 2041–2070 wie in Kapitel 5.1.3 beschrieben. Die Änderungen im Vergleich zur Teilperiode 2014–2018 lauten:

RCP4.5 mittel:

- Pflanzliche essbare Landwirtschaftsprodukte: +4,9 %
- Tierische essbare Landwirtschaftsprodukte: +3,0 %

RCP8.5 trocken:

- Pflanzliche essbare Landwirtschaftsprodukte: +5,9 %
- Tierische essbare Landwirtschaftsprodukte: +11,4 %

Somit ergeben sich für den Zeitraum 2041–2070 insgesamt acht Szenarien, die sich, wie in Tabelle 10 zu sehen, zusammensetzen. In allen Szenarien werden die extrapolierten Konsumänderungen mit einbezogen. Der direkte Wasserverbrauch in Haushalten und Gärten und die anteiligen Wasserverbräuche für öffentliche Einrichtungen, Dienstleistungen, etc. stammen aus dem Projekt *Wasserschatz Österreichs* (2021) und sind gleichermaßen für die Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5

trocken berechnet. Aus den acht Szenarien werden je ein Minimalszenario und ein Maximalszenario ermittelt, welche dann mit der aktuellen Schätzung (2014–2018) verglichen werden.

Tabelle 10: Zusammenstellung der Zukunftsszenarien

	RCP4.5 mittel	RCP8.5 trocken	Ertrags-änderungen	reduzierter Fleischkonsum
Szenario 1	**x**		**x**	**x**
Szenario 2	**x**		**x**	
Szenario 3	**x**			**x**
Szenario 4	**x**			
Szenario 5		**x**	**x**	**x**
Szenario 6		**x**	**x**	
Szenario 7		**x**		**x**
Szenario 8		**x**		

In Tabelle 11 ist beim Vergleich der Szenarien zu sehen, dass je nach Einbezug von Konsum- und Ertragsänderungen der Wasserfußabdruck zwischen rund 4.400 und 5.200 Litern pro Person und Tag schwankt. Szenario 1, dargestellt in Abbildung 11, hat den minimalen Wert und basiert auf Klimaänderungen des RCP4.5-Szenarios, Ertragsminderungen, Konsumänderungen und reduziertem Fleischkonsum. Diese Schätzung liegt rund 300 Liter pro Person und Tag unter der aktuellen Schätzung. Mit Einsparungen bei Fleischkonsum und Effizienzsteigerungen im Ertrag würde somit der Wasserfußabdruck erneut auf die bisher publizierten Daten sinken. Es handelt sich jedoch hierbei vermutlich um eine Unterschätzung, da Wasserbedarfssteigerungen bei Ertragssteigerungen unberücksichtigt bleiben.

Das Szenario 8 ist die Maximalbetrachtung und wird in Abbildung 12 dargestellt. Hier sind lediglich die Konsumänderungen und Klimaänderungen im trockenen RCP8.5-Szenario mit eingeflossen. Der Wasserfußabdruck steigert sich in diesem Fall im Vergleich zur Periode 2014–2018 um 500 Liter auf rund 5.200 Litern pro Person und Tag. Dieses Szenario verdeutlicht die Auswirkungen des Klimas auf den Wasserfußabdruck.

Tabelle 11: Wasserfußabdruck der Zukunftsszenarien in L/(E*d)

	Szenario 1	**Szenario 2**	**Szenario 3**	**Szenario 4**	**Szenario 5**	**Szenario 6**	**Szenario 7**	**Szenario 8**
direkter Wasserverbrauch in Haushalten (inkl. Sonstiger direkter Verbrauch)	240	240	240	240	240	240	240	240
pflanzliche Produkte - essbar	1.641	1.641	1.746	1.746	1.657	1.657	1.762	1.762
tierische Produkte - essbar	1.534	2.053	1.582	2.116	1.659	2.220	1.711	2.289
landwirtschaftliche Produkte - nicht essbar	376	376	376	376	376	376	376	376
Gewerbe- und Industrieprodukte	608	608	608	608	608	608	608	608
Summe	**4.399**	**4.918**	**4.551**	**5.086**	**4.540**	**5.101**	**4.697**	**5.275**

Im Vergleich zu den bisher publizierten Daten ergibt die vorliegende Abschätzung Zunahmen von bis zu 20 %. In der Literatur (Mekonnen und Gerbens-Leenes, 2020) wird für einen vergleichbaren Zeitraum zwischen 2010-2050 mit Zunahmen zwischen rund 20 bis 30 % gerechnet, wobei dies die weltweite Situation darstellt.

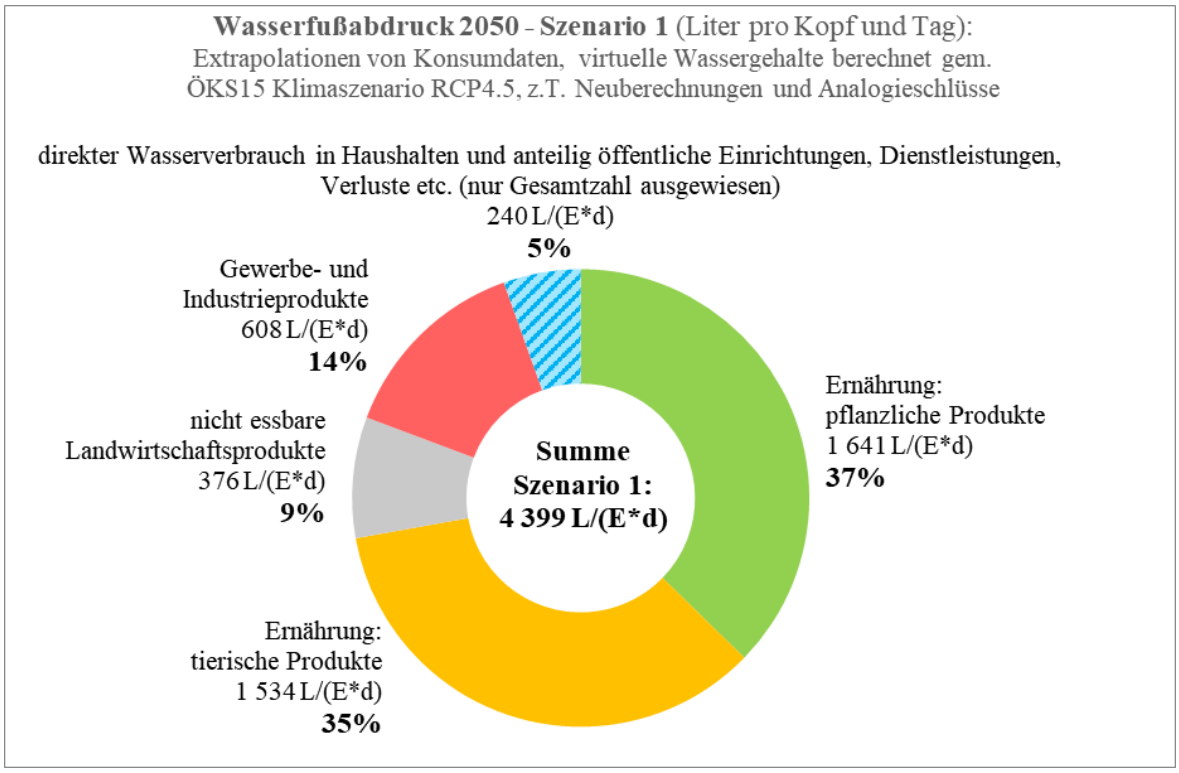

Abbildung 11: Wasserfußabdruck 2050 in Österreich – Szenario 1 (FAO, 2021; Vanham, 2013; Mekonnen und Hoekstra, 2010a und 2010b; Chimani et al., 2016; Wasserschatz Österreichs, 2021; Neunteufel et al., 2021)

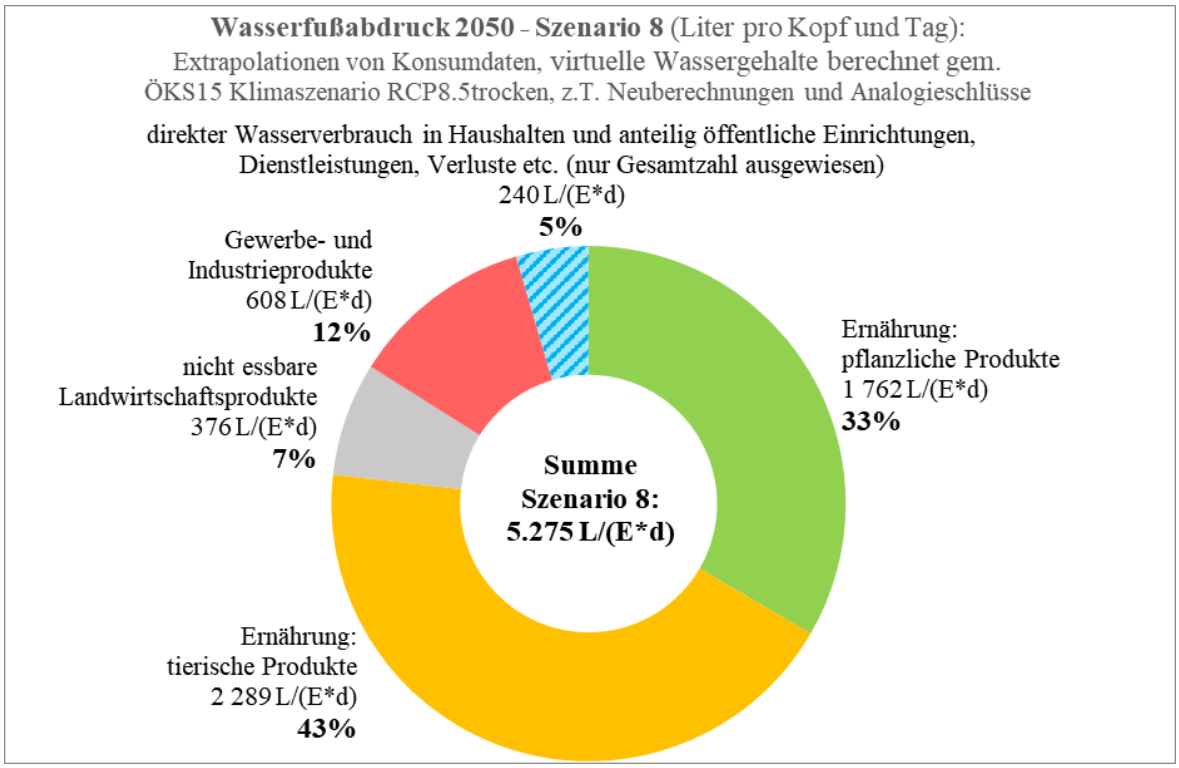

Abbildung 12: Wasserfußabdruck 2050 in Österreich – Szenario 8 (FAO, 2021; Vanham, 2013; Mekonnen und Hoekstra, 2010a und 2010b; Chimani et al., 2016; Wasserschatz Österreichs, 2021; Neunteufel et al., 2021)

6. Interpretation

Für die Berechnung des Wasserfußabdrucks müssen vielfach pauschalisierte Annahmen getroffen werden, was zu methodischen Unschärfen führt. Diese sollen im folgenden Kapitel genauer behandelt werden. Des Weiteren werden mögliche Einsparungspotenziale aufgezählt, welche bei der Abschätzung des aktuellen österreichischen Wasserfußabdrucks aufgekommen sind. Im letzten Schritt werden weitere Gesichtspunkte thematisiert, die über die reine Betrachtung des Wasserfußabdrucks hinausgehen.

6.1 Einsparungspotenziale

Etwa 75 % des Wasserfußabdrucks aus Österreich stammt aus dem Konsum von pflanzlichen und tierischen essbaren Lebensmitteln. Daher liegt das Potenzial zur Einsparung an virtuellem Wasser vor allem bei folgenden drei Punkten:

- Vermeidbare Lebensmittelverluste
- Konsumverhalten
- Ernährungsänderung

Wie schon in Kapitel 3.4 aufgezeigt und in Kapitel 5.1.4 beschrieben, ist ein Anteil der anfallenden Lebensmittelverluste vermeidbar. In Abbildung 13 ist die Einteilung der konsumierten Menge an Lebensmittel und deren Verluste zu sehen. Auffallend ist, dass von den 15 % der vermeidbaren Verluste 55 % davon in Haushalten anfallen. Dadurch ist hier ein erhöhtes Potenzial vorhanden, auch virtuelles Wasser einzusparen. In Zahlen ausgedrückt lassen sich bis zu 290 L/(E*d) durch die Vermeidung von Lebensmittelabfällen in Haushalten einsparen.

Abbildung 7 auf Seite 32 zeigt die Zusammensetzung der vermeidbaren Lebensmittelabfälle aus Haushalten. Vor allem Obst und Gemüse mit insgesamt 27 % Volumen-Anteil werden häufig weggeworfen, obwohl sie noch genießbar gewesen wären. Wenn nun die aktuelle Schätzung des Wasserfußabdrucks von 1.630 L/(E*d) für pflanzliche essbare Produkte in Haushalten um 27 % reduziert wird, können rund 36 L/(E*d) eingespart werden.

Bei tierischen essbaren Produkten liegt das Einsparungspotenzial in Haushalten bei insgesamt 24 %. Hierbei werden sowohl Fleisch und Fleischwaren als auch Milchprodukte, Eier und Käse erfasst. Unter Einbezug der aktuellen Schätzung von 1.890 L/(E*d) könnten mit der Vermeidung von Lebensmittelabfällen rund 37 L/(E*d) eingespart werden.

Die Einsparungspotenziale von bis zu 290 L/(E*d) sind nur als Schätzung zu verstehen, da nicht genau bekannt ist, welchen Einfluss die einzelnen Lebensmittel auf den Wasserfußabdruck haben und in welchen Mengen diese als vermeidbare Lebensmittelabfälle entsorgt werden.

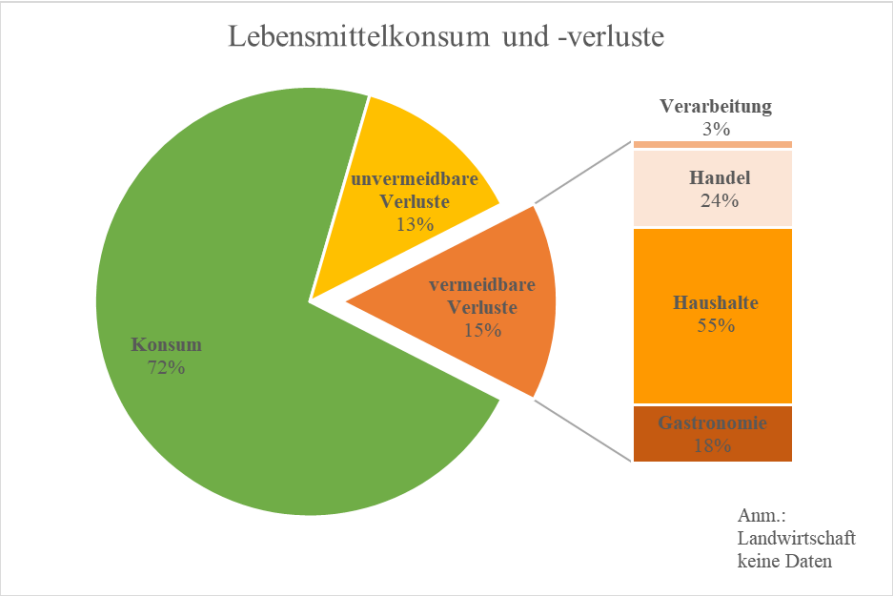

Abbildung 13: Lebensmittelkonsum und -verluste (Noleppa und Hartsburg, 2015; eigene Abbildung)

Bei Einsparungspotenzialen im Zusammenhang mit Konsumverhalten sind auch industrielle Güter mit einbezogen. Vor allem in Bezug auf Elektrogeräte ist ein erhöhtes Einsparungspotenzial vorhanden. Beispielsweise werden Mobiltelefone in der Regel alle drei Jahre ersetzt (Tröger et al., 2017), obwohl sie noch funktionstüchtig wären. Wie stark das Einsparungspotenzial durch Änderungen des Konsumverhaltens ist, ist schwer abschätzbar, da für die Quantifizierung möglicher Veränderungen keine Datengrundlage zur Verfügung steht. In Bezug auf Änderungen des Lebensmittelkonsums sind Einsparungspotenziale auch schon durch die Reduzierung von vermeidbaren Lebensmittelabfällen mit einbezogen. Wie stark sich der Konsum von regionalen Produkten auf den Wasserfußabdruck auswirken kann, ist auch nicht abschätzbar. In Abbildung 2 auf Seite 19 ist jedoch ersichtlich, dass die Produktion in Österreich durchgängig weniger virtuelles Wasser benötigt als im weltweiten Durchschnitt, weshalb mit regionalem Konsum auch mit einer Einsparung von virtuellem Wasser zu rechnen ist.

Ein weiteres Einsparungspotenzial liegt bei den Ernährungsformen. Hier wird der tatsächliche Konsum in Österreich mit den Ernährungsempfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) verglichen. Für die Betrachtung der Unterschiede omnivorer, vegetarischer und veganer Ernährung werden ebenfalls die Empfehlungen der DGE verwendet, um diese Diäten und deren Bedarf an virtuellem Wasser miteinander vergleichen zu können. Wie in Abbildung 14 zu sehen ist das größte Einsparungspotenzial zwischen den Ernährungsformen vom tatsächlichen Konsum zur omnivoren Ernährungsempfehlung am größten. Hier können rund 900 L/(E*d) eingespart werden. In der Gegenüberstellung der einzelnen Diäten auf Datengrundlage der DGE wird mit einer veganen Ernährung am wenigsten virtuelles Wasser konsumiert. Dies liegt am kompletten Verzicht von tierischen Produkten, die in der Regel einen sehr hohen Wasserfußabdruck aufweisen (bspw. 1 L Milch mit einem Wasserfußabdruck von 900 L/kg). Hierbei liegt das Einsparungspotenzial von omnivorer zu veganer Ernährung bei rund 850 L/(E*d).

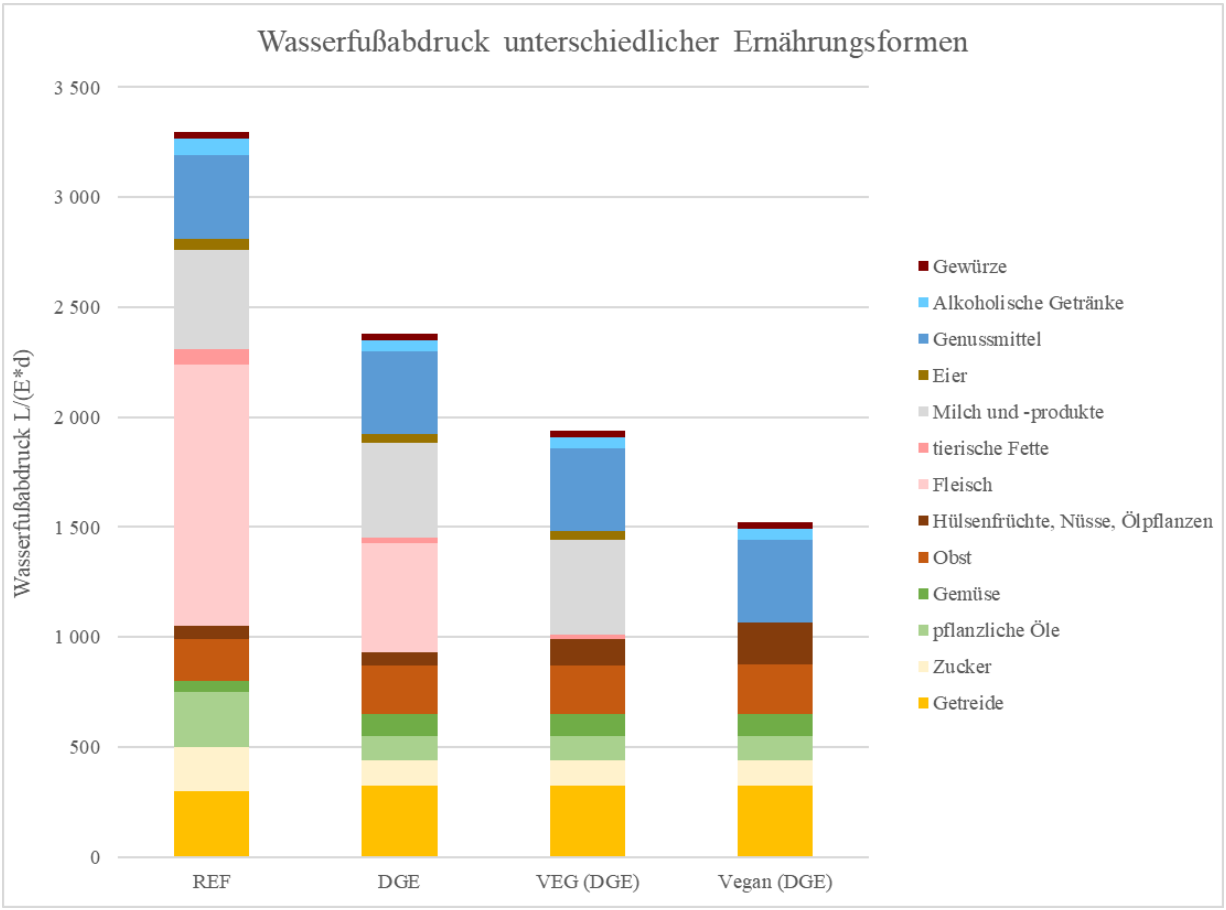

Abbildung 14: Wasserfußabdruck unterschiedlicher Ernährungsformen (Vanham, 2013; eigene Abbildung)

6.2 Relativierung des bilanzhaften Ansatzes

Bei den Berechnungen zum Wasserfußabdruck werden einige Annahmen getroffen, die zu methodischen Unschärfen führen. Um dennoch frühere Daten zum Wasserfußabdruck mit aktuellen Berechnungen vergleichen zu können, werden alle Annahmen beibehalten. Die neu berechneten Werte sind als Schätzungen eher am unteren Rand möglicher Bandbreiten zu verstehen. In den nachfolgenden Punkten werden die signifikantesten methodischen Unschärfen erläutert und weitere Betrachtungen über den Wasserfußabdruck hinaus thematisiert.

6.2.1 Methodische Unschärfen

In den nachfolgenden Punkten werden die auffälligsten methodischen Unschärfen aufgezeigt. Auch wenn die pauschalisierte Berechnung des Wasserfußabdrucks Lücken aufweist, ist er ein wichtiges Instrument zur Quantifizierung des möglichen Wasserkonsums und gibt einen weiter gefassten Blick auf die Größenordnung des Wasserbedarf jedes Menschen.

6.2.1.1 Wasserbedarf und Flächenerträge landwirtschaftlicher Produkte

Zur Berechnung des Wasserfußabdrucks wird die gesamte Pflanzenwassernutzung über die Vegetationsdauer durch den erzielten Ertrag pro Hektar geteilt. Durch Optimierung beim Anbau wird somit auch der Wasserfußabdruck reduziert. Die Berechnungen aus Kapitel 5.1.5 auf Seite 33 zeigen den signifikanten Einfluss der Ertragsänderungen auf die Bestimmung des Wasserfußabdrucks einzelner landwirtschaftlicher Güter.

Außer Acht gelassen wird dabei der steigende Wasserbedarf der Pflanzen je Flächeneinheit. Bei der Berechnung der Pflanzenwassernutzung wird von einer typischen Pflanze ausgegangen, beispielsweise Tomaten mit einer Höhe von rund 1,8 m. Betrachtet man nun Tomaten aus den Niederlanden, stimmt diese Höhe nicht mehr überein. Dort werden Tomaten bis zu einer Höhe von rund 8 m gezogen, wodurch der Ertrag pro Hektar enorm steigt. Im Vergleich zu Spanien oder Marokko erzielt die Niederlande damit einen 10-fachen Ertrag. Die Berechnung des Wasserfußabdrucks erfolgt allerdings nicht über eine Anpassung des daraus resultierenden Pflanzenwasserbedarfs, obwohl bei Ertragssteigerungen auch mehr Wasser benötigt wird (Deutsche Welle, 2021).

6.2.1.2 Nicht berücksichtigte Produkte

Im Allgemeinen erfolgt die Berechnung des Wasserfußabdrucks für Österreich auf Basis eines „Warenkorbs“. Hierbei sind alle Konsumgüter und Lebensmittel gemeint, die im Durchschnitt pro Person und Tag konsumiert werden. Die Datengrundlage für die Wasserfußabdruck-Berechnung aus den Publikationen von Mekonnen und Hoekstra (2010a, 2010b) ist jedoch nicht in hinreichender Detailtiefe bekannt. Allerdings ist der Datenbank zu entnehmen, dass im Zeitraum 1996–2005 kein Wasserfußabdruck von Fischen bestimmt wurde. Dabei liegt die Konsummenge in Österreich bei rund 8 kg/(E*a) (Statistik Austria, 2021a) und sollte damit auch in den Wasserfußabdruck mit einbezogen werden.

Erst kürzlich wurde eine Publikation veröffentlicht, die sich mit dem Wasserfußabdruck von Tilapia in Aquakulturen beschäftigt (Guzmán-Luna et al 2021). In dieser Studie werden drei Haltungsformen – extensive, semi-intensive und intensive – von Tilapia und deren Wasserfußabdruck verglichen. Bei extensiver Aquakultur werden drei Fische pro m³ gehalten, was den Vorteil mit sich bringt, dass natürliches Futter ausreichend ist. Semi-intensive Aquakultur beinhaltet einen Fischbestand von 50 Fischen pro m³. Durch den dichteren Bestand ist es notwendig täglich 30 % des Wassers mit Grundwasser auszutauschen. Bei intensiver Aquakultur werden 80 Fische pro m³ gehalten, was zu Wasserauffrischungen von 100 % bis zu 400 % pro Tag führt.

Abbildung 15 zeigt die Einteilung des Wasserfußabdrucks in grünen, blauen und grauen Anteilen für die einzelnen Haltungsformen der Aquakultur. Der blaue Wasserfußabdruck wird in erster Linie durch die Auffrischungen verursacht, der grüne entsteht durch die Futtermittelproduktion und der graue durch den Eintrag von Verschmutzungen in die jeweilige Kultur durch Futtermittel, Düngungsmittel und Hormonen. Der Wasserfußabdruck von Tilapia wird je nach Haltungsform mit einer Bandbreite von rund 1.300 L/kg bis 22.700 L/kg angegeben. Unter Einbezug der Konsumdaten aus Österreich ergibt das einen Pro-Kopf-Verbrauch von 24 bis 490 Litern pro Person und Tag. Hierbei wird jedoch nicht der Konsum anderer Fischarten mit anderer Herkunft als die Aquakultur mit einbezogen. Dadurch ist die Bandbreite nur als ein erster Anhaltspunkt zu sehen. Die Datengrundlage ist jedoch nicht ausreichend, um eine aussagekräftige Schätzung des Einflusses von Fischkonsum auf den Wasserfußabdruck machen zu können, weshalb diese Werte nicht in die Aktualisierung des österreichischen Wasserfußabdrucks mit eingeflossen sind.

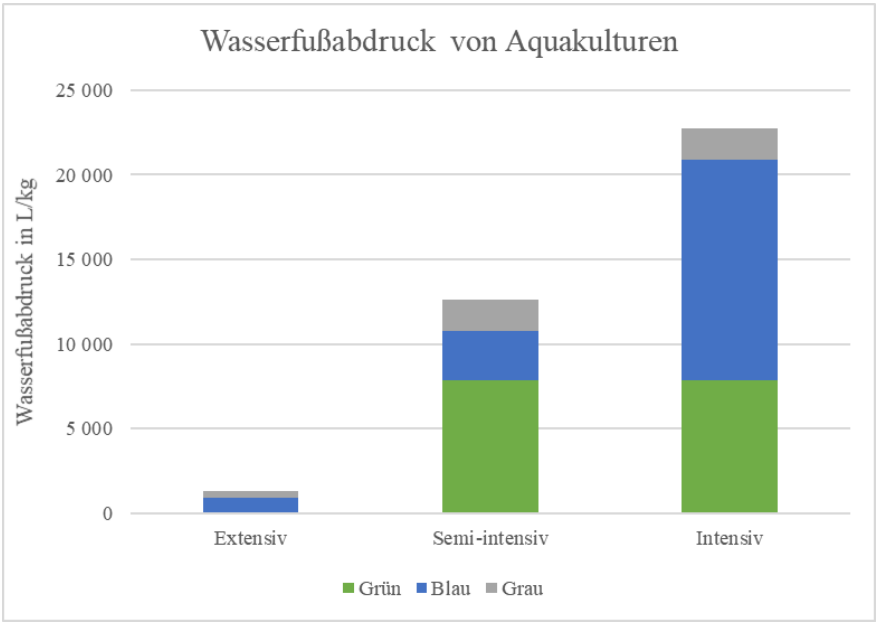

Abbildung 15: Wasserfußabdruck von Aquakulturen (Guzmán-Luna et al., 2021; eigene Abbildung)

Als weitere Produkte sind Biokraftstoffe zu nennen, da diese seit 2005 an Bedeutung gewonnen haben. Grund dafür ist eine EU-Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen im Verkehrssektor als Ersatz für fossile Brennstoffe (BMK, 2020). In der Richtlinie wurde als Ziel gesetzt, dass ein Anteil von 2 % aller Otto- und Dieselkraftstoffe mit Biokraftstoffen bis Ende 2005 abgedeckt wird. Der Bezugswert wurde bis Ende 2010 auf 5,75 % erhöht. Da die Datengrundlage von Vanham (2012a) und Mekonnen und Hoekstra (2010a) sich auf den Zeitraum 1996–2005 bezieht, ist davon auszugehen, dass Biokraftstoffe nicht im größeren Ausmaß mit einbezogen wurden. Eine Abschätzung des Einflusses von Biokraftstoffen auf den Wasserfußabdruck wird unter nachfolgenden Annahmen getroffen.

Zur Herstellung einer Tonne Bioethanol werden insgesamt rund 3,3 Tonnen Weizen benötigt, für Biodiesel sind es 2,5 Tonnen Rapssaat (FNR, 2021). Im Herstellungsprozess entstehen zudem Reststoffe, welche als Futtermittel verwendet werden. Hierbei besteht die Abgrenzungsproblematik, welches Produkt als Primär- und welches als Sekundärprodukt angesehen wird, da nur das Primärprodukt einen Wasserfußabdruck ausgewiesen bekommt. Der Wasserfußabdruck von Bioethanol aus Weizen besteht anteilig zu 84 % aus grünem und 16 % aus grauem Wasser, bei Biodiesel aus Raps ist es 92 % grünes und 8 % graues Wasser. Aus den Daten der Biokraftstoffberichte 2015-2019 (BMLFUW, 2015, 2016, 2017; BMNT, 2018, 2019; BMK, 2020) lassen sich die Mittelwerte der konsumverfügbaren Menge und der Produktion an Bioethanol und Biodiesel für die Jahre 2014–2018 in Österreich ermitteln. Die Produktion beträgt für diesen Zeitraum rund 184.000 t für Bioethanol bzw. 284.00 t für Biodiesel. Biodiesel und Bioethanol werden zusätzlich noch importiert. Teile vom Bioethanol werden wiederum exportiert, sodass als konsumverfügbare Menge 88.000 t verbleiben. Ob nun Bioethanol aus Österreich oder zuvor importierter Kraftstoff wieder exportiert wird, ist nicht bekannt. Für Biodiesel beträgt die konsumverfügbare Menge 515.000 t (BMLFUW, 2015, 2016, 2017; BMNT, 2018, 2019; BMK, 2020).

Für die Berechnung des Wasserfußabdrucks von Biokraftstoffen wird erneut auf die Datenbank von Mekonnen und Hoekstra (2010a) zurückgegriffen. Dort wird je nach Pflanzenart der virtuelle Wasserbedarf in m³ pro Gigajoule ausgedrückt. Auch in diesem Fall muss die Herkunft der Pflanzen für Biokraftstoffe berücksichtigt werden, da jedes Land einen anderen Wasserfußabdruck ausgewiesen bekommt. Des Weiteren wird der variierende Anteil an Altspeiseölen von 30-60 % des

eingesetzten Pflanzenöls berücksichtigt. Dieser wirkt sich positiv auf den Wasserfußabdruck der Biokraftstoffe aus, da Altspeiseöl ein Sekundärprodukt ist und somit keinen Wasserfußabdruck aufweist. Für die Biokraftstofferzeugung in Österreich ergibt sich somit unter genannten Annahmen im Mittel ein Wasserfußabdruck von rund 2.895 L pro kg reinem Biodiesel und 1.860 L pro kg reinem Bioethanol. Der Wasserfußabdruck von Benzin ist mit rund 2,4 Litern pro kg im Vergleich zu den Biokraftstoffen vernachlässigbar (Holmatov und Hoekstra, 2020).

Unter Einbezug der Importe ändert sich auch der Wasserfußabdruck der konsumverfügbaren Menge. Es wird bei den importieren Kraftstoffen ein wesentlich geringerer Anteil von Altspeiseölen eingesetzt (durchschnittlich rund 3 %), wodurch sich der Wasserfußabdruck deutlich erhöhen kann. Mit dem durchschnittlichen Import-Mix für Biodiesel in Österreich ergibt dies einen Wasserfußabdruck von rund 4.290 L pro kg Kraftstoff. Für Bioethanol wird weiterhin 1.860 L pro kg angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass die konsumverfügbare Menge über die Eigenproduktion abgedeckt wird.

Mit den vorherig genannten Daten ergibt sich für den Zeitraum 2014–2018 im Durchschnitt einen virtuellen Wasserbedarf von 2.209 Mio. m³ für Biodiesel, bzw. 164 Mio. m³ für Bioethanol. Umgerechnet als Pro-Kopf-Kennzahl sind dies rund 695 Liter pro Person und Tag für Biodiesel und 51 Liter pro Person und Tag Bioethanol. Damit würde die explizite Berücksichtigung des Biokraftstoffkonsums rund 750 Liter virtuelles Wasser pro Person und Tag betragen. Dieser Wert ist jedoch aufgrund der getroffenen Annahmen mit Unsicherheiten behaftet.

In der Produktion von Weizen und Raps ist keine signifikante Steigerung zwischen den Zeiträumen vor 2005 und danach erkennbar, wodurch vermutlich nur definitionsbedingt Futtermittel von Primär- zu Sekundärprodukten deklariert werden. Damit ist in der aktuellen Schätzung des Wasserfußabdrucks für Österreich mit hoher Wahrscheinlichkeit ein unbestimmter Anteil von Biokraftstoffen in der Kategorie pflanzliche Landwirtschaftsprodukte (z.B. über Weizen, Mais und Raps) und in der Kategorie tierische Landwirtschaftsprodukte (z.B. über die Futtermittel in der Tierproduktion) enthalten. Ein Teil des Wasserfußabdrucks für Biokraftstoffe müsste dennoch die Kategorie *nicht essbarer Landwirtschaftsprodukte* effektiv erhöhen. Aufgrund der zuvor genannten Definitionsproblematik zu Primär- und Sekundärprodukten lässt sich dies jedoch nicht quantifizieren.

In einer Publikation von Gerbens-Leenes und Hoekstra (2011) wird ein Wasserfußabdruck von rund 110 m³ pro Person und Jahr bzw. 301 Liter pro Person und Tag für Biokraftstoffkonsum ermittelt. Diese Daten beinhalten jedoch nur die Eigenproduktion von Biokraftstoffen. Es werden Importe nicht mit einbezogen, daher ist dieser Wert nur ansatzweise als Vergleichswert zu sehen. Unter Berücksichtigung des Import-Mix müsste der Literaturwert überschlägig rund 200 Liter pro Person und Tag höher sein. Dennoch ist der Literaturwert deutlich geringer als der ermittelte Wasserfußabdruck von 750 Litern pro Person und Tag aus den Daten der Biokraftstoffberichte. Die Differenz könnte durch die Abgrenzung von Primär- und Sekundärprodukt bedingt sein. Wenn Biokraftstoffe als Sekundärprodukt der Futtermittelproduktion entstehen, werden diesen keinen Wasserfußabdruck zugewiesen.

6.2.1.3 Widersprüche in den Datengrundlagen

Als weitere Unschärfe bei der Bestimmung des Wasserfußabdrucks sind Widersprüche in den Datengrundlagen zu nennen. Damit gemeint sind nicht nachvollziehbare Unterschiede der Ausweisung des Wasserfußabdrucks einer gleichen Produktfamilie. Als Beispiel wird im Folgenden die Diskrepanz des Wasserfußabdruck von Milch und von Käse gezeigt:

Die Datenbank von Mekonnen und Hoekstra (2010b) gibt als Wasserfußabdruck für Käse 2.300 Liter pro kg an. Für die Herstellung von einem Kilogramm Käse werden durchschnittlich etwa 10 Liter Milch benötigt (Molkerei Rücker, 2021). Diese hat wiederum 900 Liter pro kg als Wasserfußabdruck. Nach diesem Rückschluss müsste Käse also mindestens 9.000 Liter pro kg virtuelles Wasser benötigen. Möglicherweise beziehen sich die 2.300 Liter pro kg auf die Frischkäseproduktion und nicht auf Hartkäse. Dies ist jedoch nur als Vermutung anzusehen, da darauf nicht in der Datenbank eingegangen wird.

6.2.1.4 Import- und Exportströme

Zur genauen Bestimmung des Wasserfußabdruckes eines Landes ist die Herkunft der konsumierten Güter ausschlaggebend. Jedoch ist nicht klar nachvollziehbar, welche tatsächliche Herkunft einzelne Güter haben. Dies lässt sich am Beispiel Kaffee erklären:

Die Importmengen und die Importherkunft der FAO-Daten beziehen sich immer auf das Land, aus dem direkt importiert wird (United Nations, 1998). Wenn Österreich also aus Deutschland Kaffee importiert, ist nur Deutschland als Herkunftsland bekannt (First-Chain). Was nicht detailliert ersichtlich ist, sind die Herkunftsländer des Kaffees, den Deutschland importiert und in welcher Zusammensetzung dieser wieder exportiert wird. Es kann also nur abgeschätzt werden, aus welchen Ländern der Kaffee tatsächlich herkommt. Die mengenmäßige Zusammensetzung ist dementsprechend auch nicht bekannt und kann nur über den Importmix, welcher für Deutschland vorliegt, grob rückgeschlossen werden.

Analog gilt dies auch für die Exportmengen und deren Herkunft. Es ist dementsprechend auch nicht bekannt, in welchen Mengenanteilen die in Österreich produzierten Waren und die zusätzlich importierten Produkte exportiert werden. Die Unschärfen zum Wasserfußabdruck der konsumierten Produkte in Österreich nehmen also zu, je komplexer und globaler die Produktion der einzelnen Güter ausfällt.

6.2.1.5 Primär- und Sekundärprodukte

Eine grundsätzliche Überlegung zum Wasserfußabdruck ist die, dass jegliche Produkte, die aus dem gleichen Gut hergestellt werden, nur einen Wasserfußabdruck ausgewiesen bekommen. Explizit wird definiert, dass nur das Primärprodukt einen Wasserfußabdruck ausgewiesen bekommt. Bei der Herstellung von Biokraftstoffen wird somit der Wasserfußabdruck aller Pflanzen, die für die Energiegewinnung genutzt werden sollen, zu den Biokraftstoffen gerechnet. Das Sekundärprodukt, also die nicht benötigten Reste der Pflanzen, können als Futtermittel verwendet werden. Das bekommt wiederum keinen Wasserfußabdruck ausgewiesen, da sonst ein und dieselbe Pflanze das mehrfache an virtuellem Wasser benötigt als zuvor berechnet.

Mit dieser Überlegung kommt es somit auch zur Umverteilung innerhalb der Kategorien des Wasserfußabdrucks für Österreich. Abhängig vom Primärprodukt, in diesem Beispiel Biokraftstoffe, müsste der Wasserfußabdruck der Kategorie *nicht essbare landwirtschaftliche Produkte* steigen und in der Kategorie *essbare tierische landwirtschaftliche Produkte* sinken, da weniger Futtermittel als Primärprodukt explizit angebaut werden müssen. Die Überlegung der Primär- und Sekundärproduktion führt zu einer Abgrenzungsproblematik, da nicht bekannt ist, welche Funktion die landwirtschaftlichen Güter in erster Linie erfüllen sollen.

6.2.1.6 Unvollständige Erfassung vermeidbarer Lebensmittelabfälle

Wie schon in Kapitel 3.4 auf Seite 9 genannt, liegt ein großes Einsparungspotenzial von virtuellem Wasser bei der Vermeidung von Lebensmittelabfällen. Die Datengrundlage für Abfälle im Haushalt und im Handel sind durch Sortieranalysen in der Regel sehr gut. Jedoch sind bisher keine Studien für Österreich vorhanden, die die Menge an nicht geerntetem Obst oder Gemüse bestimmt. Durch maschinelle Sammlung wird ein Teil des Gemüses am Feld nicht geerntet und bleiben als genießbares Lebensmittel am Feld zurück. Eine Studie aus Großbritannien schätzt die Menge auf 30 % der Gesamternte. Da diese Daten allerdings nicht genau vorliegen, kann die Abschätzung der vermeidbaren Lebensmittelabfälle nicht vollständig sein. Wenn jedoch jegliches produzierte Obst oder Gemüse geerntet wird, senkt dies den Wasserfußabdruck, da ohne weitere Bewässerung der Ertrag pro Hektar effektiv steigt.

6.2.2 Gesamtheitliche Betrachtungen über den Wasserfußabdruck hinaus

6.2.2.1 Fußabdruckfamilie und Umweltindizes

Der Wasserfußabdruck ist nur ein Aspekt zur Bewertung der Umweltauswirkung eines Gutes und ist ein Teil der Fußabdruck-Familie (Vanham et al. 2019). Zur gesamtheitlichen Betrachtung der Auswirkungen eines Produktes auf die Umwelt ist es somit notwendig auch u.a. CO_2-Ausstoß, Flächenbedarf und weitere Einflüsse mit einzubeziehen. Von ihrer Betrachtung her sind die einzelnen Fußabdrücke zwar sehr unterschiedlich, dennoch sind sie alle miteinander verbunden und beeinflussen sich gegenseitig (Steen-Olsen et al., 2012).

Der ökologische Fußabdruck ist einer der bekanntesten Vertreter. Dieser wurde von Wackernagel und Rees (1994) zu Beginn der 1990er Jahre vorgestellt. Zur Berechnung des ökologischen Fußabdrucks wird die für einen Menschen durchschnittlich verfügbare Land- und Wasserfläche den Flächen gegenübergestellt, welche vom Menschen in Anspruch genommen werden. Dabei ist der Flächenbedarf gemeint, welcher zur Produktion der konsumierten Güter benötigt wird, sowie auch um den dabei erzeugten Abfall aufzunehmen, unabhängig davon, wo auf der Erde sich diese Flächen befinden (Wackernagel und Rees, 1996). Somit teilt sich der Fußabdruck in eine Bedarfs- und eine Versorgungsseite, erstere ausgedrückt als ökologischer Fußabdruck, letztere als Biokapazität. Der ökologische Fußabdruck misst so, wie schnell Ressourcen verbraucht und Abfälle erzeugt werden, im Verhältnis dazu, wie schnell die Natur diese Abfälle aufnehmen und neue Ressourcen erzeugen kann. Gemessen wird der ökologische Fußabdruck in globalem Hektar (gha), wobei ein globaler Hektar ein biologisch produktiver Hektar mit weltweiter durchschnittlicher biologischer Produktivität in einem bestimmten Jahr ist. Wenn der Bedarf höher als die Versorgungsseite ist, entsteht ein Defizit, was dazu führen kann, dass die Nachfrage der Bevölkerung nach natürlichen Ressourcen das Angebot übersteigt. Dies kann zu einer Erschöpfung und hohen Kohlendioxidemissionen in die Luft führen. Wenn die Biokapazität einer Bevölkerung ihren Bedarf übersteigt, verfügt sie über eine ökologische Reserve. Ein ökologischer Fußabdruck, der kleiner ist als die Biokapazität, ist eine notwendige Bedingung für eine nachhaltige Lebensweise. Im internationalen Mittel im Jahr 2017 beträgt der ökologische Fußabdruck pro Person 2,8 gha, die Biokapazität beträgt 1,6 gha. Somit besteht weltweit ein Defizit. Für Österreich sind es 6,0 gha für den ökologischen Fußabdruck und 2,7 gha für die Biokapazität. Das Defizit für Österreich sind somit -3,3 gha.

Ein weiterer Indikator für Umweltauswirkungen ist der CO_2-Fußabdruck. Dieser beschreibt die gesamten Treibhausgasemissionen in einer festgelegten Zeitspanne, welche durch eine Person, eine Organisation, eine Veranstaltung oder ein Produkt verursacht werden. Dies beinhaltet auch jegliche Konsumgüter sowie auch die Emissionen verursacht durch Heizen. Ausgedrückt werden

die Emissionen als CO_2-Äquivalente, wobei neben CO_2 auch Methan (CH_4), Lachgas (N_2O), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW; teilhalogeniert bzw. vollhalogeniert), Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF_6) einbezogen werden.

Der Landfußabdruck ist ein weiterer bekannter Faktor zur Bestimmung der Umweltauswirkungen. Dieser gibt an, welche Fläche zum Anbau von Lebensmitteln sowie für Materialien, Energie und Infrastruktur benötigt wird (Vanham et al, 2019). Im Bezug zum Wasserfußabdruck ist zu beachten, dass ein geringer Landfußabdruck nicht immer mit einem geringen Wasserfußabdruck einher geht.

Eine holistische Betrachtung ist die Ökobilanz. Diese ist ein Instrument zur systematischen Analyse und Bewertung der Umwelteinwirkungen von Produkten über deren gesamten Lebenszyklus und ist wissenschaftlich verankert in der EN ISO 14044. Hierbei können sowohl hergestellte Güter als auch Dienstleistungen hinsichtlich ihres Verbrauchs von Energie und Ressourcen analysiert werden (IFU, 2021). Wichtige Faktoren der Ökobilanz sind Wiederverwendbarkeit und Nutzungsdauer, was bedeutet, dass mögliche erhöhte Treibhausgasemissionen zur Herstellung eines Produktes in Kauf genommen werden, wenn das Produkt dafür eine längere Nutzungsdauer besitzt. Des Weiteren wird bei der Ökobilanz ein gesamtheitlicher Ansatz verfolgt, womit nicht nur ein Aspekt der Umweltauswirkung betrachtet wird, sondern eine Kombination aus Treibhausgas-Ausstoß, virtuellem Wasserbedarf, Landnutzung und weiteren Umweltauswirkungen. Am Beispiel des Transportes lässt sich der holistische Ansatz der Ökobilanz zeigen: durch den Import von Gütern mit geringem Wasserfußabdruck sinkt der virtuelle Wasserbedarf, jedoch steigt durch die höhere Distanz der CO_2-Fußabdruck. Somit muss abgewogen werden, welche Kombination der einzelnen Einflussfaktoren den geringsten negativen Gesamteinfluss auf die Umwelt hat.

Zudem gibt es den Environmental Performance Index (EPI), welcher die ökologische Leistungsbilanz von Staaten und Unternehmen darstellt. Entwickelt wurde dieser vom Yale-Zentrum für Umweltrecht und -politik (Wendling et al., 2020). Insgesamt werden 32 Indikatoren verwendet, darunter auch Luftqualität, Wasser, Biodiversität und Energie. Die Rangliste des EPI gibt Aufschluss darüber, welche Nationen am besten mit den jeweiligen vorhandenen ökologischen Herausforderungen umgehen. Österreich befindet sich derzeit auf Rang sechs (Wendling et al., 2020). Der EPI soll auch eine Möglichkeit bieten, Probleme aufzuzeigen, Ziele zu setzen und die bestmögliche Voraussetzung zur Umsetzung der Ziele zu schaffen.

6.2.2.2 Kritik am bilanzhaften Ansatz des Wasserfußabdrucks

Vor allem die Haltungs- und Produktionsformen in der Tier- und Milchproduktion haben einen großen Einfluss auf die Umwelt. Im Bezug zum Wasserfußabdruck lässt sich das verdeutlichen, indem Grünland- bzw. Freilandhaltung mit industrieller Tierhaltung verglichen wird: die Freilandhaltung hat in der Regel immer einen höheren Gesamt-Wasserfußabdruck als die industrielle Tierhaltung. Der größte Anteil davon ist jedoch grünes virtuelles Wasser. Bei der industriellen Tierhaltung wiederum werden effiziente Futtermittel eingesetzt, sodass die Aufzucht der Tiere in einer kürzeren Zeitspanne erfolgt (Mekonnen und Hoekstra, 2012). Dies führt zu einem geringeren gesamten Wasserfußabdruck. Für die Futtermittelherstellung wird jedoch zum Teil blaues Wasser benötigt (Mekonnen und Hoekstra, 2012), es wird somit zusätzlich bewässert, was bei einer Freilandhaltung vermieden werden kann. Der Konsum von grünem Wasser ist dem von blauem Wasser zu bevorzugen, da diese Ressource natürlich gegeben ist und nicht zusätzlich durch Grund- oder Oberflächenwasser gewonnen werden muss. Es ist außerdem anzumerken, dass der Konsum von regionalen Produkten meist auch zu einem geringeren Wasserfußabdruck beiträgt, da in der Regel der Wasserfußabdruck von in Österreich produzierten Gütern geringer ist als im

internationalen Vergleich. Zudem werden für den Futtermittelanbau zusätzliche Ackerflächen benötigt, die für die reine Weidehaltung nicht aufgebracht werden müssen.

Eine weitere wichtige Überlegung ist der räumliche Bezug des grünen, blauen und grauen Wasserfußabdrucks. Wenn in einem Anbaugebiet ausreichend Wasser vorhanden ist, ist auch ein höherer Wasserfußabdruck besser zu vertreten, als ein geringerer Wasserfußabdruck, welcher jedoch in Regionen anfällt, die eher wasserarm sind. Die Verfügbarkeit von Wasser in Österreich wurde in dem aktuellen Projekt *Wasserschatz Österreichs* (2021) aufgelöst auf die regional verfügbaren Grundwasserressourcen dargelegt. Somit kann der Wasserbedarf differenziert auf Grundwasserkörper-Ebene der verfügbaren Wasserressource gegenübergestellt werden. Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, übersteigt der jährliche Niederschlag bzw. die jährliche Grundwasserneubildung in Österreich den benötigten virtuellen Wasserbedarf. Würde also Österreich einen reinen internen Wasserfußabdruck aufweisen, wären die Ressourcen dafür ausreichend. Zu beachten ist bei dieser Darstellung, dass eine pauschale Betrachtung für ganz Österreich und nicht regionsspezifisch vorgenommen wird. Es können große regionale Unterschiede in der Ressourcenverteilung vorliegen.

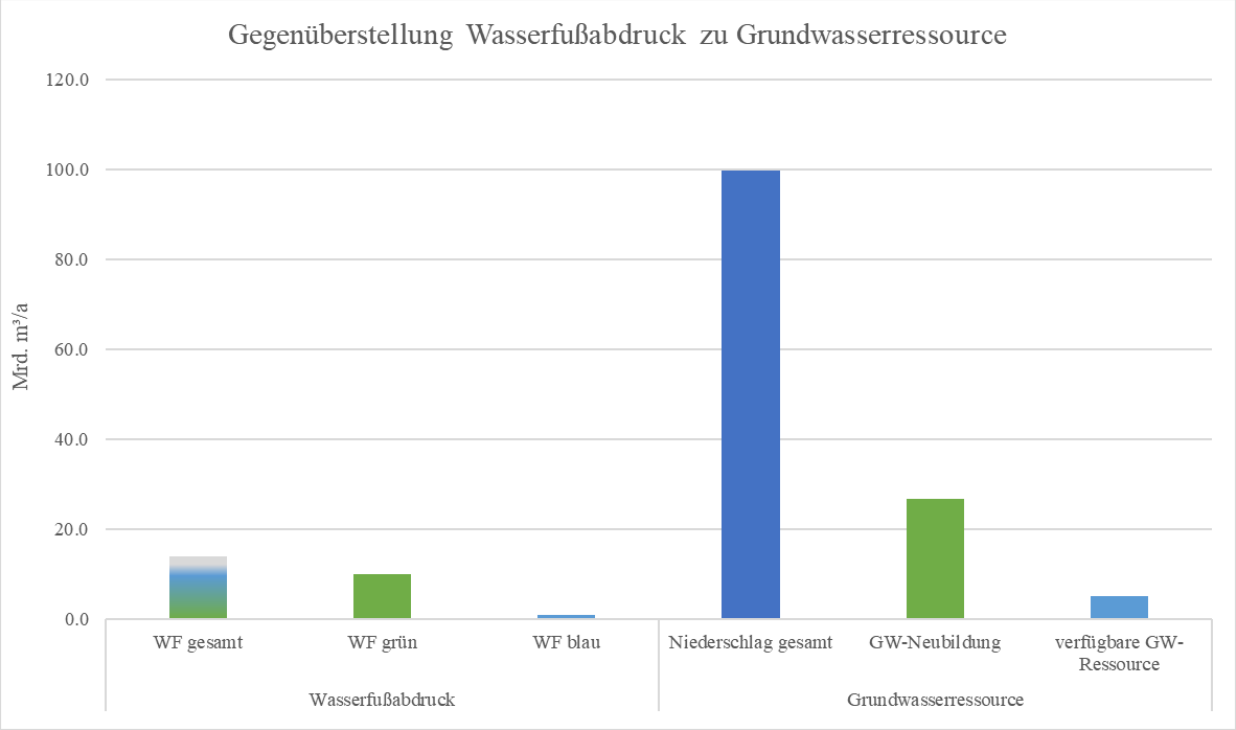

Abbildung 16: Gegenüberstellung Wasserfußabdruck zu Grundwasserressource im Zeitraum 1990–2018 (Mekonnen und Hoekstra, 2011; Wasserschatz Österreichs, 2021; eigene Abbildung)

Für den Zeitraum 2041-2050 sind für einige Regionen, je nach Klimaszenario, mögliche Zustände gegeben, in denen ein sehr hoher Ausnutzungsgrad wahrscheinlich ist. Einen solchen Vergleich lässt sich zurzeit nur mit den für Österreich bestimmten Daten durchführen, da keine ausreichende Datengrundlage für andere Länder, aus denen wasserintensive Produkte importiert werden, vorhanden ist.

Die Betrachtung der einzelnen Fußabdrücke, vor allem zum CO_2-Ausstoß und zum virtuellen Wasser, und der Ökobilanz zeigen, dass vor allem der Konsum regionaler Güter dabei helfen Umwelteinwirkungen möglichst gering zu halten bzw. möglichst nachhaltig zu handeln. Selbst beim Wasserfußabdruck ist positiv hervorzuheben, dass beim Konsum österreichischer Produkte der entstandene Wasserbedarf unter kontrollierbare Bedingungen gehalten wird, um so negative Einflüsse

zu minimieren. Mit dem Projekt *Wasserschatz Österreichs* (2021) wurde eine Datengrundlage geschaffen, um frühzeitig hohe Ausnutzungsgrade zu erkennen. Dieses Instrument ist sehr hilfreich für einen nachhaltigen Wasserfußabdruck der Produktion im Inland. Zeitgleich wird mit der Vermeidung von Importen auch der externe Wasserfußabdruck geringer, welcher unter Umständen einen erhöhten blauen Wasserfußabdruck aufweist. Das passiert, wenn aus Regionen importiert wird, in denen überwiegend bewässert wird. Dies sorgt fast immer auch zu einem höheren CO_2-Fußabdruck, bedingt durch die Pumpenergie der Bewässerungsanlagen und der Transporterfordernisse auf Grund von Import und Export (Steen-Olsen, et al., 2012).

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Neben der Aufbereitung und Datenzusammenstellung zum Thema *virtuelles Wasser/Wasserfußabdruck*, waren vor allem Einsparungspotenziale an virtuellem Wasser, Veränderungen des Wasserfußabdrucks durch ökonomische und klimatische Einflüsse, Unschärfen bei der Berechnung des Wasserfußabdrucks und die Relativierung der Betrachtung des bilanzhaften Ansatzes des Wasserfußabdrucks Themenschwerpunkte dieser Arbeit. Im Folgenden wird auf die einzelnen Ziele genauer eingegangen.

Aufzeigen und Vergleich möglicher Einsparungspotenziale an virtuellem Wasser:

Einsparungspotenziale von virtuellem Wasser für Privatpersonen liegen vor allem beim Konsum. Allein durch die Konsumsteigerung um +3 % bei pflanzlichen bzw. +8 % bei tierischen essbaren Landwirtschaftsprodukten steigert den Pro-Kopf-Wasserfußabdruck in Österreich um über 200 Liter pro Person und Tag inklusive der Konsumsteigerungen von Baumwollprodukten vom Zeitraum 1996–2005 zur aktuellen Schätzung in der Periode 2014–2018. Auch bei den industriellen Gütern, hier sind u.a. Smartphones zu nennen, kann mit einer längeren Nutzungsdauer virtuelles Wasser eingespart werden. Das größte Einsparungspotenzial beim Konsum liegt jedoch bei der Reduktion der vermeidbaren Lebensmittelabfälle. Hierbei können zwischen 73 und 290 Liter pro Person und Tag virtuelles Wasser eingespart werden. Die Reduktion der Lebensmittelverluste ist überwiegend auf Ebene der Haushalte anzusiedeln. Hierfür ist die Datengrundlage sehr umfangreich. Es fehlen jedoch für Österreich Studien zu vermeidbaren Lebensmittelverlusten in der Landwirtschaft. Da Obst und Gemüse, welches im Handel verkauft wird, gewissen Form- und Größenstandards gerecht werden muss (EU 1234/2007, 2007), wird vermutlich ein beachtlicher Teil an Obst bzw. Gemüse nicht geerntet. Dennoch sind diese für den Verzehr geeignet und wären somit auch als vermeidbare Lebensmittelverluste einzustufen. Das Einsparungspotenzial liegt hierbei nicht bei der Privatperson, sondern beim landwirtschaftlichen Sektor bzw. im Handel. Bei der Landwirtschaft wird für Großbritannien geschätzt, dass rund 30 % der gesamt verfügbaren Erntemenge am Feld zurückgelassen werden (Noleppa und Cartsburg, 2015).

Weitere Einsparungspotenziale liegen bei den Ernährungsgewohnheiten. Der derzeitige Lebensmittelkonsum in Österreich benötigt rund 900 Liter pro Person und Tag mehr virtuelles Wasser im Vergleich zur Ernährungsempfehlung der DGE. Dies ist bedingt durch einen im Mittel sehr hohen Konsum an Fleisch und weiteren tierischen Produkten, welche fast durchgängig einen höheren Wasserfußabdruck haben als pflanzliche Produkte. Aus der Publikation von Vanham (2013) geht auch hervor, dass rund 30 kg pro Person und Jahr mehr Lebensmittel konsumiert werden als von der DGE empfohlen, vor allem bei Fleisch und alkoholischen Getränken. Wird anstatt einer omnivoren Diät eine vegane verfolgt, sinkt der tägliche Bedarf pro Person an virtuellem Wasser um weitere 850 Liter. Damit könnten insgesamt 1.750 Liter pro Person und Tag eingespart werden, wenn durchweg die bisherigen Ernährungsgewohnheiten mit einer veganen Diät ersetzt wird. Das sind rund 37 % des gesamten Wasserfußabdrucks in Österreich.

Entwicklung von möglichen Szenarien der Veränderung des Wasserfußabdrucks durch ökonomische Rahmenbedingungen und Klimawandel:

Die Entwicklung des Wasserfußabdrucks im Zeitraum 2041–2070 bedingt durch Konsumänderungen wurde mittels linearer Extrapolation der essbaren Landwirtschaftsprodukte unter Berücksichtigung des 1. Gossenschen Gesetzes untersucht. Die Steigerung der konsumverfügbaren Menge steigt um +2 % bei den pflanzlichen essbaren Landwirtschaftsprodukten und um +7 % bei den tierischen essbaren Produkten im Vergleich zum Zeitraum 2014–2018. Diese Steigerung der

konsumverfügbaren Menge bedeutet wahrscheinlich keinen tatsächlichen Konsumanstieg, sondern das vermehrte Aufkommen von vermeidbaren Lebensmittelabfällen, was implizit auch zu vermehrten verschwendeten virtuellen Wasser führt. Der Weizenkonsum sticht dabei mit einer Steigerung von 231 % von der Periode 1996–2005 zu 2014–2018 deutlich hervor. Diese kann durch vermehrten Weizenanbau zur Bioethanol-Herstellung entstanden sein. Möglich ist auch, dass eine unterschiedliche Methodik zur Bestimmung der konsumverfügbaren Menge von Weizen bei Vanham (2012a) im Vergleich zu dieser Arbeit angewandt wurde. Des Weiteren wird immer mehr importiert, daher ist nicht ersichtlich, aus welchen Regionen das eigentliche Ursprungsprodukt kommt. Dies wurde am Beispiel der Baumwolle in Kapitel 4.5.2 genauer erläutert. Es ist somit auch möglich, dass in Österreich größere Mengen von virtuellem Wasser aus wasserarmen Regionen konsumiert wird. Die Annahme von 25 % reduziertem Fleischkonsum vermindert den Anstieg des Konsums tierischer essbarer Landwirtschaftsprodukte lediglich um 1 %, somit ist nicht nur ein reduzierter Fleischkonsum, sondern insgesamt eine Reduktion der tierischen essbaren Produkte notwendig, um den Pro-Kopf-Verbrauch von virtuellem Wasser in Österreich zu senken. Die zukünftigen Änderungen von nicht essbaren Landwirtschaftsprodukten, explizit das Beispiel Baumwolle, ist nicht abschätzbar. Durch die vermehrte Verwendung alternativer Textilfasern wie Polyester, Viskose oder Modal ist es möglich, dass insgesamt der Anteil der Baumwolle in Textilien sinkt. Jedoch ist keine aussagekräftige Schätzung möglich, inwieweit sich alternative Textilfasern im Zeitraum 2041–2070 durchsetzen werden.

Die Änderungen des Wasserfußabdrucks bedingt durch den Klimawandel wurde in zwei Szenarien – RCP4.5 mittel und RCP8.5 trocken – betrachtet. Die Steigerung des Wasserfußabdrucks im RCP4.5-Szenario beträgt +4,9 % bei pflanzlichen bzw. +3,0 % bei tierischen essbaren Produkten im Vergleich zu 2014–2018. Beim RCP8.5-Szenario sind es +5,9 % bei pflanzlichen und +11,4 % bei tierischen essbaren Produkten. Der klimatisch bedingte Anstieg des Wasserfußabdrucks könnte zu großen Teilen durch Einsparungen beim Konsum kompensiert werden. Wenn die Ertragserhöhungen mit einbezogen werden, führt dies zu einem verzerrten Bild der Wassereinsparungen. Unter Einbezug der Ertragsänderungen würde somit der Wasserfußabdruck Österreich wieder auf den Status Quo sinken, was allerdings nicht möglich ist, da mehr Pflanzen je Hektar auch mehr Wasser zum Wachstum benötigen.

Die Änderungen der klimatischen Bedingungen führen jedoch nicht nur zu einer Steigerung des Bedarfs an virtuellem Wasser, sondern werden auch die Vegetationsperioden länger. Die Studie *Wasserschatz Österreichs* (2021) prognostiziert für den Zeitraum 2041–2070 eine mögliche Verdoppelung der Bewässerung bei der Landwirtschaft, wodurch sich die Anteile von grünem und blauem Wasser verschieben würden. Des Weiteren wird für die Tierzucht eine Zunahme des Wasserbedarfs prognostiziert, obwohl die Viehzahlen sinken. Dies ist u.a. bedingt durch die Zunahme an Hitzetagen, welche sich auch bei der Produktion von pflanzlichen Gütern bemerkbar machen werden. Trotz Rückgang der landwirtschaftlichen Flächen wird mit gleichbleibenden Erträgen um das Jahr 2050 gerechnet (Sinabell et al, 2018), weshalb von ertragssteigernden Maßnahmen, worunter auch Bewässerungen zählen, gerechnet wird. Unter der Annahme, dass Niederschlagsmengen geringer werden und sich Trockenperioden häufen werden, wird dies dazu führen, dass bisher bewässerte landwirtschaftliche Güter zur Ertragssicherung im größeren Umfang bewässert werden. Änderungen der klimatischen Bedingungen können aufgrund der vorhandenen Daten nur für Österreich abgeschätzt werden. Global gesehen kann keine Aussage getroffen werden, jedoch ist damit zu rechnen, dass sich in Regionen, in denen jetzt schon teilweise Wasserknappheit herrscht, diese Lage verschlechtern wird.

Darstellung von Unschärfen bei der Berechnung des Wasserfußabdrucks:

Bei der Berechnung des Wasserfußabdrucks sind einige Unschärfen aufgefallen. Ein wichtiger Fall sind hierbei die nicht berücksichtigten Produkte, darunter auch die Biokraftstoffe. Biokraftstoffe haben erst mit der EU-Biokraftstoffrichtlinie (EU RL 2003/30/EG, 2003) seit 2005 an Bedeutung gewonnen und sind aufgrund der früheren Datengrundlage vermutlich nur in geringen Anteilen vorhanden. Dennoch haben Biokraftstoffe einen sehr beachtlichen Wasserfußabdruck. Mit den Konsummengen aus den Jahren 2015-2019 (Biokraftstoffbericht 2015-2020) und den ausgewiesenen Fußabdruck aus der Datenbank von Mekonnen und Hoekstra (2010a) von 2.895 L virtuelles Wasser pro kg reinem Biodiesel und 1.860 L virtuelles Wasser pro reinem Bioethanol beträgt der Wasserfußabdruck für Biokraftstoffe in Österreich rund 750 Liter pro Person und Tag. Da jedoch kein deutlicher Anstieg der Produktion und bei Importen von Energiepflanzen in Österreich erkennbar ist, sind die Mengen des virtuellen Wassers bedingt durch Biokraftstoffe zumindest zum Teil in den Kategorien *tierische essbare Landwirtschaftsprodukte* und *pflanzliche essbare Landwirtschaftsprodukte* in Form von beispielsweise Futtermitteln enthalten. Die Ausweisung der Primärnutzung der Energiepflanze wäre dennoch wichtig, da der Wasserfußabdruck von Biokraftstoffen sich von denen der Pflanzen unterscheiden. Dies ist eine weitere Unschärfe bei der Berechnungsmethode. Da aus den groß angelegten Datenbanken, wie die der FAO (2021), nicht ersichtlich ist, welchen Nutzen die jeweils erzeugten landwirtschaftlichen Produkte erfüllen sollen, ist auch nicht bekannt, wo bzw. in welcher Kategorie der virtuelle Wasserbedarf anfällt. Ähnlich ist dies auch mit den Import- und Exportströmen: die Importherkunft bezieht sich immer auf das Land, aus dem direkt importiert wird, wodurch nicht nachvollziehbar ist, aus welchen Regionen Österreich tatsächlich virtuelles Wasser importiert. Um die Unsicherheit zu umgehen, können in Österreich hergestellte Produkte konsumiert werden. Weiters sind auch Widersprüche in den Datenbanken aufgefallen (vgl. Kapitel 6.2.1.3). Die Nachvollziehbarkeit der Berechnung von verarbeiteten Produkten wie Jogurt, Käse oder auch Brot ist nicht gegeben, wodurch auch eine Neuberechnung mit geänderten Klimadaten nicht möglich ist.

Des Weiteren wurde der Wasserfußabdruck von Fisch in bisherigen Berechnungen nicht mit einbezogen, da keine Daten dafür verfügbar waren. Mit der Publikation von Guzmán-Luna et al. (2021) und den Konsumdaten der Statistik Austria (2021a) ist zumindest eine Abschätzung des Wasserfußabdrucks von Fisch in Österreich möglich. Dieser beträgt je nach Haltungsform 24-490 Liter pro Person und Tag. Unter der Annahme, dass in den bisher publizierten Daten zum Baumwollkonsum die Altkleider nicht berücksichtigt werden, steigert sich durch Einbezug dieser der Wasserfußabdruck Österreichs um weitere 73 Liter pro Person und Tag.

Wenn Biokraftstoffe mit rund 500 Litern pro Person und Tag, Fischkonsum mit rund 250 Litern pro Person und Tag und Altkleider mit rund 70 Litern pro Person und Tag zur Bestimmung des Wasserfußabdrucks berücksichtigt werden, steigert sich der aktuelle Wert auf 5.589 Litern pro Person und Tag. Das ist die gleiche Größenordnung wie der Wasserfußabdruck im Maximal-Szenario im Zeitraum 2041–2070.

Relativierung der Betrachtung des bilanzhaften Ansatzes des Wasserfußabdrucks:

Neben Wasserfußabdruck und virtuellem Wasserbedarf sind auch weitere Umweltfaktoren, wie beispielsweise Treibhausgasemissionen, von großer Bedeutung. Um also Umweltauswirkungen eines Produktes, einer Dienstleistung oder des eigenen Lebensstils quantifizieren zu können, ist ein gesamtheitlicher Ansatz notwendig. Dieser wird in der Ökobilanz verfolgt, wo auch Wasser-, Abfall- und Energiestatistiken enthalten sind. Der Environmental Perfomance Index verfolgt auch einen gesamtheitlichen Ansatz, jedoch steht hier in Kritik, dass überwiegend reiche Staaten besonders gut beim Umweltschutz abschneiden. Nationen mit geringen finanziellen Mitteln stehen nur

geringe Investitionskapazitäten für Infrastruktur, einschließlich Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, zur Verfügung. Der EPI berücksichtigt jedoch nicht das virtuelle Wasser, welches importiert wird, sondern nur den direkten Wasserverbrauch. In jedem Falle sind die lokalen Gegebenheiten von großer Bedeutung, da in wasserreichen Ländern ein erhöhter Nutzen eigener Wasserressourcen besser zu verkraften ist als in wasserarmen Regionen. In diesem Sinne müsste der Import von virtuellem Wasser vor allem in diesen wasserarmen Ländern stattfinden, der Export dementsprechend aus wasserreichen Regionen stammen, um so global gesehen ein Gleichgewicht zu generieren.

Im Allgemeinen wurde schon sehr viel zum Thema *Wasserfußabdruck/virtuelles Wasser* veröffentlicht, jedoch basieren die Publikationen meist auf den berechneten Kennzahlen von Mekonnen und Hoekstra (2012a, 2010b, 2011). Die vorliegende Arbeit liefert einen Ansatz der Veränderungen des Wasserfußabdrucks in Österreich unter Einbezug des Klimawandels. In zukünftigen Arbeiten ist es sinnvoll, den Wasserfußabdruck weiterer Produkte zu aktualisieren und auch die Differenzierung von Primär- und Sekundärprodukten vorzunehmen, um so die Aufteilung der landwirtschaftlichen Kategorien genauer aufzeigen zu können. Dadurch werden Einsparungspotenziale je Kategorie einfacher nachvollziehbar und der Handlungsbedarf kann leichter aufgezeigt werden. Der hohe Einfluss der Biokraftstoffe auf den Wasserfußabdruck in der Kategorie nicht essbarer Landwirtschaftsprodukte könnte so auch besser dargestellt werden.

8. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Aufbereitung des Themas *virtuelles Wasser/Wasserfußabdruck*, sowie die Analyse der möglichen Veränderungen von den bisher publizierten Werten mit Datenzeitraum 1996–2005 zur aktuellen Periode 2014–2018. Genauer genommen sollen aktuelle klimatische Bedingungen, Import- und Exportströme sowie auch die aktuellen konsumverfügbaren Mengen in Österreich berücksichtigt werden. Des Weiteren wird eine Zukunftsabschätzung im Zeitraum 2041–2070 getroffen, wobei für die Klimadaten zwei Szenarien gewählt werden und die konsumverfügbaren Mengen extrapoliert werden. Als weitere wichtige Ziele dieser Arbeit sind sowohl die Ausarbeitung der methodischen Unschärfen bei der Quantifizierung des Wasserbedarfs in Form des Wasserfußabdrucks als auch die Betrachtung eines gesamtheitlichen Ansatzes unterschiedlicher Quantifizierungsmöglichkeiten von Umweltauswirkungen und deren Zusammenspiel untereinander zu nennen.

Aufbereitung und Datenzusammenstellung zum Thema ‚virtuelles Wasser/Wasserfußabdruck' mit direktem Bezug zu Österreich:

Virtuelles Wasser beschreibt den Bedarf an Frischwasser, welcher für die Herstellung eines Produktes über den gesamten Herstellungszyklus benötigt wird und wird meist auch als Wasserfußabdruck bezeichnet. Dies beinhaltet sowohl das Wasser, welches für den Gesamtzeitraum des Pflanzenwachstums verwendet wird, sowie auch jegliches Wasser für die Rohstoffgewinnung und Weiterverarbeitung, bis ein Produkt letztendlich konsumverfügbar ist. Unterteilt wird der Wasserfußabdruck in grünes, blaues und graues Wasser. Der grüne Wasserfußabdruck beschreibt die Menge an Regenwasser, welche für Pflanzen über die gesamte Wachstumsdauer verfügbar ist. Der blaue Wasserfußabdruck ist Oberflächen- und Grundwasser, welches zur Pflanzenbewässerung, Rohstoffgewinnung oder in der Produktion verwendet wird. Der graue Wasserfußabdruck bezieht sich auf die Verschmutzung und ist definiert als die Menge an Wasser, die benötigt wird, um die Schadstoffmenge so weit zu verdünnen, dass bestehende Wasserqualitätsstandards eingehalten werden. Bei der Tierproduktion wird neben der Futtermittelproduktion auch virtuelles Wasser für Trinkwasserzwecke und zur Reinigung benötigt, wobei die Futtermittel 98 % des gesamten tierischen Wasserfußabdrucks ausmachen. Bei der Bestimmung des Wasserfußabdrucks von Futtermitteln wird berücksichtigt, ob Futtermittel als Nebenprodukt gewonnen werden oder ob sie das Hauptprodukt darstellen. Als Nebenprodukt wird der Wasserfußabdruck mit Null angenommen.

Es wird somit beim Konsum eines Produktes auch immer virtuelles Wasser konsumiert, welches oft als indirekter Wasserverbrauch bezeichnet wird. Je nach Herkunft wird dieser in einen internen (bei Eigenproduktion) bzw. externen (bei Importen) Wasserfußabdruck unterteilt. Die Summe des virtuellen Wassers aller an einem Tag konsumierten Produkte in Österreich wird typischerweise als Pro-Kopf-Kennzahl angegeben und in fünf Kategorien klassifiziert:

- Pflanzliche Landwirtschaftsprodukte – essbar
- Tierische Landwirtschaftsprodukte – essbar
- Landwirtschaftliche Produkte – nicht essbar
- Industriegüter
- Direkter Wasserverbrauch

Die Berechnung des Wasserfußabdrucks einer Pflanze erfolgt in 10-Tages-Schritten über die gesamte Wachstumsdauer. Benötigt werden hierfür Klimadaten sowie Boden- und Pflanzenparameter. Im Allgemeinen wird die Summe der täglichen Verdunstung durch die Pflanzen über die gesamte Vegetationsperiode berechnet. Dabei wird zunächst die Grasreferenzverdunstung nach Penman-Monteith mithilfe der Klimadaten bestimmt und anschließend je nach Pflanzenart mit dem Pflanzenkoeffizienten multipliziert. Jener Anteil der Pflanzenverdunstung, der durch den Niederschlag abgedeckt wird, wird grünes Wasser genannt. Jegliche weitere benötigte Bewässerung stellt das blaue Wasser dar.

Entwicklung von möglichen Szenarien der Veränderung des Wasserfußabdrucks durch ökonomische Rahmenbedingungen und Klimawandel:

Unter Berücksichtigung der geänderten Eingangsdaten verändert sich auch der Wasserfußabdruck Österreichs, ausgedrückt als Pro-Kopf-Verbrauch in Liter pro Person und Tag. Mit Ausnahme des Ertrags führen jegliche Änderungen im Konsum oder klimatisch bedingt zu einer Steigerung des Wasserfußabdrucks. Dabei wirkt sich der Konsum am stärksten auf den Wasserfußabdruck aus. Insgesamt steigert sich der Wasserfußabdruck vom Zeitraum 1996–2005 zur Teilperiode 2014–2018 um rund 360 Liter pro Person und Tag. Für die Zukunftsszenarien um das Jahr 2050 werden zwei Klimaszenarien – RCP4.5 mittel und RCP8.5 trocken – betrachtet. Die Klimaänderungen führen zu einem Anstieg des Wasserfußabdrucks um 3,0-11,4 % im Vergleich zum Zeitraum 2014–2018. Insgesamt acht Szenarien werden je nach Einbezug der Ertragsänderungen und der Fleischkonsumminderungen betrachtet, wobei ein Minimal- und ein Maximalszenario ausgearbeitet wird.

Darstellung von Unschärfen bei der Berechnung des Wasserfußabdrucks:

Es ist festzuhalten, dass die Berechnungen des Wasserfußabdrucks gewisse methodische Unschärfen innehalten. Zu denen zählt die Signifikanz der Flächenerträge. Durch Effizienzsteigerungen in der Landwirtschaft können aktuell höhere Erträge als im Zeitraum 1996–2005 erzielt werden. Dies führt methodisch zu einer Reduktion des Wasserfußabdrucks, wobei ein vermehrter Pflanzenwachstum je Hektar im Allgemeinen auch zu einem leicht erhöhten Pflanzenwasserbedarf je Hektar führt. Daher werden Ertragssteigerungen in Abbildung 17 weder bei der aktuellen Schätzung noch bei den Zukunftsszenarien berücksichtigt. Zudem werden in der Bestimmung der Pro-Kopf-Kennzahl Produkte nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt. Hierunter fallen beispielsweise der Fischkonsum oder auch die Biokraftstoffe. Letztere haben erst durch eine EU-Richtlinie aus dem Jahr 2003 an Bedeutung gewonnen. Zudem sind Widersprüche in den Datengrundlagen auffällig, vor allem bei den tierischen Produkten. Während in der Datenbank von Mekonnen und Hoekstra (2010b) ein Wasserfußabdruck von 2.300 Litern pro kg für Käse und 900 Liter pro kg für Milch ausgewiesen wird, bedarf die Käseproduktion jedoch rund 10 Liter Milch für ein kg Käse. Damit würde auf einen Wasserfußabdruck von 9.000 Liter pro kg Käse rückgeschlossen werden. Eine weitere Unschärfe stellen die Import- und Exportströme dar, da mit den vorhandenen Daten nicht nachvollziehbar ist, ob importierte Güter bereits vom Exportland importiert worden sind.

Abbildung 17 zeigt, wie sich der Wasserfußabdruck von den bisher veröffentlichten Daten zur aktuellen Schätzung ändert und gibt auch das Minimal- und Maximalszenario für die Periode 2041–2070 an. Des Weiteren wird die Abschätzung der Änderung des aktuellen Wasserfußabdrucks unter Einbezug der methodischen Unschärfen dargestellt, welche eine Zunahme von rund 800 Litern pro Person und Tag ausmachen. Im Minimalszenario für den Zeitraum 2041–2070, unter den Annahmen, dass der Fleischkonsum um 25 % reduziert wird und die klimatischen

Bedingungen sich als RCP4.5 mittel entwickeln, steigt der Wasserfußabdruck um rund 150 Liter pro Person und Tag. Im Maximalszenario wird ein Konsumanstieg bei Fleisch und klimatisch das RCP8.5 trocken angenommen. Somit steigt der Wasserfußabdruck um rund 500 Liter pro Person und Tag im Vergleich zur Teilperiode 2014–2018. Die methodischen Unschärfen werden in den Zukunftsszenarien nicht mit einbezogen.

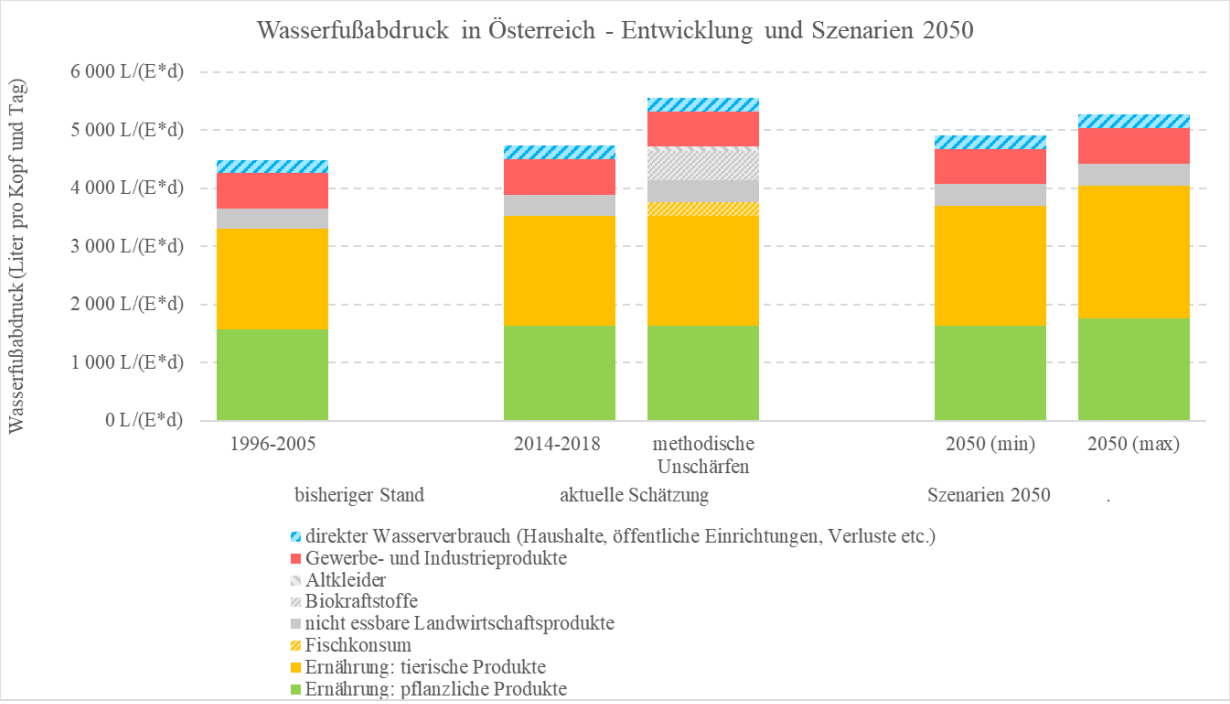

Abbildung 17: Entwicklung des Wasserfußabdrucks in Österreich (Liter pro Person und Tag) - aktuelle Schätzung und Szenarien 2050 (FAO, 2021; Vanham, 2013; Mekonnen und Hoekstra, 2010a, 2010b; Chimani et al., 2016; Neunteufel et al., 2021)

Aufzeigen und Vergleich möglicher Einsparungspotenziale an virtuellem Wasser:

Zu den häuslichen Abfällen liegen ausreichend Daten vor, jedoch fehlt vor allem in der Landwirtschaft die Erfassung der vermeidbaren Lebensmittelabfälle. In Großbritannien werden diese auf 30 % der Gesamternte geschätzt. Somit besteht hier ein großes Einsparungspotenzial an virtuellem Wasser. Weitere Einsparungspotenziale liegen im Konsumverhalten und bei Ernährungsänderungen. Der vermehrte Konsum im Zeitraum 2014–2018 im Vergleich zu 1996–2005 der sechs im Detail betrachteten Güter führt zu einer Steigerung des Wasserfußabdrucks um rund 200 Liter pro Person und Tag. Werden alle konsumierten Produkte mit einbezogen, ist der Mehrkonsum vermutlich noch höher, jedoch aufgrund der vorhandenen Daten nicht abschätzbar. Ernährungsänderungen können mithilfe der DGE aufgezeigt werden. Allein eine Veränderung zur empfohlenen Ernährung führt zu einer Reduktion des Wasserfußabdrucks in Österreich von 900 Liter pro Person und Tag.

Relativierung der Betrachtung des bilanzhaften Ansatzes des Wasserfußabdrucks:

Der Wasserfußabdruck ist nur ein Ansatz zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen u.a. von Produkten. Zur gesamtheitlichen Betrachtung sollten weitere Methoden verfolgt werden. Dazu zählt auch der ökologische Fußabdruck. Dieser stellt gegenüber, welche Land- und Wasserflächen durchschnittlich für einen Menschen verfügbar sind und welche vom Menschen in Anspruch genommen werden. Der Landfußabdruck wiederum gibt an, welche Fläche zum Anbau von

Lebensmitteln sowie für Materialien, Energie und Infrastruktur benötigt wird. Holistische Betrachtungen sind die Ökobilanz und der Environmental Performance Index. Die Ökobilanz ist ein Instrument zur systematischen Analyse und Bewertung der Umwelteinwirkungen von Produkten über deren gesamten Lebenszyklus und ist wissenschaftlich verankert in der EN ISO 14044. Der Environmental Performance Index ist eine quantitative Darstellung der ökologischen Leistungsbilanz von Staaten und Unternehmen und umfasst rund 30 Indikatoren, darunter Luftqualität, Wasser und Energie.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Wasserfußabdruck sich auf die Wassernutzung und Wasserverschmutzung konzentriert. Daher sollte dieser von anderen Indikatoren ergänzt werden, wenn eine Gesamtbetrachtung der Umweltauswirkungen relevant ist. Wenn jedoch Wasser im Fokus steht, ist der Wasserfußabdruck – trotz vorherig genannten Unschärfen – ein gutes Instrument um die Auswirkungen von Produkten, Waren oder Dienstleistungen auf die Ressource Wasser abzuschätzen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wasserfußabdruck in Österreich – bisher publizierter Stand 9
Abbildung 2: Virtuelle Wassergehalte verschiedener Produkte 19
Abbildung 3: Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Klimaeinwirkungen 29
Abbildung 4: Lebensmittelkonsum und Lebensmittelverluste in Österreich 30
Abbildung 5: Anteil unvermeidbare Lebensmittelverluste 31
Abbildung 6: Anteil vermeidbare Lebensmittelverluste 32
Abbildung 7: Zusammensetzung vermeidbarer Lebensmittelabfälle nach Produktgruppen 32
Abbildung 8: Entwicklung des Wasserfußabdrucks durch Klima- und Ertragsänderungen für Weizen ... 34
Abbildung 9: Entwicklung des Wasserfußabdrucks durch Klima- und Ertragsänderungen für Mais 35
Abbildung 10: Wasserfußabdruck aktuelle Schätzung 37
Abbildung 11: Wasserfußabdruck 2050 in Österreich – Szenario 1 41
Abbildung 12: Wasserfußabdruck 2050 in Österreich – Szenario 8 41
Abbildung 13: Lebensmittelkonsum und -verluste 43
Abbildung 14: Wasserfußabdruck unterschiedlicher Ernährungsformen 44
Abbildung 15: Wasserfußabdruck von Aquakulturen 46
Abbildung 16: Gegenüberstellung Wasserfußabdruck / Grundwasserressource im Zeitraum 1990–2018 51
Abbildung 17: Wasserfußabdruck in Österreich (L pro Person und Tag): aktuell / Szenarien 2050 59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Produktion, Importe und Exporte für die Zeiträume 1996–2005 und 2014–2018 23
Tabelle 2: Produktion, Importe und Exporte 1996–2005 bzw. 2014–2018, Änderungen in % 24
Tabelle 3: Wasserfußabdruck in L/kg, Berücksichtigung der Importe bzw. bei reiner Eigenproduktion .. 24
Tabelle 4: Konsumverfügbare Mengen in t/a in den Zeiträumen 1996–2005 und 2014–2018 25
Tabelle 5: Wasserfußabdruck ausgewählter Produkte (L/(E*d)) 1996–2005, 2014–2018 27
Tabelle 6: Änderungen des Wasserfußabdrucks durch Klimaeinwirkungen 27
Tabelle 7: Konsumverfügbare Mengen in kg/(E*a) 30
Tabelle 8: Ertragsänderungen und Änderungen des Wasserfußabdrucks: Berücksichtigung des Ertrages 33
Tabelle 9: Änderungen des Wasserfußabdrucks bedingt durch unterschiedliche Einflussfaktoren 36
Tabelle 10: Zusammenstellung der Zukunftsszenarien 39
Tabelle 11: Wasserfußabdruck der Zukunftsszenarien in L/(E*d) 40

Literaturverzeichnis

ALLEN, J. (1998): Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. Groundwater, 36: 545-546.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. (1998): Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56:

BERGER, M., WARSEN, J., KRINKE, S., BACH, V., FINKBEINER, M. (2012): Water footprint of European cars: potential impacts of water consumption along automobile life cycles. Environmental science & technology, 46(7), 4091-4099.

BFW - BUNDESFORSCHUNGSZENTRUM FÜR WALD (2021): Digitale Bodenkarte Österreichs. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 06 2021 von https://bodenkarte.at

BMK (2020): Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2020. Herausgeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie , Radetzkystraße 2, 1030 Wien. Wien 2020.

BMLFUW (2015), Hrsg.: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2015. Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien. Wien 2015.

BMLFUW (2016), Hrsg.: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2016. Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien. Wien 2016.

BMLFUW (2017), Hrsg.: Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2017. Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien. Wien 2017.

BMNT (2018): Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2018. Herausgeber: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien. Wien 2018.

BMNT (2019): Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2019. Herausgeber: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien. Wien 2019.

CHAPAGAIN, A. K., HOEKSTRA, A. Y., SAVENIJE, H. H., GAUTAM, R. (2006): The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecological economics, 60(1), 186-203.

CHIMANI, B., HEINRICH, G., HOFSTÄTTER, M., KERSCHBAUMER, M., KIENBERGER, S., LEUPRECHT, A., LEXER, A., PEßENTEINER, S., POETSCH, M.S., SALZMANN, M., SPIEKERMANN, R., SWITANEK, M., TRUHETZ, H. (2016): ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse. Projektendbericht, Wien.

DEUTSCHE WELLE (2021): Neue Landwirtschaft: Hat die Zukunft in den Niederlanden schon begonnen? Abgerufen 06.06.2021 von: https://www.dw.com/de/neue-landwirtschaft-hat-die-zukunft-in-den-niederlanden-schon-begonnen/a-47109553

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. (1979): Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No.33. Rome, 1979.

DRÄGER DE TERAN, T., SUCKOW, T. (2021): Klimaschutz, landwirtschaftliche Fläche und natürliche Lebensräume. WWF Deutschland, Berlin 2021.

ERCIN, A. E., HOEKSTRA, A. Y. (2013): Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. Environment International, 64, 71-82.

EU (EG) 178/2002 (2002): Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002R0178&from=EN

EU 2003/30/EG (2003): Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im

Verkehrssektor. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32003L0030&qid=1632048539776

EU 1234/2007 (2007): Verordnung über eine gemeinsame Organisation der Agrarmärkte und mit Sondervorschriften für bestimmte landwirtschaftliche Erzeugnisse (Verordnung über die einheitliche GMO). Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32007R1234

FAO (2021a): Statistische Datenbank der FAO. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 06 2021 von http://www.fao.org/faostat/en/#data

FAO (2021b): QCL Methodology. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 06 2021 von http://fenixservices.fao.org/faostat/static/documents/QCL/QCL_methodology_e.pdf

FNR (2021): Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Abgerufen am 4.6.2021 von https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/biodiesel

GERBENS-LEENES, P.W., MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. (2011): A comparative study on the water footprint of poultry, pork and beef in different countries and production systems. Value of Water Research Report Series No. 55, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands

GERBENS-LEENES, W., HOEKSTRA, A. Y. (2011): The water footprint of biofuel-based transport. Energy & Environmental Science, 4(8), 2658-2668

GUZMÁN-LUNA, P., GERBENS-LEENES, P. W., VACA-JIMÉNEZ, S. D. (2021): The water, energy, and land footprint of tilapia aquaculture in mexico, a comparison of the footprints of fish and meat. Resources, Conservation and Recycling, 165, 105224

HOEKSTRA, A. Y., HUNG, P. Q. (2002): Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade. Value of Water Research Report Series No.11, UNESCO-IHE.

HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. (2009). Water footprint manual. Enschede, the Netherlands: Water footprint network.

HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., MEKONNEN, M. M., ALDAYA, M. M. (2011): The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, London 2011

HOLMATOV, B., HOEKSTRA, A. Y. (2020): The environmental footprint of transport by car using renewable energy. Earth's Future, 8(2).

IFU (2021): Ökobilanz. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von https://www.ifu.com/de/oekobilanz/

ITC (2021): Trade Map - Trade statistics for international business development. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 06 2021 von https://www.trademap.org/Index.aspx

LAND SCHAFFT LEBEN (2021): Tomatenanbau in Österreich. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von https://www.landschafftleben.at/lebensmittel/tomate/landwirtschaft/tomatenanbau-in-osterreich

MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. (2010a): The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. (2010b): The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. (2011): National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

MEKONNEN, M. M., HOEKSTRA, A. Y. (2012): A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems, 15(3), 401-415

MEKONNEN, M. M., GERBENS-LEENES, W. (2020): The water footprint of global food production. Water, 12(10), 2696.

MOLKEREI RÜCKER (2021): Käseherstellung – Wie aus Milch Käse wird. Abgerufen am 7.6.2021 von https://www.molkerei-ruecker.de/blog/kaeseherstellung/

MONFREDA, C., RAMANKUTTY, N., FOLEY, J. A. (2008): Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000, Global Biogeochem. Cycles, 22, GB1022, doi: 10.1029/2007GB002947.

NEUNTEUFEL, R., SINEMUS, N., GRUNERT, M. (2021): Virtuelles Wasser 2021: Wasserfußabdruck – der Wasserverbrauch für Güter des täglichen Bedarfs. Herausgeber: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien. Wien, 2021.

NOLEPPA, S., CARTSBURG, M. (2015): Das große Wegschmeißen – Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland. WWF Deutschland, 2015

OBERSTEINER, G., LUCK, S. (2020): Teller statt Tonne – Lebensmittelabfälle in österreichischen Haushalten Status Quo. WWF Österreich, Wien 2020.

PLADERER, C., HIETLER, P. (2019): Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion. Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft, 71(5), 238-245.

SCHERHAUFER, S., HRAD, M., UNGER, N., OBERSTEINER, G. (2016): Datenlage zu Lebensmittelabfallmengen in Österreich-Zusammenfassung von Studien des ABF BOKU. Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien (ABF-BOKU), Wien. Verfügbar unter: http://www. wau. boku. ac. at/abf/downloads.

SCHNEIDER, F., PART, F., LEBERSORGER, S., SCHERHAUFER, S., BÖHM, K. (2012): Sekundärstudie Lebensmittelabfälle in Österreich. Endbericht, im Auftrag des Bundeministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

SINABELL, F., KAPPERT, R., KAUL, H. P., KRATENA, K., SOMMER, M. (2015): Maisanbau in Österreich – Ökonomische Bedeutung und pflanzenbauliche Herausforderungen. Herausgeber: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, 1030 Wien, Arsenal, Objekt 20. Wien, 2015.

SINABELL, F., SCHÖNHART, M., SCHMID, E. (2018): Austrian Agriculture 2020-2050 Scenarios and Sensitivity Analyses on Land Use, Production, Livestock and Production Systems.

SMITH, M. (1992): CROPWAT – A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No.46. Rome, 1992.

STATISTIK AUSTRIA (2021a): Versorgungsbilanzen 2014/15 bis 2019/20. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 06 2021 von https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/index.html

STATISTIK AUSTRIA (2021b): Bevölkerungszahlen 1996-2019. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/bevoelkerungsstand/index.html

STATISTIK AUSTRIA (2021c): Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion 1975 bis 2020. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html

STEEN-OLSEN, K., WEINZETTEL, J., CRANSTON, G., ERCIN, A. E., HERTWICH, E. G. (2012): Carbon, land, and water footprint accounts for the European Union: consumption, production, and displacements through international trade. Environmental science & technology, 46(20), 10883-10891

TRÖGER, N., WIESER, H., HÜBNER, R. (2017): Smartphones werden häufiger ersetzt als T-Shirts – Die Nutzungsmuster und Ersatzgründe von KonsumentInnen bei Gebrauchsgütern. Arbeiterkammer Wien. Wien 2017.

UNITED NATIONS (1998): International Merchandise Trade Statistics: Concepts and Definitions. Studies in Methods Series M, No. 52, Rev.2. Abgerufen von https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesM/SeriesM_52rev2E.pdf

VANHAM, D. (2012a): Der Wasserfußabdruck Österreichs: Wie viel Wasser nützen wir tatsächlich, und woher kommt es? Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft, 64(1-2), 267-276.

VANHAM, D. (2012b): A holistic water balance of Austria–how does the quantitative proportion of urban water requirements relate to other users? *Water Science and Technology*, *66*(3), 549-555.

VANHAM, D. (2013): The water footprint of Austria for different diets. Water Science and Technology, 67(4), 824-830.

VANHAM, D., LEIP, A., GALLI, A. KASTNER, T., BRUCKNER, M., UWIZEYE, A., VAN DIJK, K., ERCIN, E., DALIN, C., BRANDÃO, M., BASTIANONI, S., FANG, K., LEACH, A., CHAPAGAIN, A., VAN DER VELDE, M., SALA, S., PANT, R., MANCINI, L., MONFORTI-FERRARIO, F., CARMONA-GARCIA, G., MARQUES, A., WEISS, F., HOEKSTRA, A. Y. (2019): Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs, Science of The Total Environment, Volume 693, 2019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133642.

WACKERNAGEL, M., REES, W. (1996): Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth, New Society Publishers, Gabriola Island.

WASSERSCHATZ ÖSTERREICHS (2021): Wasserschatz Österreichs – Grundlagen für nachhaltige Nutzungen des Grundwassers. Herausgeber: Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien. Wien 2021.

WCO – WORLD CUSTOMS ORGANISATION (2021): Harmonized System Codes. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 08 2021 von http://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/tools-to-assist-with-the-classification-in-the-hs/hs-online.aspx

WENDLING, Z. A., EMERSON, J. W., DE SHERBININ, A., ESTY, D. C., et al. (2020): 2020 Environmental Performance Index. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Abgerufen von epi.yale.edu

ZAMG (2021): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – Jahrbuch. Abgerufen im Zeitraum 03 2021 bis 06 2021 von https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch

Abkürzungen

CWU	Crop water use (Pflanzenwassernutzung)
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
EPI	Environmental Performance Index
ET_0	Referenz-Evapotranspiration (Grasreferenzverdunstung)
ET_c	Pflanzen-Evapotranspiration (Pflanzenverdunstung)
ET_{blau}	Blaue Evapotranspiration
$ET_{grün}$	Grüne Evapotranspiration
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
gha	Globaler Hektar
ITC	International Trade Centre
lgp	Length of growing period (Gesamte Wachstumsperiode einer Pflanze)
RCP	Representative Concentration Pathways
WCO	World Customs Organization (Weltzollorganisation)
WF	Wasserfußabdruck
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Anhang

Anhang I: Datenzusammenstellung konsumverfügbarer Mengen

Kaffee	68
Kartoffeln	69
Rind	70
Tomaten	71
Weizen	72

Anhang II: CROPWAT-Berechnungen

WF-Berechnungen Weizen	73-77
WF-Berechnungen Gras	78-82
WF-Berechnungen Mais	83-85
WF-Berechnungen Weizen mit Ertragsanpassung	86-89
WF-Berechnungen Mais mit Ertragsanpassung	90-91

	Importe						Exporte								
	Kaffee, geröstet in t/a	Kaffeeextrakt in t/a	Kaffee, grün in t/a	Kaffeeschalen in t/a	Ersatzstoffe mit Kaffee in t/a	**Gesamt-Importe in Tonnen**	Kaffee, geröstet in t/a	Kaffeeextrakt in t/a	Kaffee, grün in t/a	Kaffeeschalen in t/a	Ersatzstoffe mit Kaffee in t/a	**Gesamt-exporte in Tonnen**	**Produktion Österreich in Tonnen**	Stock variation in Tonnen	Domestic Food Supply in Tonnen pro Jahr
1996	2 504	1 432	62 914	0	83	**66 933**	5 563	817	1 985	0	49	**8 414**			58 519
1997	4 385	2 711	66 641	0	111	**73 848**	9 541	1 188	1 085	0	144	**11 958**			61 890
1998	4 352	2 460	65 851	0	23	**72 686**	8 053	1 310	1 199	0	81	**10 643**			62 043
1999	10 786	4 015	69 731	1	25	**84 558**	18 882	1 614	525	0	17	**21 038**			63 520
2000	8 587	4 128	50 354	4	20	**63 093**	19 484	1 745	294	0	64	**21 587**	**0**		41 506
2001	12 126	4 168	64 610	4	403	**81 311**	20 160	2 304	1 697	2	28	**24 191**	**0**		57 120
2002	11 776	4 338	63 507	1	458	**80 080**	25 499	2 050	497	0	79	**28 125**	**0**		51 955
2003	14 513	4 842	64 782	18	362	**84 517**	29 460	2 754	620	0	161	**32 995**	**0**		51 522
2004	20 273	5 624	62 431	1	1 014	**89 343**	27 355	2 958	1 660	0	93	**32 066**	**0**		57 277
2005	24 355	6 093	51 978	1	1 282	**83 709**	39 447	3 336	1 355	0	86	**44 224**	**0**		39 485
2006	27 713	6 593	65 879	3	231	**100 419**	48 379	3 950	5 066	4	41	**57 440**	**0**		42 979
2007	33 410	8 435	68 925	0	1 877	**112 647**	44 576	4 073	1 189	0	35	**49 873**	**0**		62 774
2008	32 789	8 310	65 441	11	1 290	**107 841**	45 873	2 420	2 092	24	17	**50 426**	**0**		57 415
2009	34 437	5 777	27 062	0	62	**67 338**	18 790	2 318	1 424	0	9	**22 541**	**0**		44 797
2010	32 871	5 072	31 648	0	87	**69 678**	20 730	2 345	543	0	22	**23 640**	**0**		46 038
2011	33 564	7 616	35 282	0	83	**76 545**	17 415	2 370	174	1	48	**20 008**	**0**		56 537
2012	38 094	7 393	36 710	13	677	**82 887**	13 165	2 370	431	83	45	**16 094**	**0**		66 793
2013	42 776	10 394	25 796	10	465	**79 441**	13 501	3 744	252	136	34	**17 667**	**0**		61 774
2014	48 618	8 558	17 696	10	228	**75 110**	14 334	3 334	97	2	18	**17 785**	**0**	-2 000	32 284
2015	49 384	7 432	16 427	0	172	**73 415**	17 116	3 355	92	0	26	**20 589**	**0**	-7 000	45 826
2016	47 899	8 218	16 135	0	112	**72 364**	12 464	3 373	178	0	32	**16 047**	**0**	-3 000	53 317
2017	46 993	7 098	16 937	0	112	**71 140**	12 495	3 839	114	2	13	**16 463**	**0**	-2 000	52 677
2018	46 066	7 136	16 969	5	73	**70 249**	10 934	3 481	96	148	8	**14 667**	**0**	0	55 582

	Kartoffel-importe in Tonnen	gefrorene Kartoffel-importe in Tonnen	**Gesamt-Importe in Tonnen**	Kartoffel-exporte in Tonnen	gefrorene Kartoffel-exporte in Tonnen	**Gesamt-exporte in Tonnen**	**Produktion Österreich in Tonnen**	Stock variation in Tonnen	Domestic Food Supply in Tonnen pro Jahr
1996	85 015	7 994	**93 009**	10 435	1	**10 436**	**768 974**		851 547
1997	67 963	10 618	**78 581**	17 050	134	**17 184**	**676 872**		738 269
1998	54 535	11 028	**65 563**	17 418	73	**17 491**	**646 915**		694 987
1999	69 062	14 875	**83 937**	23 959	0	**23 959**	**711 729**		771 707
2000	59 957	13 890	**73 847**	33 938	0	**33 938**	**694 609**		734 518
2001	60 385	11 782	**72 167**	60 539	11	**60 550**	**694 602**		706 219
2002	71 291	14 705	**85 996**	33 899	794	**34 693**	**684 321**		735 624
2003	86 018	20 684	**106 702**	36 197	20 743	**56 940**	**560 340**		610 102
2004	80 147	16 765	**96 912**	27 039	23 054	**50 093**	**693 054**		739 873
2005	68 820	19 421	**88 241**	47 177	31 263	**78 440**	**763 165**		772 966
2006	96 643	21 330	**117 973**	70 014	38 518	**108 532**	**654 621**		664 062
2007	103 116	26 902	**130 018**	55 798	40 362	**96 160**	**668 755**		702 613
2008	100 129	25 247	**125 376**	60 167	40 590	**100 757**	**756 945**		781 564
2009	106 050	32 126	**138 176**	81 699	41 246	**122 945**	**722 098**		737 329
2010	104 843	32 488	**137 331**	84 067	45 197	**129 264**	**671 722**		679 789
2011	108 821	39 556	**148 377**	77 292	50 680	**127 972**	**816 070**		836 475
2012	112 799	32 100	**144 899**	92 991	42 429	**135 420**	**665 416**		674 895
2013	135 175	30 030	**165 205**	65 835	30 123	**95 958**	**604 051**		673 298
2014	142 865	35 678	**178 543**	68 768	41 205	**109 973**	**750 637**	9 000	833 734
2015	174 266	37 328	**211 594**	35 020	44 800	**79 820**	**536 473**	-17 000	651 247
2016	171 181	32 689	**203 870**	34 251	50 381	**84 632**	**767 261**	68 000	954 499
2017	173 347	32 602	**205 949**	34 572	60 433	**95 005**	**653 400**	37 000	801 344
2018	210 077	35 498	**245 575**	29 941	59 716	**89 657**	**697 930**	54 000	907 848

	Cattle	Fat, cattle	Hides, cattle, wet salted	Meat, cattle	Meat, cattle, boneless (beef & veal)	Offals, edible, cattle	**Gesamt-importe in Tonnen**	Cattle	Fat, cattle	Hides, cattle, wet salted	Meat, cattle	Meat, cattle, boneless (beef & veal)	Offals, edible, cattle	**Gesamt-exporte in Tonnen**	Anzahl Rinder	Meat, cattle	Offals, edible, cattle	Hides, cattle, fresh	Fat, cattle	**Produktion Österreich in Tonnen**	Stock variation in Tonnen	Domestic Food Supply in Tonnen pro Jahr
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	**t/a**	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	**t/a**	Anzahl	t/a	t/a	t/a	t/a	**t/a**		
1996	0	0	21 529	6 009	5 672	369	**33 579**	0	0	24 290	47 698	5 041	2 213	**79 242**		222 350	10 488	24 752	17 620	**275 210**		181 292
1997	0	0	39 730	6 782	4 046	297	**50 855**	0	0	28 124	44 757	8 096	9 392	**90 369**		206 021	9 718	22 934	16 326	**254 999**		163 996
1998	0	0	42 712	5 424	4 721	281	**53 138**	0	0	29 602	41 623	4 451	10 837	**86 513**		196 882	9 287	21 917	15 602	**243 688**		160 953
1999	0	0	104 597	6 069	9 243	1 050	**120 959**	0	0	37 073	50 873	19 237	12 113	**119 296**		203 333	9 591	22 635	16 113	**251 672**		148 535
2000	0	0	72 926	4 818	7 717	1 218	**86 679**	0	0	42 642	42 523	15 241	11 469	**111 875**	671 462	203 489	9 599	22 653	16 126	**251 867**		158 260
2001	0	0	89 382	2 405	6 066	781	**98 634**	0	0	48 117	44 943	25 677	5 834	**124 571**	719 232	215 240	10 153	23 961	17 057	**266 411**		153 091
2002	0	0	61 055	2 700	6 835	1 371	**71 961**	0	0	48 327	38 673	25 128	5 953	**118 081**	707 274	211 855	9 993	23 584	16 789	**262 221**		157 589
2003	0	0	80 140	7 301	8 879	1 701	**98 021**	0	0	50 333	45 181	24 925	13 503	**133 942**	684 951	207 737	9 799	23 125	16 462	**257 123**		153 811
2004	0	0	69 244	7 340	10 611	1 457	**88 652**	0	0	56 433	46 527	29 336	10 482	**142 778**	674 070	206 103	9 722	22 944	16 333	**255 102**		148 191
2005	0	0	86 920	4 734	13 116	2 304	**107 074**	0	0	51 143	44 651	27 215	6 594	**129 603**	654 238	204 468	9 645	22 762	16 203	**253 078**		150 452
2006	0	0	86 844	4 678	12 556	1 966	**106 044**	0	0	56 652	50 312	27 852	7 529	**142 345**	682 763	216 478	10 211	24 098	17 155	**267 942**		155 548
2007	0	0	82 952	5 620	14 497	2 102	**105 171**	0	0	61 008	50 071	33 631	8 782	**153 492**	675 374	217 784	10 273	24 244	17 258	**269 559**		154 199
2008	0	0	73 685	12 112	14 606	2 598	**103 001**	0	0	62 480	49 914	43 336	12 212	**167 942**	690 974	224 231	10 577	24 962	17 769	**277 539**		157 699
2009	0	0	54 244	16 031	14 380	2 304	**86 959**	0	0	57 714	49 031	50 623	9 930	**167 298**	699 783	226 294	10 674	25 191	17 933	**280 092**		157 051
2010	0	0	90 624	21 090	15 541	3 068	**130 323**	0	0	77 303	48 689	56 182	12 972	**195 146**	702 333	226 677	10 692	25 234	17 963	**280 566**		158 437
2011	0	0	97 426	23 112	12 723	6 960	**140 221**	0	0	70 458	54 310	49 446	15 850	**190 064**	688 489	222 168	10 480	24 732	17 606	**274 986**		154 247
2012	0	2 146	83 430	24 179	12 252	5 500	**127 507**	0	7 767	64 504	50 317	50 225	22 177	**194 990**	679 772	222 156	10 479	24 731	17 605	**274 971**		158 045
2013	0	3 955	98 987	23 487	11 053	5 366	**142 848**	0	6 687	74 763	52 458	51 875	25 113	**210 896**	692 369	228 913	10 798	25 483	18 140	**283 334**		159 120
2014	49 230	3 430	93 148	29 113	12 517	5 613	**193 051**	36 331	9 237	72 776	50 764	59 178	40 386	**268 672**	675 905	223 193	10 528	24 846	17 687	**276 254**	20 000	174 881
2015	56 580	4 937	94 607	29 223	11 971	2 943	**200 261**	34 149	4 578	71 138	51 607	59 608	40 379	**261 459**	695 174	229 648	10 832	25 565	18 199	**284 244**	23 000	182 627
2016	50 008	6 079	85 074	33 804	14 421	2 597	**191 983**	35 041	12 364	71 775	44 447	58 732	40 082	**262 441**	686 525	228 335	10 771	25 418	18 094	**282 618**	21 000	194 381
2017	47 477	7 123	94 271	33 983	15 699	4 841	**203 394**	35 179	15 270	79 998	44 805	61 488	24 879	**261 619**	678 258	226 859	10 701	25 254	17 978	**280 792**	22 000	192 248
2018	48 033	11 129	88 245	25 230	19 539	5 084	**197 260**	30 564	17 086	84 377	48 254	53 003	36 503	**269 787**		233 460					21 000	197 972

	Tomaten-importe in Tonnen	Tomatenpas te-importe in Tonnen	Geschälte Tomaten-importe in Tonnen	Tomatensaft - Importe in Tonnen	**Gesamt-Importe in Tonnen**	Tomaten-exporte in Tonnen	Tomatenpas te-exporte in Tonnen	Geschälte Tomaten-exporte in Tonnen	Tomatensaft - exporte in Tonnen	**Gesamt-exporte in Tonnen**	**Produktion Österreich in Tonnen**	Stock variation in Tonnen	Domestic Food Supply in Tonnen pro Jahr
1996	50 216	12 269	5 103	319	**67 907**	4 340	280	20	517	**5 157**	**18 985**		81 735
1997	49 913	10 651	5 687	318	**66 569**	3 532	235	70	433	**4 270**	**18 259**		80 558
1998	10 558	10 497	4 221	339	**25 615**	2 223	63	281	688	**3 255**	**16 866**		39 226
1999	47 218	12 940	6 236	576	**66 970**	2 709	125	40	576	**3 450**	**19 796**		83 316
2000	45 725	10 774	5 682	485	**62 666**	4 519	260	391	532	**5 702**	**24 463**		81 427
2001	51 365	11 871	6 509	457	**70 202**	4 345	570	34	582	**5 531**	**26 613**		91 284
2002	39 755	12 586	9 062	508	**61 911**	6 028	576	247	691	**7 542**	**29 888**		84 257
2003	49 356	13 195	12 692	564	**75 807**	11 247	556	541	781	**13 125**	**34 539**		97 221
2004	48 203	12 103	16 257	754	**77 317**	9 688	346	237	856	**11 127**	**35 839**		102 029
2005	59 065	13 537	11 540	528	**84 670**	12 734	305	1 187	1 002	**15 228**	**35 321**		104 763
2006	54 685	15 611	13 312	590	**84 198**	8 967	460	3 559	1 375	**14 361**	**39 105**		108 942
2007	51 673	21 110	10 595	641	**84 019**	11 719	562	448	1 752	**14 481**	**44 922**		114 460
2008	48 735	22 184	13 245	1 133	**85 297**	12 670	644	806	1 683	**15 803**	**42 109**		111 603
2009	47 763	19 219	10 161	1 187	**78 330**	13 733	525	546	2 236	**17 040**	**41 513**		102 803
2010	62 043	22 509	12 845	1 154	**98 551**	21 541	642	891	2 351	**25 425**	**44 241**		117 367
2011	51 867	23 728	13 973	876	**90 444**	12 025	904	1 106	2 423	**16 458**	**50 389**		124 375
2012	49 972	24 554	16 276	975	**91 777**	11 648	960	881	2 125	**15 614**	**52 032**		128 195
2013	48 687	22 710	14 520	1 413	**87 330**	8 718	1 652	1 587	2 077	**14 034**	**53 327**		126 623
2014	50 409	25 817	17 209	495	**93 930**	8 725	1 409	1 293	1 249	**12 676**	**57 250**	3 000	141 504
2015	49 835	24 180	18 762	616	**93 393**	7 351	1 104	1 541	1 251	**11 247**	**55 673**	4 000	141 819
2016	53 915	25 684	18 519	377	**98 495**	11 477	1 208	1 519	1 417	**15 621**	**55 068**	3 000	140 942
2017	56 766	26 410	18 199	264	**101 639**	15 900	1 479	1 720	1 543	**20 642**	**54 258**	2 000	137 255
2018	53 607	29 000	20 690	348	**103 645**	13 290	2 400	2 264	1 719	**19 673**	**58 150**	4 000	146 122
2019	52 159	32 321	23 734	287	**108 501**	14 079	3 667	2 352	1 918	**22 016**	**58 330**		144 815

	Wheat	Flour, wheat	Bran, wheat	**Weizen Gesamt-Importe in Tonnen**	Weizen Exporte in Tonnen	Weizenmehl Exporte in Tonnen	Weizenkleihe Exporte in Tonnen	**Gesamt-exporte in Tonnen**	**Produktion Österreich in Tonnen**	Stock variation in Tonnen	Domestic Food Supply in Tonnen pro Jahr
1996	78 452	17 329	2 086	**97 867**	343 905	15 599	3 237	**362 741**	**1 239 723**		974 849
1997	105 630	18 595	5 399	**129 624**	463 105	30 090	3 864	**497 059**	**1 352 281**		984 846
1998	186 422	27 410	4 654	**218 486**	494 189	32 273	3 809	**530 271**	**1 341 820**		1 030 035
1999	174 803	29 456	4 718	**208 977**	428 905	28 301	6 841	**464 047**	**1 416 200**		1 161 130
2000	85 250	31 380	4 111	**120 741**	509 823	26 282	6 152	**542 257**	**1 312 962**		891 446
2001	158 268	38 113	5 357	**201 738**	539 481	28 973	7 076	**575 530**	**1 508 283**		1 134 491
2002	283 354	37 193	5 689	**326 236**	763 255	22 240	8 144	**793 639**	**1 434 208**		966 805
2003	151 516	39 095	4 056	**194 667**	592 377	24 265	22 595	**639 237**	**1 191 380**		746 810
2004	133 735	42 593	5 210	**181 538**	417 405	38 918	28 164	**484 487**	**1 718 825**		1 415 876
2005	265 840	49 421	8 330	**323 591**	799 604	51 581	30 796	**881 981**	**1 453 072**		894 682
2006	288 767	62 167	4 988	**355 922**	573 874	50 483	26 825	**651 182**	**1 396 300**		1 101 040
2007	272 082	58 146	9 520	**339 748**	590 189	54 873	27 952	**673 014**	**1 399 341**		1 066 075
2008	299 627	51 993	8 233	**359 853**	578 640	61 586	30 899	**671 125**	**1 689 688**		1 378 416
2009	498 487	61 236	9 474	**569 197**	544 203	76 466	34 896	**655 565**	**1 523 368**		1 437 000
2010	568 586	68 111	8 610	**645 307**	710 046	94 457	40 295	**844 798**	**1 517 805**		1 318 314
2011	565 925	89 094	10 248	**665 267**	619 754	98 607	39 141	**757 502**	**1 781 837**		1 689 602
2012	512 432	83 935	7 547	**603 914**	587 835	93 075	31 464	**712 374**	**1 275 498**		1 167 038
2013	581 814	91 414	10 694	**683 922**	543 329	90 942	44 022	**678 293**	**1 597 706**		1 603 335
2014	800 077	103 050	13 054	**916 181**	880 505	103 328	61 826	**1 045 659**	**1 804 018**	276000	1 999 590
2015	873 561	97 104	15 080	**985 745**	825 290	100 301	71 842	**997 433**	**1 725 737**	360000	2 074 049
2016	922 678	90 664	14 378	**1 027 720**	741 324	96 116	67 599	**905 039**	**1 970 364**	614000	2 707 045
2017	1 011 507	86 985	13 146	**1 111 638**	730 976	99 273	71 173	**901 422**	**1 437 143**	134000	1 781 359
2018	901 564	84 858	11 520	**997 942**	630 710	92 337	71 836	**794 883**	**1 367 060**	2000	1 572 119

Wasserfußabdruck Weizen 1971-2000

Fuchsenbigl 1971-2000										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.76	17.6	12.4	5.2	12.4	5.2	
Oct	2	Init	0.7	1.49	14.9	10.8	4	10.8	4.1	
Oct	3	Deve	0.7	1.23	13.5	12	1.5	12	1.5	
Nov	1	Deve	0.72	1	10	14.1	0	10	0	
Nov	2	Deve	0.75	0.77	7.7	15.3	0	7.7	0	
Nov	3	Deve	0.78	0.7	7	13.7	0	7	0	
Dec	1	Deve	0.81	0.62	6.2	11.6	0	6.2	0	
Dec	2	Deve	0.85	0.53	5.3	10.2	0	5.3	0	
Dec	3	Deve	0.88	0.56	6.2	9.5	0	6.2	0	
Jan	1	Deve	0.91	0.6	6	8.7	0	6	0	
Jan	2	Deve	0.94	0.63	6.3	7.8	0	6.3	0	
Jan	3	Deve	0.98	0.81	8.9	7.5	1.4	7.5	1.4	
Feb	1	Deve	1.01	0.99	9.9	6.6	3.2	6.6	3.3	
Feb	2	Deve	1.04	1.18	11.8	6	5.8	6	5.8	
Feb	3	Deve	1.07	1.55	12.4	7.7	4.7	7.7	4.7	
Mar	1	Deve	1.1	1.93	19.3	9.8	9.5	9.8	9.5	
Mar	2	Deve	1.13	2.34	23.4	11.4	12	11.4	12	
Mar	3	Mid	1.16	2.86	31.5	12.3	19.2	12.3	19.2	
Apr	1	Mid	1.17	3.34	33.4	13.2	20.2	13.2	20.2	
Apr	2	Mid	1.17	3.8	38	14.2	23.8	14.2	23.8	
Apr	3	Mid	1.17	4.23	42.3	14.7	27.6	14.7	27.6	
May	1	Mid	1.17	4.65	46.5	14.8	31.7	14.8	31.7	
May	2	Late	1.17	5.04	50.4	15.1	35.3	15.1	35.3	
May	3	Late	0.99	4.42	48.7	17	31.7	17	31.7	
Jun	1	Late	0.75	3.45	34.5	19.5	15	19.5	15	
Jun	2	Late	0.52	2.47	24.7	21.5	3.1	21.5	3.2	
Jun	3	Late	0.32	1.58	11.1	14.5	0	11.1	0	
					547.2	332	254.9	292.3	255.2	4.9
									Ertrag 71-00 red.:	4.2
					Andere Berechnungs		CWU_{green}	2923		
					methode bei Cropwat		CWU_{blue}		2552	
					nicht vergleichbar mit		VW_{green}	596.5		703
					anderen Jahren		VW_{blue}		520.8	

Wasserfußabdruck Weizen 1990–2018

Fuchsenbigl 1990-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.29	12.9	14.8	0	12.9	0	
Oct	2	Init	0.7	1.02	10.2	12.5	0	10.2	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.85	9.3	12.7	0	9.3	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.7	7	13.3	0	7	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.55	5.5	13.2	0	5.5	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.51	5.1	12.7	0	5.1	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.48	4.8	12.2	0	4.8	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.44	4.4	11.7	0	4.4	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.52	5.7	10.9	0	5.7	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.6	6	9.8	0	6	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.68	6.8	9	0	6.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.89	9.8	9	0.8	9	0.8	
Feb	1	Deve	1.04	1.11	11.1	8.7	2.4	8.7	2.4	
Feb	2	Deve	1.08	1.35	13.5	8.4	5.1	8.4	5.1	
Feb	3	Deve	1.11	1.71	13.7	9.8	3.9	9.8	3.9	
Mar	1	Deve	1.14	2.09	20.9	11.6	9.3	11.6	9.3	
Mar	2	Deve	1.17	2.49	24.9	12.9	12	12.9	12	
Mar	3	Mid	1.21	3.01	33.2	12.8	20.4	12.8	20.4	
Apr	1	Mid	1.22	3.49	34.9	12	22.9	12	22.9	
Apr	2	Mid	1.22	3.95	39.5	11.8	27.7	11.8	27.7	
Apr	3	Mid	1.22	4.29	42.9	13.7	29.2	13.7	29.2	
May	1	Mid	1.22	4.64	46.4	16	30.4	16	30.4	
May	2	Late	1.21	4.96	49.6	17.7	31.8	17.7	31.9	
May	3	Late	1.03	4.37	48	18.8	29.2	18.8	29.2	
Jun	1	Late	0.77	3.41	34.1	20.1	14	20.1	14	
Jun	2	Late	0.53	2.43	24.3	21.4	2.9	21.4	2.9	
Jun	3	Late	0.32	1.5	10.5	15	0	10.5	0	
					534.7	352.4	242.1	292.9	242.1	4.9
									Ertrag 71-00 red.:	4.2
					Berechnungsmethode		CWU_{green}	2929		
					aus WÖ		CWU_{blue}		2421	
				100%			VW_{green}	597.8		704.1
							VW_{blue}		494.1	

Wasserfußabdruck Weizen 2014–2018

Fuchsenbigl 2014-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.31	13.1	18.4	0	13.1	0	
Oct	2	Init	0.7	1.02	10.2	15.4	0	10.2	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.86	9.5	14.4	0	9.5	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.73	7.3	13.4	0	7.3	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.59	5.9	12	0	5.9	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.56	5.6	12.1	0	5.6	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.52	5.2	12.6	0	5.2	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.48	4.8	12.7	0	4.8	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.54	6	11.6	0	6	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.61	6.1	9.9	0	6.1	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.68	6.8	8.7	0	6.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.89	9.7	9.8	0	9.7	0	
Feb	1	Deve	1.04	1.11	11.1	11.6	0	11.1	0	
Feb	2	Deve	1.08	1.34	13.4	12.7	0.7	12.7	0.7	
Feb	3	Deve	1.11	1.76	14	11.3	2.7	11.3	2.7	
Mar	1	Deve	1.14	2.2	22	9	13	9	13	
Mar	2	Deve	1.17	2.67	26.7	7.5	19.2	7.5	19.2	
Mar	3	Mid	1.21	3.2	35.2	9.2	26	9.2	26	
Apr	1	Mid	1.22	3.68	36.8	10.8	26	10.8	26	
Apr	2	Mid	1.22	4.13	41.3	12	29.3	12	29.3	
Apr	3	Mid	1.22	4.39	43.9	14.7	29.2	14.7	29.2	
May	1	Mid	1.22	4.65	46.5	18.8	27.7	18.8	27.7	
May	2	Late	1.21	4.88	48.8	21.9	26.9	21.9	26.9	
May	3	Late	1.03	4.42	48.6	19.4	29.2	19.4	29.2	
Jun	1	Late	0.77	3.54	35.4	14.9	20.5	14.9	20.5	
Jun	2	Late	0.53	2.58	25.8	12.3	13.5	12.3	13.5	
Jun	3	Late	0.32	1.58	11.1	11.1	0	11.1	0	
					550.8	348.3	263.8	286.9	263.9	4.9
									Ertrag 71-00 red.:	4.0
							CWU_{green}	2869		
	Steigerung zu 1990-2018:		0.80%				CWU_{blue}		2639	
				101%			VW_{green}	585.5		709.7
							VW_{blue}		538.6	

Wasserfußabdruck Weizen 2041–2070 RCP4.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 4.5 mittel										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.32	13.2	18	0	13.2	0	
Oct	2	Init	0.7	1.02	10.2	14.7	0	10.2	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.88	9.6	13.4	0	9.6	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.76	7.6	11.9	0	7.6	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.64	6.4	10.2	0	6.4	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.61	6.1	10.7	0	6.1	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.57	5.7	11.5	0	5.7	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.52	5.2	11.8	0	5.2	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.6	6.6	11.3	0	6.6	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.69	6.9	10.4	0	6.9	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.78	7.8	9.9	0	7.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.92	10.1	10.8	0	10.1	0	
Feb	1	Deve	1.04	1.07	10.7	12.4	0	10.7	0	
Feb	2	Deve	1.08	1.23	12.3	13.5	0	12.3	0	
Feb	3	Deve	1.11	1.69	13.5	12	1.5	12	1.5	
Mar	1	Deve	1.14	2.18	21.8	9.8	12	9.8	12	
Mar	2	Deve	1.17	2.7	27	8.4	18.6	8.4	18.6	
Mar	3	Mid	1.21	3.27	36	9.5	26.5	9.5	26.5	
Apr	1	Mid	1.22	3.8	38	10	27.9	10	28	
Apr	2	Mid	1.22	4.29	42.9	10.5	32.4	10.5	32.4	
Apr	3	Mid	1.22	4.57	45.7	14.1	31.6	14.1	31.6	
May	1	Mid	1.22	4.85	48.5	19.5	29	19.5	29	
May	2	Late	1.21	5.1	51	23.5	27.5	23.5	27.5	
May	3	Late	1.03	4.6	50.6	21.3	29.3	21.3	29.3	
Jun	1	Late	0.77	3.68	36.8	17.4	19.4	17.4	19.4	
Jun	2	Late	0.53	2.67	26.7	15.4	11.3	15.4	11.3	
Jun	3	Late	0.32	1.63	11.4	12.7	0	11.4	0	
					568.2	355	266.9	301.2	267.1	4.9
									Ertrag 71-00 red.:	4.0
							CWU_{green}	3012		
		Steigerung zu 1990-2018:		5.83%			CWU_{blue}		2671	
				4.98%			VW_{green}	614.7		745.1
							VW_{blue}		545.1	

Wasserfußabdruck Weizen 2041–2070 RCP8.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 8.5 trocken										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.48	14.8	17.7	0	14.8	0	
Oct	2	Init	0.7	1.14	11.4	14.2	0	11.4	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.95	10.5	13.9	0	10.5	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.79	7.9	13.6	0	7.9	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.63	6.3	12.8	0	6.3	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.6	6	12.9	0	6	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.57	5.7	13.3	0	5.7	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.53	5.3	13.4	0	5.3	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.61	6.7	13.1	0	6.7	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.69	6.9	12.3	0	6.9	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.78	7.8	11.8	0	7.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.96	10.6	12.8	0	10.6	0	
Feb	1	Deve	1.04	1.15	11.5	14.5	0	11.5	0	
Feb	2	Deve	1.08	1.36	13.6	15.7	0	13.6	0	
Feb	3	Deve	1.11	1.75	14	14.3	0	14	0	
Mar	1	Deve	1.14	2.17	21.7	12.1	9.6	12.1	9.6	
Mar	2	Deve	1.17	2.61	26.1	10.7	15.4	10.7	15.4	
Mar	3	Mid	1.21	3.12	34.3	12.3	22	12.3	22	
Apr	1	Mid	1.22	3.58	35.8	14.1	21.6	14.1	21.7	
Apr	2	Mid	1.22	4.01	40.1	15.4	24.7	15.4	24.7	
Apr	3	Mid	1.22	4.33	43.3	16.9	26.4	16.9	26.4	
May	1	Mid	1.22	4.64	46.4	19.1	27.3	19.1	27.3	
May	2	Late	1.21	4.93	49.3	21	28.4	21	28.3	
May	3	Late	1.03	4.48	49.3	19.6	29.7	19.6	29.7	
Jun	1	Late	0.77	3.6	36	17.2	18.9	17.2	18.8	
Jun	2	Late	0.53	2.63	26.3	15.8	10.5	15.8	10.5	
Jun	3	Late	0.32	1.64	11.5	12.4	0	11.5	0	
					559.1	392.9	234.4	324.7	234.4	4.9
									Ertrag 71-00 red.:	4.3
							CWU_{green}	3247		
	Steigerung zu 1990-2018:		6.83%				CWU_{blue}		2344	
			5.98%	107%			VW_{green}	662.7		752.2
							VW_{blue}		478.4	

Wasserfußabdruck Gras 1971-2000

Allerheiligen 1971-2000										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Mar	1	Init	0.9	1.68	16.8	16.1	0.7	16.1	0.7	
Mar	2	Init	0.9	1.9	19	17.3	1.7	17.3	1.7	
Mar	3	Init	0.9	2.17	23.8	17.1	6.8	17.1	6.7	
Apr	1	Init	0.9	2.43	24.3	16.1	8.2	16.1	8.2	
Apr	2	Init	0.9	2.69	26.9	15.7	11.2	15.7	11.2	
Apr	3	Init	0.9	2.98	29.8	18	11.9	18	11.8	
May	1	Init	0.9	3.33	33.3	20.5	12.9	20.5	12.8	
May	2	Init	0.9	3.66	36.6	22.5	14.1	22.5	14.1	
May	3	Init	0.9	3.63	40	24.4	15.6	24.4	15.6	
Jun	1	Init	0.9	3.58	35.8	26.4	9.5	26.4	9.4	
Jun	2	Init	0.9	3.59	35.9	28.3	7.6	28.3	7.6	
Jun	3	Init	0.9	3.69	36.9	29.9	7	29.9	7	
Jul	1	Init	0.9	3.79	37.9	32.7	5.3	32.7	5.2	
Jul	2	Init	0.9	3.9	39	34.9	4.1	34.9	4.1	
Jul	3	Deve	0.9	3.88	42.7	31.7	11	31.7	11	
Aug	1	Deve	0.91	3.89	38.9	27.7	11.1	27.7	11.2	
Aug	2	Deve	0.91	3.9	39	25.1	13.9	25.1	13.9	
Aug	3	Deve	0.92	3.64	40.1	23	17.1	23	17.1	
Sep	1	Mid	0.92	3.38	33.8	20.5	13.3	20.5	13.3	
Sep	2	Mid	0.93	3.11	31.1	18.1	12.9	18.1	13	
Sep	3	Mid	0.93	2.84	28.4	17.5	10.9	17.5	10.9	
Oct	1	Mid	0.93	2.57	25.7	16.9	8.9	16.9	8.8	
Oct	2	Mid	0.93	2.31	23.1	15.9	7.1	15.9	7.2	
Oct	3	Mid	0.93	1.95	21.5	16.1	5.4	16.1	5.4	
Nov	1	Mid	0.93	1.6	16	16.3	0	16	0	
Nov	2	Mid	0.93	1.24	12.4	16.3	0	12.4	0	
Nov	3	Mid	0.93	1.14	11.4	16.9	0	11.4	0	
Dec	1	Mid	0.93	1.05	10.5	17.9	0	10.5	0	
Dec	2	Mid	0.93	0.95	9.5	18.5	0	9.5	0	
Dec	3	Mid	0.93	0.94	10.4	17.1	0	10.4	0	
Jan	1	Mid	0.93	0.94	9.4	15.3	0	9.4	0	
Jan	2	Late	0.93	0.94	9.4	14	0	9.4	0	
Jan	3	Late	0.93	1.05	11.6	13.8	0	11.6	0	
Feb	1	Late	0.93	1.16	11.6	13.4	0	11.6	0	
Feb	2	Late	0.93	1.27	12.7	13	0	12.7	0	
Feb	3	Late	0.93	1.5	12	14.3	0	12	0	
					897.1	719.1	228.1	669.3	227.9	7.1
									Ertrag 71-00 red.:	6.3
							CWU_{green}	6693		
							CWU_{blue}		2279	
							VW_{green}	936.1		1061
							VW_{blue}		318.7	

Wasserfußabdruck Gras 1990–2018

Allerheiligen 1990-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Mar	1	Init	0.9	1.39	13.9	16	0	13.9	0	
Mar	2	Init	0.9	1.62	16.2	17.5	0	16.2	0	
Mar	3	Init	0.9	1.92	21.1	16.5	4.6	16.5	4.6	
Apr	1	Init	0.9	2.21	22.1	14.1	8.1	14.1	8	
Apr	2	Init	0.9	2.51	25.1	12.7	12.4	12.7	12.4	
Apr	3	Init	0.9	2.75	27.5	16.7	10.8	16.7	10.8	
May	1	Init	0.9	2.99	29.9	21.9	8	21.9	8	
May	2	Init	0.9	3.23	32.3	25.6	6.7	25.6	6.7	
May	3	Init	0.9	3.34	36.8	26.6	10.2	26.6	10.2	
Jun	1	Init	0.9	3.45	34.5	27.4	7.1	27.4	7.1	
Jun	2	Init	0.9	3.56	35.6	28.7	6.9	28.7	6.9	
Jun	3	Init	0.9	3.59	35.9	29.9	6.1	29.9	6	
Jul	1	Init	0.9	3.62	36.2	31.7	4.5	31.7	4.5	
Jul	2	Init	0.9	3.65	36.5	33.2	3.3	33.2	3.3	
Jul	3	Deve	0.9	3.51	38.6	31.3	7.2	31.3	7.3	
Aug	1	Deve	0.92	3.42	34.2	29.2	5	29.2	5	
Aug	2	Deve	0.94	3.34	33.4	27.7	5.6	27.7	5.7	
Aug	3	Deve	0.96	3	33	25.6	7.4	25.6	7.4	
Sep	1	Mid	0.98	2.64	26.4	23.1	3.2	23.1	3.3	
Sep	2	Mid	0.99	2.22	22.2	20.9	1.3	20.9	1.3	
Sep	3	Mid	0.99	1.9	19	19.7	0	19	0	
Oct	1	Mid	0.99	1.58	15.8	18.4	0	15.8	0	
Oct	2	Mid	0.99	1.26	12.6	17	0	12.6	0	
Oct	3	Mid	0.99	1.05	11.5	16.5	0	11.5	0	
Nov	1	Mid	0.99	0.83	8.3	16.1	0	8.3	0	
Nov	2	Mid	0.99	0.61	6.1	15.5	0	6.1	0	
Nov	3	Mid	0.99	0.55	5.5	15.3	0	5.5	0	
Dec	1	Mid	0.99	0.49	4.9	15.1	0	4.9	0	
Dec	2	Mid	0.99	0.42	4.2	14.8	0	4.2	0	
Dec	3	Mid	0.99	0.48	5.3	14.6	0	5.3	0	
Jan	1	Mid	0.99	0.54	5.4	14.4	0	5.4	0	
Jan	2	Late	0.99	0.59	5.9	14.3	0	5.9	0	
Jan	3	Late	0.99	0.73	8.1	13.9	0	8.1	0	
Feb	1	Late	0.99	0.87	8.7	13	0	8.7	0	
Feb	2	Late	0.99	1.02	10.2	12.4	0	10.2	0	
Feb	3	Late	0.99	1.27	10.1	13.8	0	10.1	0	
					733	721.1	118.4	614.5	118.5	7.1
									Ertrag 71-00 red.:	7.0
							CWU_{green}	6145		
							CWU_{blue}		1185	
							VW_{green}	859.5		876
							VW_{blue}		165.7	

Wasserfußabdruck Gras 2014–2018

Allerheiligen 2014-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Mar	1	Init	0.9	1.5	15	11.6	3.4	11.6	3.4	
Mar	2	Init	0.9	1.75	17.5	13.6	3.9	13.6	3.9	
Mar	3	Init	0.9	2.05	22.5	13.4	9.2	13.4	9.1	
Apr	1	Init	0.9	2.34	23.4	11.2	12.2	11.2	12.2	
Apr	2	Init	0.9	2.64	26.4	10.4	16	10.4	16	
Apr	3	Init	0.9	2.81	28.1	16.9	11.2	16.9	11.2	
May	1	Init	0.9	2.99	29.9	26.8	3.2	26.8	3.1	
May	2	Init	0.9	3.17	31.7	33.7	0	31.7	0	
May	3	Init	0.9	3.37	37	29.2	7.8	29.2	7.8	
Jun	1	Init	0.9	3.56	35.6	21.6	14	21.6	14	
Jun	2	Init	0.9	3.76	37.6	17.5	20.2	17.5	20.1	
Jun	3	Init	0.9	3.8	38	21.7	16.2	21.7	16.3	
Jul	1	Init	0.9	3.83	38.3	28.8	9.4	28.8	9.5	
Jul	2	Init	0.9	3.86	38.6	33.1	5.5	33.1	5.5	
Jul	3	Deve	0.9	3.72	40.9	28.9	12	28.9	12	
Aug	1	Deve	0.92	3.69	36.9	22.9	14	22.9	14	
Aug	2	Deve	0.94	3.66	36.6	19.3	17.3	19.3	17.3	
Aug	3	Deve	0.96	3.24	35.7	19.4	16.3	19.4	16.3	
Sep	1	Mid	0.98	2.77	27.7	19.8	7.9	19.8	7.9	
Sep	2	Mid	0.99	2.3	23	19.5	3.5	19.5	3.5	
Sep	3	Mid	0.99	1.95	19.5	19.5	0	19.5	0	
Oct	1	Mid	0.99	1.61	16.1	20.1	0	16.1	0	
Oct	2	Mid	0.99	1.26	12.6	20.4	0	12.6	0	
Oct	3	Mid	0.99	1.06	11.6	18.4	0	11.6	0	
Nov	1	Mid	0.99	0.85	8.5	15.8	0	8.5	0	
Nov	2	Mid	0.99	0.65	6.5	13.9	0	6.5	0	
Nov	3	Mid	0.99	0.59	5.9	14	0	5.9	0	
Dec	1	Mid	0.99	0.53	5.3	14.3	0	5.3	0	
Dec	2	Mid	0.99	0.46	4.6	14.1	0	4.6	0	
Dec	3	Mid	0.99	0.51	5.6	14.5	0	5.6	0	
Jan	1	Mid	0.99	0.55	5.5	15.6	0	5.5	0	
Jan	2	Late	0.99	0.59	5.9	16.3	0	5.9	0	
Jan	3	Late	0.99	0.76	8.3	13.4	0	8.3	0	
Feb	1	Late	0.99	0.92	9.2	8.9	0.3	8.9	0.3	
Feb	2	Late	0.99	1.08	10.8	5.8	5	5.8	5	
Feb	3	Late	0.99	1.36	10.9	8.2	2.7	8.2	2.7	
					767.4	652.7	211.2	556.1	211.1	7.1
									Ertrag 71-00 red.:	6.3
							CWU_{green}	5561		
	Steigerung zu 1990-2018:		1.23%				CWU_{blue}		2111	
							VW_{green}	777.8		887
							VW_{blue}		295.3	

Wasserfußabdruck Gras 2041–2070 RCP4.5

Allerheiligen 2041-2070 RCP 4.5 mittel										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Mar	1	Init	0.9	1.53	15.3	12.6	2.7	12.6	2.7	
Mar	2	Init	0.9	1.8	18	15.7	2.3	15.7	2.3	
Mar	3	Init	0.9	2.11	23.2	14.9	8.3	14.9	8.3	
Apr	1	Init	0.9	2.41	24.1	11.9	12.3	11.9	12.2	
Apr	2	Init	0.9	2.72	27.2	10.6	16.6	10.6	16.6	
Apr	3	Init	0.9	2.91	29.1	17.3	11.8	17.3	11.8	
May	1	Init	0.9	3.11	31.1	27.5	3.6	27.5	3.6	
May	2	Init	0.9	3.3	33	34.7	0	33	0	
May	3	Init	0.9	3.52	38.7	29.8	8.9	29.8	8.9	
Jun	1	Init	0.9	3.73	37.3	21.6	15.7	21.6	15.7	
Jun	2	Init	0.9	3.94	39.4	17	22.4	17	22.4	
Jun	3	Init	0.9	3.95	39.5	21.8	17.6	21.8	17.7	
Jul	1	Init	0.9	3.95	39.5	29.8	9.7	29.8	9.7	
Jul	2	Init	0.9	3.96	39.6	34.6	5	34.6	5	
Jul	3	Deve	0.9	3.79	41.7	29.8	11.9	29.8	11.9	
Aug	1	Deve	0.92	3.68	36.8	23	13.8	23	13.8	
Aug	2	Deve	0.94	3.58	35.8	18.7	17.1	18.7	17.1	
Aug	3	Deve	0.96	3.22	35.4	18.4	17	18.4	17	
Sep	1	Mid	0.98	2.83	28.3	18.4	9.9	18.4	9.9	
Sep	2	Mid	0.99	2.38	23.8	17.6	6.2	17.6	6.2	
Sep	3	Mid	0.99	2.01	20.1	17.8	2.3	17.8	2.3	
Oct	1	Mid	0.99	1.64	16.4	18.6	0	16.4	0	
Oct	2	Mid	0.99	1.27	12.7	19	0	12.7	0	
Oct	3	Mid	0.99	1.08	11.9	17.2	0	11.9	0	
Nov	1	Mid	0.99	0.9	9	14.7	0	9	0	
Nov	2	Mid	0.99	0.71	7.1	12.9	0	7.1	0	
Nov	3	Mid	0.99	0.63	6.3	13.4	0	6.3	0	
Dec	1	Mid	0.99	0.55	5.5	14.1	0	5.5	0	
Dec	2	Mid	0.99	0.47	4.7	14.4	0	4.7	0	
Dec	3	Mid	0.99	0.51	5.6	15.1	0	5.6	0	
Jan	1	Mid	0.99	0.55	5.5	16.9	0	5.5	0	
Jan	2	Late	0.99	0.59	5.9	18	0	5.9	0	
Jan	3	Late	0.99	0.76	8.4	14.1	0	8.4	0	
Feb	1	Late	0.99	0.93	9.3	8	1.3	8	1.3	
Feb	2	Late	0.99	1.09	10.9	3.8	7.2	3.8	7.1	
Feb	3	Late	0.99	1.39	11.1	7.3	3.8	7.3	3.8	
					787.3	651	227.1	559.9	227.3	7.1
									Ertrag 71-00 red.:	6.2
							CWU_{green}	5599		
	Steigerung zu 1990-2018:		2.74%				CWU_{blue}		2273	
			1.49%				VW_{green}	783.1		900
							VW_{blue}		317.9	

Wasserfußabdruck Gras 2041–2070 RCP8.5

Allerheiligen 2041-2070 RCP 8.5 trocken										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Mar	1	Init	0.9	1.51	15.1	13	2.1	13	2.1	
Mar	2	Init	0.9	1.75	17.5	15.5	2.1	15.5	2	
Mar	3	Init	0.9	2.05	22.5	15.1	7.4	15.1	7.4	
Apr	1	Init	0.9	2.34	23.4	12.8	10.6	12.8	10.6	
Apr	2	Init	0.9	2.63	26.3	11.9	14.4	11.9	14.4	
Apr	3	Init	0.9	2.84	28.4	18.1	10.3	18.1	10.3	
May	1	Init	0.9	3.04	30.4	27.7	2.8	27.7	2.7	
May	2	Init	0.9	3.25	32.5	34.4	0	32.5	0	
May	3	Init	0.9	3.47	38.2	29.2	9	29.2	9	
Jun	1	Init	0.9	3.7	37	21	16	21	16	
Jun	2	Init	0.9	3.92	39.2	16.2	23	16.2	23	
Jun	3	Init	0.9	4.05	40.5	19.7	20.8	19.7	20.8	
Jul	1	Init	0.9	4.18	41.8	26.4	15.4	26.4	15.4	
Jul	2	Init	0.9	4.3	43	30.1	13	30.1	12.9	
Jul	3	Deve	0.9	4.24	46.6	24	22.7	24	22.6	
Aug	1	Deve	0.92	4.31	43.1	14.9	28.2	14.9	28.2	
Aug	2	Deve	0.94	4.37	43.7	8.9	34.8	8.9	34.8	
Aug	3	Deve	0.96	3.89	42.8	11.5	31.3	11.5	31.3	
Sep	1	Mid	0.98	3.34	33.4	15.1	18.3	15.1	18.3	
Sep	2	Mid	0.99	2.78	27.8	16.8	11.1	16.8	11	
Sep	3	Mid	0.99	2.33	23.3	17.7	5.6	17.7	5.6	
Oct	1	Mid	0.99	1.88	18.8	19.2	0	18.8	0	
Oct	2	Mid	0.99	1.43	14.3	20.5	0	14.3	0	
Oct	3	Mid	0.99	1.19	13.1	19	0	13.1	0	
Nov	1	Mid	0.99	0.94	9.4	16.7	0	9.4	0	
Nov	2	Mid	0.99	0.7	7	15.2	0	7	0	
Nov	3	Mid	0.99	0.63	6.3	15.7	0	6.3	0	
Dec	1	Mid	0.99	0.57	5.7	16.3	0	5.7	0	
Dec	2	Mid	0.99	0.5	5	16.5	0	5	0	
Dec	3	Mid	0.99	0.53	5.9	16.8	0	5.9	0	
Jan	1	Mid	0.99	0.56	5.6	17.9	0	5.6	0	
Jan	2	Late	0.99	0.59	5.9	18.6	0	5.9	0	
Jan	3	Late	0.99	0.77	8.5	15.1	0	8.5	0	
Feb	1	Late	0.99	0.95	9.5	9.8	0	9.5	0	
Feb	2	Late	0.99	1.12	11.2	6	5.2	6	5.2	
Feb	3	Late	0.99	1.39	11.1	8.9	2.2	8.9	2.2	
					833.8	632.1	306.1	528	305.8	7.1
									Ertrag 71-00 red.:	5.5
							CWU_{green}	5280		
	Steigerung zu 1990-2018:		10.18%				CWU_{blue}		3058	
			8.85%				VW_{green}	738.5		965
							VW_{blue}		427.7	

Wasserfußabdruck Mais 1971-2000

Fuchsenbigl 1971-2000										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.3	1.3	1.5	1.3	1.3	0	
May	3	Init	0.3	1.34	14.8	17	0	14.8	0	
Jun	1	Init	0.3	1.39	13.9	19.5	0	13.9	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.47	14.7	21.5	0	14.7	0	
Jun	3	Deve	0.47	2.32	23.2	20.7	2.4	20.7	2.5	
Jul	1	Deve	0.69	3.59	35.9	20	15.8	20	15.9	
Jul	2	Deve	0.91	4.93	49.3	19.8	29.6	19.8	29.5	
Jul	3	Mid	1.13	5.8	63.8	17.8	46	17.8	46	
Aug	1	Mid	1.19	5.71	57.1	14.9	42.1	14.9	42.2	
Aug	2	Mid	1.19	5.4	54	12.8	41.2	12.8	41.2	
Aug	3	Mid	1.19	4.91	54	13.8	40.3	13.8	40.2	
Sep	1	Mid	1.19	4.42	44.2	15.6	28.7	15.6	28.6	
Sep	2	Late	1.16	3.84	38.4	16.5	22	16.5	21.9	
Sep	3	Late	0.93	2.69	26.9	14.9	12	14.9	12	
Oct	1	Late	0.64	1.62	16.2	12.4	3.8	12.4	3.8	
Oct	2	Late	0.42	0.89	5.3	6.5	0	5.3	0	
					513.1	245.2	285.2	229.2	283.8	7
									Red. Ertrag	4.767
M&H							CWU_{green}	2292		
grün	413						CWU_{blue}		2838	
Blau	0						VW_{green}	327.4		480.805538
Grau	71						VW_{blue}		405.4	

Wasserfußabdruck Mais 1990–2018

Fuchsenbigl 1990-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.22	1.2	1.8	1.2	1.2	0	
May	3	Init	0.3	1.28	14	18.8	0	14	0	
Jun	1	Init	0.3	1.33	13.3	20.1	0	13.3	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.41	14.1	21.4	0	14.1	0	
Jun	3	Deve	0.49	2.26	22.6	21.4	1.2	21.4	1.2	
Jul	1	Deve	0.73	3.45	34.5	21.7	12.8	21.7	12.8	
Jul	2	Deve	0.98	4.67	46.7	22	24.7	22	24.7	
Jul	3	Mid	1.23	5.59	61.5	20.6	40.9	20.6	40.9	
Aug	1	Mid	1.29	5.7	57	18.6	38.4	18.6	38.4	
Aug	2	Mid	1.29	5.48	54.8	17.1	37.7	17.1	37.7	
Aug	3	Mid	1.29	4.78	52.5	17.9	34.7	17.9	34.6	
Sep	1	Mid	1.29	4.03	40.3	19.6	20.8	19.6	20.7	
Sep	2	Late	1.26	3.29	32.9	20.5	12.5	20.5	12.4	
Sep	3	Late	0.99	2.21	22.1	18.1	4	18.1	4	
Oct	1	Late	0.68	1.25	12.5	14.8	0	12.5	0	
Oct	2	Late	0.43	0.62	3.7	7.5	0	3.7	0	
					483.8	281.9	228.8	256.3	227.4	7
									Red. Ertrag	5.516
							CWU_{green}	2563		
							CWU_{blue}		2274	
							VW_{green}	366.1		464.6
							VW_{blue}		324.9	

Wasserfußabdruck Mais 2014–2018

Fuchsenbigl 2014-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.21	1.2	2.2	1.2	1.2	0	
May	3	Init	0.3	1.29	14.2	19.4	0	14.2	0	
Jun	1	Init	0.3	1.38	13.8	14.9	0	13.8	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.5	15	12.3	2.6	12.3	2.7	
Jun	3	Deve	0.49	2.37	23.7	15.9	7.8	15.9	7.8	
Jul	1	Deve	0.73	3.6	36	21.5	14.4	21.5	14.5	
Jul	2	Deve	0.98	4.83	48.3	25.1	23.2	25.1	23.2	
Jul	3	Mid	1.23	5.77	63.5	22.6	40.9	22.6	40.9	
Aug	1	Mid	1.29	5.78	57.8	18.3	39.5	18.3	39.5	
Aug	2	Mid	1.29	5.49	54.9	15.9	39	15.9	39	
Aug	3	Mid	1.29	4.82	53.1	18.7	34.3	18.7	34.4	
Sep	1	Mid	1.29	4.16	41.6	23.5	18.1	23.5	18.1	
Sep	2	Late	1.26	3.41	34.1	26.5	7.6	26.5	7.6	
Sep	3	Late	0.99	2.27	22.7	23	0	22.7	0	
Oct	1	Late	0.68	1.27	12.7	18.4	0	12.7	0	
Oct	2	Late	0.43	0.63	3.8	9.3	0	3.8	0	
					496.2	287.6	228.6	268.7	227.7	7
									Red. Ertrag	5.586
							CWU_{green}	2687		
	Steigerung zu 1990-2018:		3.52%				CWU_{blue}		2277	
							VW_{green}	383.9		481.0
							VW_{blue}		325.3	

Wasserfußabdruck Mais 2041–2070 RCP4.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 4.5 mittel										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.26	1.3	2.4	1.3	1.3	0	
May	3	Init	0.3	1.34	14.8	21.3	0	14.8	0	
Jun	1	Init	0.3	1.43	14.3	17.4	0	14.3	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.55	15.5	15.4	0.1	15.4	0.1	
Jun	3	Deve	0.49	2.46	24.6	18.2	6.4	18.2	6.4	
Jul	1	Deve	0.73	3.72	37.2	22.7	14.5	22.7	14.5	
Jul	2	Deve	0.98	5	50	25.5	24.4	25.5	24.5	
Jul	3	Mid	1.23	5.93	65.3	23.3	41.9	23.3	42	
Aug	1	Mid	1.29	5.9	59	19.5	39.5	19.5	39.5	
Aug	2	Mid	1.29	5.57	55.7	17.4	38.3	17.4	38.3	
Aug	3	Mid	1.29	4.9	53.9	19.8	34.1	19.8	34.1	
Sep	1	Mid	1.29	4.24	42.4	24.1	18.3	24.1	18.3	
Sep	2	Late	1.26	3.48	34.8	26.7	8.1	26.7	8.1	
Sep	3	Late	0.99	2.31	23.1	22.9	0.2	22.9	0.2	
Oct	1	Late	0.68	1.28	12.8	18	0	12.8	0	
Oct	2	Late	0.43	0.62	3.7	8.8	0	3.7	0	
					508.2	303.4	227.1	282.4	226	7
									Red. Ertrag	5.663
							CWU_{green}	2824		
	Steigerung zu 1990-2018:		7.32%				CWU_{blue}		2260	
			3.67%				VW_{green}	403.4		498.7
							VW_{blue}		322.9	

Wasserfußabdruck Mais 2041–2070 RCP8.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 8.5 trocken										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.22	1.2	2.1	1.2	1.2	0	
May	3	Init	0.3	1.31	14.4	19.6	0	14.4	0	
Jun	1	Init	0.3	1.4	14	17.2	0	14	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.53	15.3	15.8	0	15.3	0	
Jun	3	Deve	0.49	2.46	24.6	17.7	6.9	17.7	6.9	
Jul	1	Deve	0.73	3.79	37.9	21	16.9	21	16.9	
Jul	2	Deve	0.98	5.17	51.7	23.1	28.6	23.1	28.6	
Jul	3	Mid	1.23	6.26	68.8	19.9	49	19.9	48.9	
Aug	1	Mid	1.29	6.44	64.4	14.3	50.1	14.3	50.1	
Aug	2	Mid	1.29	6.26	62.6	10.8	51.9	10.8	51.8	
Aug	3	Mid	1.29	5.5	60.5	15.4	45.1	15.4	45.1	
Sep	1	Mid	1.29	4.7	47	22.8	24.2	22.8	24.2	
Sep	2	Late	1.26	3.88	38.8	27.5	11.3	27.5	11.3	
Sep	3	Late	0.99	2.58	25.8	23.4	2.4	23.4	2.4	
Oct	1	Late	0.68	1.44	14.4	17.7	0	14.4	0	
Oct	2	Late	0.43	0.7	4.2	8.5	0	4.2	0	
					545.8	276.9	287.7	259.4	286.2	7
									Red. Ertrag	4.788
							CWU_{green}	2594		
	Steigerung zu 1990-2018:		16.60%				CWU_{blue}		2862	
			12.63%				VW_{green}	370.6		541.8
							VW_{blue}		408.9	

Wasserfußabdruck Weizen inkl. Ertragsanpassung 1990–2018

Fuchsenbigl 1990-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.29	12.9	14.8	0	12.9	0	
Oct	2	Init	0.7	1.02	10.2	12.5	0	10.2	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.85	9.3	12.7	0	9.3	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.7	7	13.3	0	7	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.55	5.5	13.2	0	5.5	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.51	5.1	12.7	0	5.1	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.48	4.8	12.2	0	4.8	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.44	4.4	11.7	0	4.4	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.52	5.7	10.9	0	5.7	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.6	6	9.8	0	6	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.68	6.8	9	0	6.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.89	9.8	9	0.8	9	0.8	
Feb	1	Deve	1.04	1.11	11.1	8.7	2.4	8.7	2.4	
Feb	2	Deve	1.08	1.35	13.5	8.4	5.1	8.4	5.1	
Feb	3	Deve	1.11	1.71	13.7	9.8	3.9	9.8	3.9	
Mar	1	Deve	1.14	2.09	20.9	11.6	9.3	11.6	9.3	
Mar	2	Deve	1.17	2.49	24.9	12.9	12	12.9	12	
Mar	3	Mid	1.21	3.01	33.2	12.8	20.4	12.8	20.4	
Apr	1	Mid	1.22	3.49	34.9	12	22.9	12	22.9	
Apr	2	Mid	1.22	3.95	39.5	11.8	27.7	11.8	27.7	
Apr	3	Mid	1.22	4.29	42.9	13.7	29.2	13.7	29.2	
May	1	Mid	1.22	4.64	46.4	16	30.4	16	30.4	
May	2	Late	1.21	4.96	49.6	17.7	31.8	17.7	31.9	
May	3	Late	1.03	4.37	48	18.8	29.2	18.8	29.2	
Jun	1	Late	0.77	3.41	34.1	20.1	14	20.1	14	
Jun	2	Late	0.53	2.43	24.3	21.4	2.9	21.4	2.9	
Jun	3	Late	0.32	1.5	10.5	15	0	10.5	0	
					534.7	352.4	242.1	292.9	242.1	5.1
									Ertrag 71-00 red.:	4.4
					Berechnungsmethode		CWU_{green}	2929		
					aus WÖ		CWU_{blue}		2421	
				87%			VW_{green}	570.7		672.2
							VW_{blue}		471.7	

Wasserfußabdruck Weizen inkl. Ertragsanpassung 2014–2018

Fuchsenbigl 2014-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.31	13.1	18.4	0	13.1	0	
Oct	2	Init	0.7	1.02	10.2	15.4	0	10.2	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.86	9.5	14.4	0	9.5	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.73	7.3	13.4	0	7.3	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.59	5.9	12	0	5.9	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.56	5.6	12.1	0	5.6	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.52	5.2	12.6	0	5.2	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.48	4.8	12.7	0	4.8	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.54	6	11.6	0	6	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.61	6.1	9.9	0	6.1	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.68	6.8	8.7	0	6.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.89	9.7	9.8	0	9.7	0	
Feb	1	Deve	1.04	1.11	11.1	11.6	0	11.1	0	
Feb	2	Deve	1.08	1.34	13.4	12.7	0.7	12.7	0.7	
Feb	3	Deve	1.11	1.76	14	11.3	2.7	11.3	2.7	
Mar	1	Deve	1.14	2.2	22	9	13	9	13	
Mar	2	Deve	1.17	2.67	26.7	7.5	19.2	7.5	19.2	
Mar	3	Mid	1.21	3.2	35.2	9.2	26	9.2	26	
Apr	1	Mid	1.22	3.68	36.8	10.8	26	10.8	26	
Apr	2	Mid	1.22	4.13	41.3	12	29.3	12	29.3	
Apr	3	Mid	1.22	4.39	43.9	14.7	29.2	14.7	29.2	
May	1	Mid	1.22	4.65	46.5	18.8	27.7	18.8	27.7	
May	2	Late	1.21	4.88	48.8	21.9	26.9	21.9	26.9	
May	3	Late	1.03	4.42	48.6	19.4	29.2	19.4	29.2	
Jun	1	Late	0.77	3.54	35.4	14.9	20.5	14.9	20.5	
Jun	2	Late	0.53	2.58	25.8	12.3	13.5	12.3	13.5	
Jun	3	Late	0.32	1.58	11.1	11.1	0	11.1	0	
					550.8	348.3	263.8	286.9	263.9	5.5
									Ertrag 71-00 red.:	4.5
							CWU_{green}	2869		
	Steigerung zu 1990-2018:		-5.55%				CWU_{blue}		2639	
				82%			VW_{green}	523.8		634.9
							VW_{blue}		481.8	

Wasserfußabdruck Weizen inkl. Ertragsanpassung 2041–2070 RCP4.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 4.5 mittel										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.32	13.2	18	0	13.2	0	
Oct	2	Init	0.7	1.02	10.2	14.7	0	10.2	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.88	9.6	13.4	0	9.6	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.76	7.6	11.9	0	7.6	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.64	6.4	10.2	0	6.4	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.61	6.1	10.7	0	6.1	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.57	5.7	11.5	0	5.7	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.52	5.2	11.8	0	5.2	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.6	6.6	11.3	0	6.6	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.69	6.9	10.4	0	6.9	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.78	7.8	9.9	0	7.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.92	10.1	10.8	0	10.1	0	
Feb	1	Deve	1.04	1.07	10.7	12.4	0	10.7	0	
Feb	2	Deve	1.08	1.23	12.3	13.5	0	12.3	0	
Feb	3	Deve	1.11	1.69	13.5	12	1.5	12	1.5	
Mar	1	Deve	1.14	2.18	21.8	9.8	12	9.8	12	
Mar	2	Deve	1.17	2.7	27	8.4	18.6	8.4	18.6	
Mar	3	Mid	1.21	3.27	36	9.5	26.5	9.5	26.5	
Apr	1	Mid	1.22	3.8	38	10	27.9	10	28	
Apr	2	Mid	1.22	4.29	42.9	10.5	32.4	10.5	32.4	
Apr	3	Mid	1.22	4.57	45.7	14.1	31.6	14.1	31.6	
May	1	Mid	1.22	4.85	48.5	19.5	29	19.5	29	
May	2	Late	1.21	5.1	51	23.5	27.5	23.5	27.5	
May	3	Late	1.03	4.6	50.6	21.3	29.3	21.3	29.3	
Jun	1	Late	0.77	3.68	36.8	17.4	19.4	17.4	19.4	
Jun	2	Late	0.53	2.67	26.7	15.4	11.3	15.4	11.3	
Jun	3	Late	0.32	1.63	11.4	12.7	0	11.4	0	
					568.2	355	266.9	301.2	267.1	5.5
									Ertrag 71-00 red.:	4.5
							CWU_{green}	3012		
		Steigerung zu 1990-2018:		-0.84%			CWU_{blue}		2671	
				4.98%			VW_{green}	549.9		666.5
							VW_{blue}		487.6	

Wasserfußabdruck Weizen inkl. Ertragsanpassung 2041–2070 RCP8.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 8.5 trocken										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
Oct	1	Init	0.7	1.48	14.8	17.7	0	14.8	0	
Oct	2	Init	0.7	1.14	11.4	14.2	0	11.4	0	
Oct	3	Deve	0.7	0.95	10.5	13.9	0	10.5	0	
Nov	1	Deve	0.72	0.79	7.9	13.6	0	7.9	0	
Nov	2	Deve	0.76	0.63	6.3	12.8	0	6.3	0	
Nov	3	Deve	0.79	0.6	6	12.9	0	6	0	
Dec	1	Deve	0.83	0.57	5.7	13.3	0	5.7	0	
Dec	2	Deve	0.86	0.53	5.3	13.4	0	5.3	0	
Dec	3	Deve	0.9	0.61	6.7	13.1	0	6.7	0	
Jan	1	Deve	0.93	0.69	6.9	12.3	0	6.9	0	
Jan	2	Deve	0.97	0.78	7.8	11.8	0	7.8	0	
Jan	3	Deve	1.01	0.96	10.6	12.8	0	10.6	0	
Feb	1	Deve	1.04	1.15	11.5	14.5	0	11.5	0	
Feb	2	Deve	1.08	1.36	13.6	15.7	0	13.6	0	
Feb	3	Deve	1.11	1.75	14	14.3	0	14	0	
Mar	1	Deve	1.14	2.17	21.7	12.1	9.6	12.1	9.6	
Mar	2	Deve	1.17	2.61	26.1	10.7	15.4	10.7	15.4	
Mar	3	Mid	1.21	3.12	34.3	12.3	22	12.3	22	
Apr	1	Mid	1.22	3.58	35.8	14.1	21.6	14.1	21.7	
Apr	2	Mid	1.22	4.01	40.1	15.4	24.7	15.4	24.7	
Apr	3	Mid	1.22	4.33	43.3	16.9	26.4	16.9	26.4	
May	1	Mid	1.22	4.64	46.4	19.1	27.3	19.1	27.3	
May	2	Late	1.21	4.93	49.3	21	28.4	21	28.3	
May	3	Late	1.03	4.48	49.3	19.6	29.7	19.6	29.7	
Jun	1	Late	0.77	3.6	36	17.2	18.9	17.2	18.8	
Jun	2	Late	0.53	2.63	26.3	15.8	10.5	15.8	10.5	
Jun	3	Late	0.32	1.64	11.5	12.4	0	11.5	0	
					559.1	392.9	234.4	324.7	234.4	5.5
									Ertrag 71-00 red.:	4.8
							CWU_{green}	3247		
	Steigerung zu 1990-2018:		0.10%				CWU_{blue}		2344	
			5.98%	87%			VW_{green}	592.8		672.9
							VW_{blue}		427.9	

Wasserfußabdruck Mais inkl. Ertragsanpassung 1990–2018

Fuchsenbigl 1990-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.22	1.2	1.8	1.2	1.2	0	
May	3	Init	0.3	1.28	14	18.8	0	14	0	
Jun	1	Init	0.3	1.33	13.3	20.1	0	13.3	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.41	14.1	21.4	0	14.1	0	
Jun	3	Deve	0.49	2.26	22.6	21.4	1.2	21.4	1.2	
Jul	1	Deve	0.73	3.45	34.5	21.7	12.8	21.7	12.8	
Jul	2	Deve	0.98	4.67	46.7	22	24.7	22	24.7	
Jul	3	Mid	1.23	5.59	61.5	20.6	40.9	20.6	40.9	
Aug	1	Mid	1.29	5.7	57	18.6	38.4	18.6	38.4	
Aug	2	Mid	1.29	5.48	54.8	17.1	37.7	17.1	37.7	
Aug	3	Mid	1.29	4.78	52.5	17.9	34.7	17.9	34.6	
Sep	1	Mid	1.29	4.03	40.3	19.6	20.8	19.6	20.7	
Sep	2	Late	1.26	3.29	32.9	20.5	12.5	20.5	12.4	
Sep	3	Late	0.99	2.21	22.1	18.1	4	18.1	4	
Oct	1	Late	0.68	1.25	12.5	14.8	0	12.5	0	
Oct	2	Late	0.43	0.62	3.7	7.5	0	3.7	0	
					483.8	281.9	228.8	256.3	227.4	9.5
									Red. Ertrag	7.5
							CWU_{green}	2563		
							CWU_{blue}		2274	
							VW_{green}	268.6		340.9
							VW_{blue}		238.3	

Wasserfußabdruck Mais inkl. Ertragsanpassung 2014–2018

Fuchsenbigl 2014-2018										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.21	1.2	2.2	1.2	1.2	0	
May	3	Init	0.3	1.29	14.2	19.4	0	14.2	0	
Jun	1	Init	0.3	1.38	13.8	14.9	0	13.8	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.5	15	12.3	2.6	12.3	2.7	
Jun	3	Deve	0.49	2.37	23.7	15.9	7.8	15.9	7.8	
Jul	1	Deve	0.73	3.6	36	21.5	14.4	21.5	14.5	
Jul	2	Deve	0.98	4.83	48.3	25.1	23.2	25.1	23.2	
Jul	3	Mid	1.23	5.77	63.5	22.6	40.9	22.6	40.9	
Aug	1	Mid	1.29	5.78	57.8	18.3	39.5	18.3	39.5	
Aug	2	Mid	1.29	5.49	54.9	15.9	39	15.9	39	
Aug	3	Mid	1.29	4.82	53.1	18.7	34.3	18.7	34.4	
Sep	1	Mid	1.29	4.16	41.6	23.5	18.1	23.5	18.1	
Sep	2	Late	1.26	3.41	34.1	26.5	7.6	26.5	7.6	
Sep	3	Late	0.99	2.27	22.7	23	0	22.7	0	
Oct	1	Late	0.68	1.27	12.7	18.4	0	12.7	0	
Oct	2	Late	0.43	0.63	3.8	9.3	0	3.8	0	
					496.2	287.6	228.6	268.7	227.7	10.1
									Red. Ertrag	8.1
							CWU_{green}	2687		
	Steigerung zu 1990-2018:		-2.57%				CWU_{blue}		2277	
							VW_{green}	265.0		332.1
							VW_{blue}		224.6	

Wasserfußabdruck Mais inkl. Ertragsanpassung 2041–2070 RCP4.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 4.5 mittel										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.26	1.3	2.4	1.3	1.3	0	
May	3	Init	0.3	1.34	14.8	21.3	0	14.8	0	
Jun	1	Init	0.3	1.43	14.3	17.4	0	14.3	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.55	15.5	15.4	0.1	15.4	0.1	
Jun	3	Deve	0.49	2.46	24.6	18.2	6.4	18.2	6.4	
Jul	1	Deve	0.73	3.72	37.2	22.7	14.5	22.7	14.5	
Jul	2	Deve	0.98	5	50	25.5	24.4	25.5	24.5	
Jul	3	Mid	1.23	5.93	65.3	23.3	41.9	23.3	42	
Aug	1	Mid	1.29	5.9	59	19.5	39.5	19.5	39.5	
Aug	2	Mid	1.29	5.57	55.7	17.4	38.3	17.4	38.3	
Aug	3	Mid	1.29	4.9	53.9	19.8	34.1	19.8	34.1	
Sep	1	Mid	1.29	4.24	42.4	24.1	18.3	24.1	18.3	
Sep	2	Late	1.26	3.48	34.8	26.7	8.1	26.7	8.1	
Sep	3	Late	0.99	2.31	23.1	22.9	0.2	22.9	0.2	
Oct	1	Late	0.68	1.28	12.8	18	0	12.8	0	
Oct	2	Late	0.43	0.62	3.7	8.8	0	3.7	0	
					508.2	303.4	227.1	282.4	226	10.1
									Red. Ertrag	8.20209749
							CWU_{green}	2824		
	Steigerung zu 1990-2018:		1.00%				CWU_{blue}		2260	
			3.67%				VW_{green}	278.5		344.3
							VW_{blue}		222.9	

Wasserfußabdruck Mais inkl. Ertragsanpassung 2041–2070 RCP8.5

Fuchsenbigl 2041-2070 RCP 8.5 trocken										
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.	ET_{green}	ET_{blue}	Y
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	t/ha
May	2	Init	0.3	1.22	1.2	2.1	1.2	1.2	0	
May	3	Init	0.3	1.31	14.4	19.6	0	14.4	0	
Jun	1	Init	0.3	1.4	14	17.2	0	14	0	
Jun	2	Deve	0.31	1.53	15.3	15.8	0	15.3	0	
Jun	3	Deve	0.49	2.46	24.6	17.7	6.9	17.7	6.9	
Jul	1	Deve	0.73	3.79	37.9	21	16.9	21	16.9	
Jul	2	Deve	0.98	5.17	51.7	23.1	28.6	23.1	28.6	
Jul	3	Mid	1.23	6.26	68.8	19.9	49	19.9	48.9	
Aug	1	Mid	1.29	6.44	64.4	14.3	50.1	14.3	50.1	
Aug	2	Mid	1.29	6.26	62.6	10.8	51.9	10.8	51.8	
Aug	3	Mid	1.29	5.5	60.5	15.4	45.1	15.4	45.1	
Sep	1	Mid	1.29	4.7	47	22.8	24.2	22.8	24.2	
Sep	2	Late	1.26	3.88	38.8	27.5	11.3	27.5	11.3	
Sep	3	Late	0.99	2.58	25.8	23.4	2.4	23.4	2.4	
Oct	1	Late	0.68	1.44	14.4	17.7	0	14.4	0	
Oct	2	Late	0.43	0.7	4.2	8.5	0	4.2	0	
					545.8	276.9	287.7	259.4	286.2	10.1
									Red. Ertrag	6.93477711
							CWU_{green}	2594		
	Steigerung zu 1990-2018:		9.73%				CWU_{blue}		2862	
			12.63%				VW_{green}	255.9		374.1
							VW_{blue}		282.3	

Lebenslauf

Nadine SINEMUS
*1992

Ausbildung

10/2017 – heute	**Universität für Bodenkultur, Wien** Kulturtechnik und Wasserwirtschaft (Master) Schwerpunkte: Siedlungswasserwirtschaft, landeskulturelle Wasserwirtschaft, Lebenszyklusmanagement Master-Thesis: „Weitergehende Überlegungen zum bilanzhaften Ansatz des Wasserfußabdrucks“
10/2013 – 07/2017	**Technische Universität Darmstadt, Darmstadt** Bauingenieurwesen (Bachelor) Schwerpunkt: Infrastrukturplanung Abschlussnote: 2,3 Bachelor-Thesis: „Angemessene Parametrisierung von Grundwasserneubildungsprozessen unter Waldflächen in Modellrechnungen zum regionalen Wasserhaushalt“
09/2003 – 07/2012	**Mauritius-Gymnasium, Büren** Allgemeine Hochschulreife (Abitur) Kernfächer: Mathematik, Deutsch

Berufserfahrung

11/2019 – heute	**Universität für Bodenkultur, Wien** Studentische Mitarbeiterin - Datenaufbereitung für Erstellung und Berechnung eines Wasserbedarfsmodells im Rahmen des Projekts „Wasserschatz Österreichs“ - Literaturrecherche - Datenaufbereitung zur Berechnung des Wasserfußabdrucks einzelner landwirtschaftlicher Güter
09/2015 – 07/2017	**Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH, Darmstadt** Werkstudentin und Bachelorthesis - Datenaufbereitung für Berechnungen mit Grundwassermodellen (FE-Methode) - Datenaufbereitung für Datenbanksysteme - Vermessung und Aufmaß für Bestandspläne - Aufbereitung von Felddaten - Mitarbeit bei der Erstellung von Bestandsplänen

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 31.10.2021 Nadine Sinemus

Ort, Datum, Vorname Nachname, Unterschrift