

Anreizsysteme zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Gartenbau

Sabine Wittmann, Raphael Noltemeyer, Heike Mempel

Kurzfassung

Die klimatischen Veränderungen stellen den mitteleuropäischen Gartenbau und die Landwirtschaft vor große Herausforderungen. Dementsprechend beabsichtigt die europäische Agrarpolitik eine nachhaltige, aber hoch ertragreiche Pflanzenproduktion. Zur Umsetzung von klimapolitischen Maßnahmen ist ein Vergleichsinstrument auf Erzeugerebene, welches den Ursprung von Emissionen aufzeigt und Handlungsempfehlungen gibt, zielführend. Im Rahmen des Projekts PROSIBOR sollen am Beispiel der Tomatenproduktion unter Glas einfache Methoden zur Ermittlung des Water- und CO₂-Footprint entwickelt werden, welche einen Beitrag für ein Benchmark-System leisten könnten. Erzeuger sollen das Instrument zur direkten Einordnung ihrer Ressourceneffizienzen anwenden können.

Schlüsselwörter

Carbon Footprint, Water Footprint, Benchmark, Tomatenproduktion, Gewächshaus

Incentive systems for the implementation of climate protection measures in horticulture

Sabine Wittmann, Raphael Noltemeyer, Heike Mempel

Abstract

The climatic changes pose major challenges for Central European horticulture and agriculture. Accordingly, the European agricultural policy intends a sustainable and yet high-yield crop production. For the implementation of climate policy measures, a comparison instrument at producer level is expedient, which shows the origin of the emissions and gives recommendations for action. As part of the PROSIBOR project, simple methods for determining the water and CO₂ footprint are to be developed using the example of tomato production under glass, which could make a contribution to a benchmark system. Producers should be able to use the tool to directly classify their resource efficiencies.

Keywords

Carbon Footprint, Water Footprint, Benchmark, Tomato Production, Greenhouse

Einleitung

Laut Bundesumweltamt halten 65 % der Deutschen trotz Corona den Umwelt- und Klimaschutz für ein sehr wichtiges Thema [1]. Auch das zunehmende Bewusstsein für den Wasserverlust wird in den Medien seit mehreren Jahren verstärkt aufgegriffen. Meldungen über reduzierte Wasserverfügbarkeit in der Landwirtschaft [2; 3] sowie für den öffentlichen Gebrauch [4 - 6] nehmen zu. Die Politik hat mit dem im Juni 2021 beschlossenen Klimaschutz-Sofortprogramm 2022 Finanzen bereitgestellt, um das von der Bundesregierung formulierte Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu unterstützen [7]. Allerdings ist laut dem IPCC-Bericht der Klimawandel weltweit angekommen. Für Deutschland werden insbesondere die Anzahl von Hitzetagen über 30 °C, sowie länger anhaltende Trockenperioden oder extreme Niederschlagsmengen wie 2021 vermehrt erwartet. Laut den Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes wurden die Jahre 2018 (-25 % Niederschlag), 2019 (-7 %) und 2020 (-10 %) gegenüber den Referenzjahren 1061-1990 im Mittel als zu trocken dokumentiert. Die Verfügbarkeit von Grundwasser wird dadurch beeinflusst, da fehlende Niederschläge die Sickerwasserrate und Grundwasserneubildung reduzieren, höhere Temperaturen die Verdunstung fördern und die extremen Wassermengen bei Starkregenereignissen nicht aufgenommen werden können. Der Sektor Landwirtschaft und Gartenbau ist vom Klimawandel direkt betroffen, sodass Starkregenereignisse oder Trockenheit teilweise oder vollständige Ernteaufschläge bedeuten können. Nichtsdestotrotz trägt der Sektor ebenfalls zu einem erheblichen Teil durch Emissionen klimaschädlicher Gase sowie dem Verbrauch von Rohstoffen direkt oder indirekt zum Klimawandel bei [8]. Eine nachhaltige und klimaschonende Nutzung der Ressourcen erhält daher auch in Gartenbau und Landwirtschaft eine größere Bedeutung und erfordert zunehmend eine transparente Kommunikation. Gleichzeitig wird seitens des Handels und der Verbraucher eine ganzjährige Verfügbarkeit von hochwertigem Gemüse vorausgesetzt. Dies kann insbesondere außerhalb der Vegetationsperiode lediglich durch die Nutzung von Gewächshäusern oder durch den Import aus warmen Klimazonen erreicht werden. Der Anbau unter Glas außerhalb der Saison erfordert erhebliche Mengen an Energie für Wärme und Zusatzbelichtung, dagegen führt der Import von virtuellem Wasser aus wasserarmen Regionen zu lokalen Umweltbelastungen. Instrumente zur Dokumentation und zum Vergleich des Ressourceneinsatzes stellen unter anderem die Methoden der Ermittlung des Carbon Fußabdrucks und des Wasserfußabdrucks dar. Eine Erfassung beider Parameter für pflanzenbauliche Produkte wird als sinnvoll erachtet [9]. Die Europäische Kommission stellte im Zeitraum von 2014 bis 2020 mehr als ein Viertel des Gesamtbudgets der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) für die Eindämmung des Klimawandels zur Verfügung. Dennoch geht aus einem Sonderbericht des Europäischen Rechnungshofs hervor, dass die Emissionen bisher nicht in der gewünschten Weise sinken [10]. Konkrete Maßnahmen auf Produktionsebene, welche einen direkten Beitrag zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und zur Reduktion klimaschädlicher Emissionen leisten und gleichzeitig die Produktivität beibehalten, erhalten somit eine besondere Bedeutung.

Im Rahmen des Projekts PROSIBOR sollen daher am Beispiel der Tomatenproduktion unter Glas einfache Methoden vorgestellt werden, welche einen Beitrag für ein Benchmark-System darstellen können, anhand dessen die Erzeuger selbst eine Einordnung vornehmen können.

Produktion unter Glas – Fokus: Tomate

Mit einem pro Kopf Konsum von 28,2 kg pro Jahr ist die Tomate die mit Abstand am häufigsten verzehrte Gemüseart in Deutschland [11]. Tomaten sind ganzjährig im Handel verfügbar und werden bei einem Selbstversorgungsgrad von 4 % überwiegend aus dem europäischen Ausland importiert. Insbesondere in den Wintermonaten ist die Eigenproduktion minimal, bei lediglich gering reduziertem Einkaufsvolumen (**Bild 1-A**). Die importierte Menge an Tomaten lag 2020 bei 738.000 t. Wichtigste Lieferländer für Tomaten in Deutschland sind die Niederlande, Spanien und Belgien (Bild 1-B).

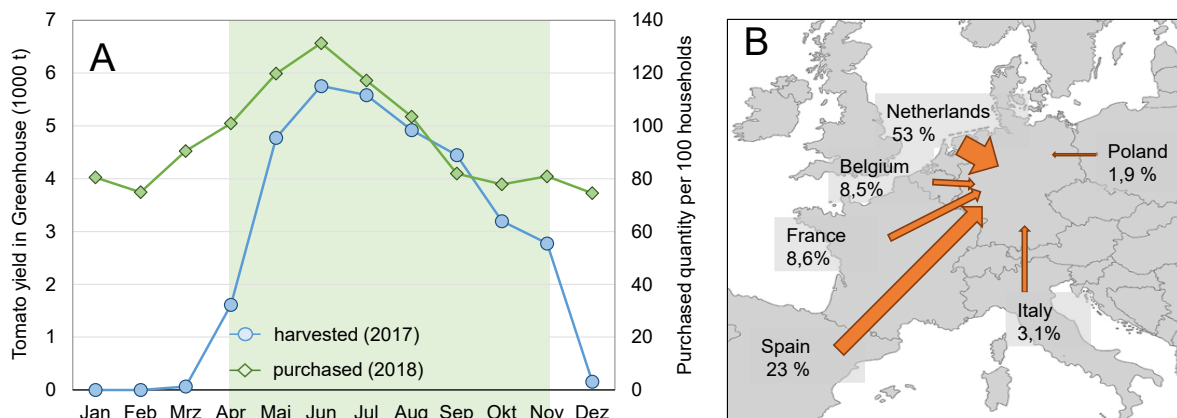


Bild 1: (A) Übersicht über das Ernte- und Einkaufsvolumen von Tomaten im Jahresverlauf für Deutschland [12]. Grün eingefärbte Monate entsprechen der Kultursaison in Deutschland. (B) Wichtigste Importländer für Tomaten [13]

Figure 1: (A) Overview of tomato harvest and purchase volumes over the course of the year for Germany [12]. Months colored in green correspond to the cultivation season in Germany. (B) Most important import countries for tomatoes [13]

In Deutschland zählen, bezogen auf die Gesamtanbaufläche von 1.263 ha [14], Tomaten (30 %), Gurken (19 %), Feldsalat (14 %) und Paprika (8 %) zu den wichtigsten Kulturen für die Gewächshausproduktion. Etwa 6 % der Tomatenfläche unter Glas wird ökologisch bewirtschaftet. Im Gewächshaus kann mithilfe von Klimacomputern und dem Einsatz von Sensoren eine optimierte Klimatisierung hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchte, Kohlendioxid und Zusatzbelichtung erreicht werden. Dadurch wird gegenüber dem Freiland eine deutlich höhere Produktivität bei reduziertem Ressourceneinsatz wie Wasser und Düngemittel erreicht. Zudem kann die Vegetationsperiode verlängert, eine gleichbleibende Qualität und eine Produktion auch in Regionen mit ungünstigen Witterungs- und Bodenverhältnissen erreicht werden.

Water Footprint

Der weltweite Süßwasserverbrauch für die landwirtschaftliche Nutzung beträgt 70 % und steigt rapide an. Aktuell werden weltweit 40 % der Nahrungsmittel künstlich bewässert. Für 2050 wird eine Zunahme des Wasserbedarfs zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen um wei-

tere 19 % prognostiziert [15]. In Deutschland wird zu mehr als 95 % mit Regenwasser (= grünem Wasser) produziert. Die bewässerte Fläche ist dementsprechend deutlich geringer und die Nutzung von Süßwasser (= blauem Wasser) für die Landwirtschaft mit 1,3 % derzeit gering [16]. Aufgrund des Klimawandels wird jedoch ein erhöhter Bedarf von künstlicher Bewässerung erwartet. Wasserstress wird als entnommenes Wasser gegenüber dem neu gebildeten Wasser definiert. Obwohl aktuell in Deutschland bei einer mittleren Nutzung von 12 % des neu gebildeten Grundwassers kein flächendeckender Wasserstress vorherrscht, bestehen regionale Unterschiede in der Verfügbarkeit. Maßnahmen für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser sowie Vorbereitungen für Trockenperioden in Deutschland sind daher von essenzieller Bedeutung. Der Water Footprint (WF) zeigt die nicht sofort ersichtlichen Zusammenhänge zwischen dem menschlichen Konsum, dem Wasserverbrauch und dem globalen Handel durch die Quantifizierung von direkt und indirekt genutztem Wasser. Die bekanntesten Konzepte zur Erfassung des Water Footprint ist das Water Footprint Assessment Manual (WFN) von [17] sowie die DIN EN ISO 14046 (ISO, 2014). Die Ansätze unterscheiden sich primär in der Berechnung der Wirkungsabschätzung, die durch die ISO nach der Wasserfußabdruck-Sachbilanz gefordert wird. Die WFN erfasst den volumetrischen Wasserverbrauch und legt Wert auf eine Erhöhung der Wassernutzungseffizienz. Beide Methoden werden in der Literatur kontrovers diskutiert [18 - 20], insbesondere, da eine rein volumetrische Methode die Konsequenz des Verbrauchs von 1 m³ Regenwasser auf lokale Ökosysteme zwischen wasserarmen und -reichen Regionen nicht abbilden kann.

Der Wasserfußabdruck Deutschlands wird in der Literatur zwischen 117-219 Mrd. m³ pro Jahr [20; 21] angegeben. Die Unterschiede entstehen durch verschiedene Modellansätze. Das entspricht pro Person zwischen 3900-7200 Liter pro Tag. Der durchschnittliche Verbrauch pro Person weltweit wird mit 3800 Liter pro Tag angegeben. Dabei werden lediglich 14 % des Wassers direkt in Deutschland verbraucht, 86 % werden als virtuelles Wasser importiert, wovon wiederum 11 % aus blauem Wasser stammen, welches dem Ursprungsland direkt entzogen wird [20]. Der Großteil wird landwirtschaftlichen Produkten wie Gemüse, Früchten, Nüssen sowie Nutzpflanzen zugewiesen. Vielfach weisen die Ergebnisse aus Studien darauf hin, dass etwa 15-40 % des importierten blauen Wassers die lokale Wasserverfügbarkeit in den Anbaueregionen überschreitet [20; 22; 23].

CO₂ - Footprint

Als Reaktion auf das globale Ziel, die Erwärmung auf weniger als 2 °C zu beschränken, hat die Europäische Union (EU) eine Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen (THG) um 80-95 % bis 2050 gegenüber dem Stand von 1990 festgelegt [24]. Laut dem Umweltbundesamt lagen die THG 2019 bei 3.610 Mio. t pro Jahr, wovon 386 Mio. t direkt der Landwirtschaft zugeschrieben werden. Deutschland hat an den Treibhausgas-Emissionen der EU 2021 einen Anteil von 22 % (762 Mio. t). Davon werden 31 % (240 Mio. t) von der Energiewirtschaft, 24 % von der Industrie, 20 % (149 Mio. t) vom Verkehr und 7 % (55 Mio. t) von der Landwirtschaft verursacht [25]. Um die Klimaziele des Pariser Abkommens zu erreichen, ist eine drastische Reduzierung der bisher verwendeten nicht erneuerbaren Energieressourcen sowie eine Ver-

änderung der landwirtschaftlichen Praktiken notwendig [26]. Die europäische und globale Agrarpolitik zielt darauf ab, den Verbrauch fossiler Brennstoffe zu reduzieren und gleichzeitig eine hohe landwirtschaftliche Produktion aufrechtzuerhalten. Die Erfassung und Berechnung der Treibhausgase mittels standardisierter Methoden ist die Basis, um Einsparungspotentiale zu ermitteln. Der Carbon Footprint (CF) erfasst dabei die Treibhausgas-Emissionen in Kohlendioxid (CO₂) -Äquivalenten pro Zeiteinheit oder Produkt. Die bekanntesten Methoden zur Berechnung des Carbon Footprint sind die publicly available specifications (PAS) 2050, das Greenhouse Gas Protokoll (GHG), welches basierend auf dem PAS 2015 entwickelt wurde, sowie die ISO 14067. Wichtige Unterschiede zwischen den Normen liegen in den anwendbaren Systemgrenzen sowie der Anwendung von unterschiedlichen Ausschlussregeln und der Kohlenstoffspeicherung [27]. Vergleichbar mit dem Water Footprint existieren jedoch auch weitere Richtlinien und Normen zur Berechnung eines CO₂-Fußabdrucks, wie z.B. das PCF-Projekt [1], der carbon fund, der BP X30-323-0 oder der TSQ001. Die Vielzahl anwendbarer Normen und Richtlinien zur Kalkulation des Carbon Footprint wird als wichtigster Kritikpunkt aufgeführt.

Hoher Ertrag bei niedrigem Energie- und Wasserverbrauch – geht das?

Gerade in Mitteleuropa ist zur Produktion von Tomaten unter Glas außerhalb der Saison aufgrund der geringeren Globalstrahlung und dem hohen Temperaturbedarf der Kultur ein erheblicher Energiebedarf durch Heizung und Zusatzbelichtung notwendig. Eine energieeffiziente Produktion nimmt daher eine hohe Priorität ein und wird auch durch die technische Ausstattung der Gewächshäuser (Isolation, Klimaführung) beeinflusst. Große Betriebe in Deutschland setzen vielfach auf regenerative Energiequellen, dennoch ist der Einsatz fossiler Energieträger noch weit verbreitet.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Studien zum Carbon- und Water Footprint von Tomaten. Für den nachfolgenden Überblick wurden, basierend auf einer nicht vollständigen Recherche, zehn Studien für den Carbon-Footprint ausgewählt, welche überwiegend mit Daten aus Praxisbetrieben durchgeführt wurden und Ergebnisse gezielt für die Systemgrenze der Produktion zur Verfügung stellen (**Bild 2**). Bezogen auf den Water Footprint wurden, aufgrund der begrenzteren Verfügbarkeit von nutzbaren Daten, lediglich vier Studien berücksichtigt. Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge erfolgte die Darstellung des Carbon Footprint in Abhängigkeit des Energie- bzw. Wasserverbrauchs. Unterschiede zwischen den Betrieben wurden bezogen auf die Bauart (Gewächs- / Folienhaus bzw. Freiland) sowie die technische Ausstattung (High-Tech = hydroponisch geschlossene Bewässerung, Heizung und künstliche Belichtung; Med-Tech = hydroponisch offene Bewässerung, Heizung; Low-Tech = hydroponisch offene Bewässerung, keine Heizung) differenziert. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse wurde eine Vierfeldertafel im Hintergrund eingefügt.

Der Carbon Footprint für die Tomatenproduktion im Freiland, in unbeheizten Folien- und Gewächshäusern liegt zwischen 0,2-0,5 kg CO₂ eq pro kg [9; 28 - 35]. Vergleichbare Ergebnisse zur Produktion im Gewächshaus (Med-Tech) mit erneuerbaren Energien (Geothermie, Pellets) liegen ebenfalls vereinzelt vor [31; 34]. Treibhausgasemissionen zwischen 0,6-2,4 kg CO₂ eq

pro kg werden primär High-Tech Folien- und Gewächshäusern zugeordnet, die abhängig vom Klima einen unterschiedlichen Heizbedarf sowie Bedarf an zusätzlicher Belichtung aufweisen [28; 30 - 37]. Ergebnisse mit einem Carbon Footprint von 1,0 kg CO₂ eq. pro kg lassen sich dabei auf Studien in wärmeren Regionen mit einem geringeren Wärmebedarf (z.B. Australien) oder den Einsatz von regenerativen Energieträgern wie Geothermie, Pellets und Hackschnitzel zurückführen. Ein Carbon Footprint von > 1,5 kg CO₂ eq. Pro kg wurde dagegen in Studien mit Betrieben erfasst, welche fossile Energieträger zur Heizung der Gewächshäuser nutzen.

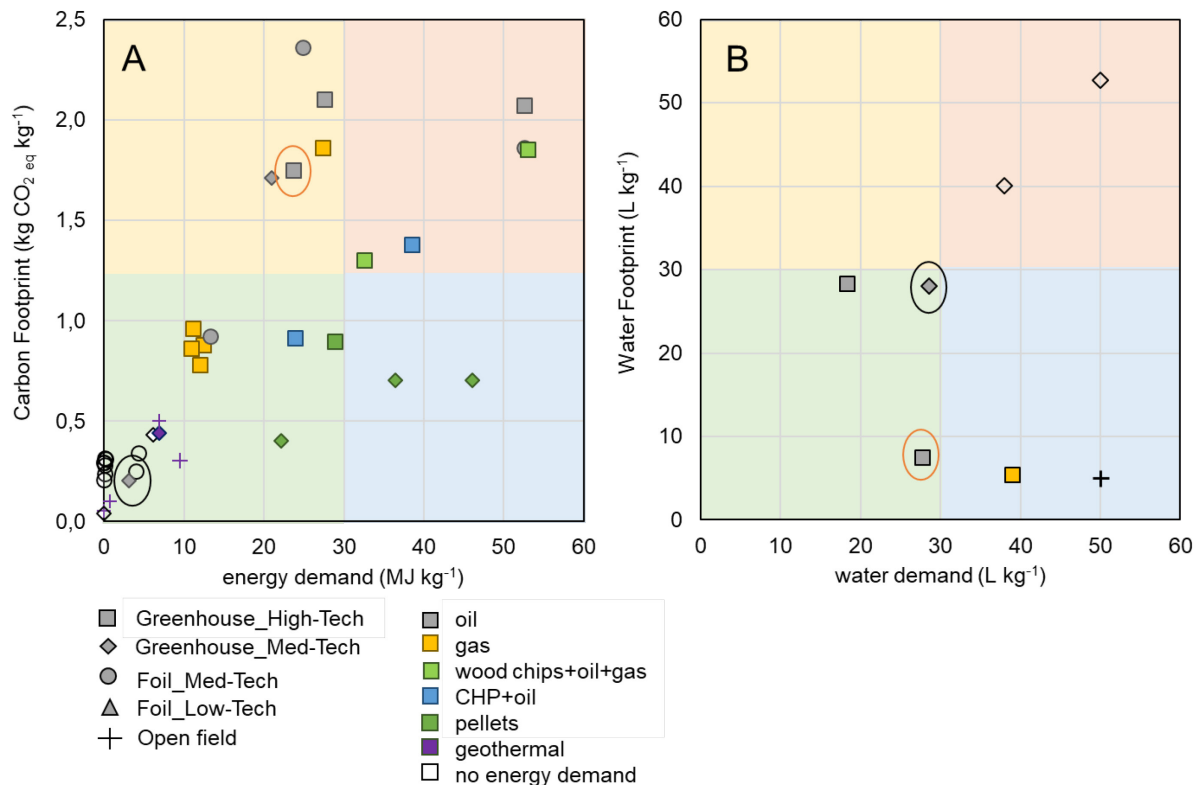


Bild 2: Überblick über in der Literatur vorhandene Kalkulationen zum (A) Carbon- und (B) Water Footprint in Abhängigkeit des Energie- und Wasserverbrauchs. Es wurden möglichst Studien mit Daten aus Praxisbetrieben integriert. Die eingekreisten Markierungen weisen auf jeweils einen Betrieb in Frankreich bzw. Spanien (beheizt / unbeheizt) hin. [9; 28 - 36]

Figure 2: Overview of existing calculations in the literature on the (A) carbon and (B) water footprint as a function of energy and water consumption. Preferably, studies with data from practical farms were integrated. The circled markings indicate one farm in each France and Spain (heated / unheated) respectively. [9; 28 - 36]

Allerdings variieren die Ergebnisse zum Teil erheblich und werden sowohl durch die technische Ausstattung, die eingesetzten Ressourcen, die standortspezifischen klimatischen Bedingungen, als auch die methodische Vorgehensweise zur Kalkulation des Footprints beeinflusst [9; 28; 37]. Sowohl die Tomatensorte als auch die Technisierung des Gewächshauses beeinflussen direkt die Produktivität und in der Folge die Footprint Berechnung des Betriebs [32; 33;

37]. Dabei werden in High-Tech Gewächshäusern deutliche Unterschiede angegeben, die zwischen $60\text{-}80\text{ kg m}^{-2}$ (Salattomate) und $30\text{-}40\text{ kg m}^{-2}$ (Cocktailtomate) erreichen [38]. In Deutschland wurden für 2018 im Mittel Erntemengen für Tomaten unter Glas von 26 kg m^{-2} (konventioneller Anbau) und $15,9\text{ kg m}^{-2}$ im ökologischen Anbau gemeldet [39]. Wissenschaftliche Studien zur Kultur von Tomaten mit und ohne zusätzliche Belichtung nennen Erträge zwischen $11,6\text{-}56,5\text{ kg m}^{-2}$ [40]. Direkte Vergleiche werden dadurch erschwert. Dennoch lassen die Ergebnisse aus der Literatur Rückschlüsse auf den Ressourceneinsatz bei Tomaten zu. Während sich ein regionaler Anbau von Tomaten während der Kultursaison in Deutschland gegenüber importierter Ware im Carbon Footprint positiv zeigt, ist der Anbau während der Wintersaison aufgrund des hohen Wärmebedarfs deutlich erhöht. Demgegenüber steht jedoch vielfach ein hoher Water Footprint der exportierenden Länder aufgrund der dort oftmals geringen Wasserverfügbarkeit. Der Zusammenhang ist in Bild 2 anhand der markierten Betriebe in beiden Footprints verdeutlicht, wobei die rote Markierung einen französischen High-Tech Betrieb und die schwarze Markierung einen spanischen Low-Tech Betrieb repräsentiert. Der High-Tech Betrieb hat, aufgrund eines geschlossenen Wasserkreislaufs, gegenüber einem einfachen Betrieb mit Bodenkultur einen deutlich geringeren Wasserfußabdruck. Der Import von Tomaten aus südlichen Ländern außerhalb der Kultursaison weist, bezogen auf den Carbon Footprint, gegenüber einer Produktion in beheizten Gewächshäusern in nördlichen Ländern Vorteile auf [30; 33]. Aufgrund der hohen Technisierung zeichnen sich jedoch gerade die Betriebe mit höherem Ressourcen- und Energieeinsatz in nördlichen Klimazonen als ertragsreicher gegenüber Low-Tech Folien- und Gewächshäusern aus und bieten erhebliches Potential für eine sehr effiziente Ressourcennutzung. Durch den Einsatz von alternativen Methoden zur Energieversorgung kann der Carbon Footprint dieser hoch intensiven Produktion laut vielen Studien erheblich gesenkt werden [32; 36; 37; 40]. Konkrete Maßnahmen auf Produktionsebene, welche einen direkten Beitrag zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und zur Reduktion klimaschädlicher Emissionen leisten und gleichzeitig die Produktivität beibehalten, erhalten somit eine besondere Bedeutung gerade im Mitteleuropäischen Raum.

Benchmark-System als Instrument zum inner- und überbetrieblichen Vergleich

Die Branchenstruktur in der Tomatenproduktion wird durch den Wettbewerb der Anbieter in den verschiedenen Produktionsregionen geprägt. Aufgrund der höheren Produktionskosten in Deutschland ist im regionalen Anbau häufig eine größere Produkt- und Sortenvielfalt als im europäischen Anbau zu finden. Dennoch ist der Markt durch einen starken Preisdruck geprägt, während andererseits die Anforderungen an Nachhaltigkeitsleistungen seitens der Konsumenten, Handel und Politik stetig ansteigen. Die Erzeuger stehen dadurch vor der steigenden Herausforderung „saubere und grüne“ Produkte anzubieten und Emissionen transparent zu kommunizieren [31]. Um die klimapolitischen Maßnahmen umzusetzen, ist es für die Erzeuger wichtig zu verstehen, welchen Ursprung die Emissionen ihrer Produkte aufweisen und welche Techniken oder Maßnahmen erforderlich wären, um den Carbon- und Water Footprint zu senken. In Abhängigkeit der Datengrundlage wäre es für die Erzeuger dadurch möglich, Prozesse in Abhängigkeit der Kulturjahre für das eigene Unternehmen bzw. zwischen mehreren Unter-

nehmen zu vergleichen und darauf basierend eine Leistungslücke zum Klassenbesten systematisch zu schließen. Während Benchmark-Systeme bereits Anwendung in verschiedensten anderen Branchen finden, besteht im Gartenbau erhebliches Potential, um betriebsübergreifende Vergleiche auf Erzeugerebene zu ermöglichen.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge und Anforderungen der Tomatenproduktion unter Glas, der unterschiedlichen Betriebsstrukturen und Vielfältigkeit der Maßnahmen, sind die Bereitschaft und die Möglichkeit einer innerbetrieblichen Ermittlung der Ressourceneffizienz in Bezug auf den Carbon- und Water Footprint für den Erzeuger mit erheblichen Hürden belegt. Branchenspezifische Instrumente, welche eine einfache Bewertung und Einordnung zu einer Vergleichsgröße ermöglichen, sind jedoch bisher nur begrenzt bzw. nicht verfügbar. Benchmark-Vergleiche in der Literatur für die Tomatenproduktion sind basierend auf der Datengrundlage nur bedingt übertragbar [23]. Während einfache, kostenlose online Tools zur Kalkulation des persönlichen Carbon- oder Water Footprints vorliegen (LfU CO₂ Rechner, Mein Fußabdruck, Wasserampel, Water Footprint Tool [41 - 44]) gibt es für die Branche derzeit vereinzelte kostenpflichtige (HortiFootprint [45]).

Im Rahmen des Projekts PROSIBOR sollen am Beispiel der Tomatenproduktion unter Glas einfache Methoden untersucht werden, welche einen Beitrag für ein Benchmark System leisten können, anhand dessen die Erzeuger selbst eine Einordnung und zeitlichen oder betriebsübergreifenden Vergleich vornehmen können. Nachfolgende Ziele sollen dabei berücksichtigt werden:

- Einfache Eingabe relevanter Daten
- Reduktion auf einfache und für die Betriebe leicht zu erhebende Daten zur verlässlichen Berechnung
- Verständliche Visualisierung eigener und betriebsübergreifender Ressourceneinsätze sowie Ergebnisse zum Carbon- und Water Footprint, bezogen auf einzelne oder mehrere Kulturjahre (Voraussetzung: Anonymisierung)
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Betrieb

Als Grundlage werden vorhandene Ergebnisse aus der Literatur verwendet, die sukzessive durch Daten aus der Praxis erweitert werden. Dabei werden insbesondere High-Tech Betriebe erfasst, allerdings die Datengrundlage darüber hinaus um biologisch produzierende Betriebe erweitert. Um importierte mit lokal produzierter Ware zu vergleichen, soll die Systemgrenze zudem auf Gradle to Gate erweitert werden. Dabei bleibt eine kombinierte Betrachtung des Carbon- und Water Footprints sowie deren Kennzahlen ein zentrales Thema. Eine differenzierte Bewertung basierend auf dem Grad der Technisierung sowie des Fruchtgewichts ist geplant, um dem Erzeuger einen Vergleich innerhalb einer spezifischen Klasse zu ermöglichen. Die nachfolgende Abbildung soll einen Eindruck über eine mögliche Visualisierung des betrieblichen Carbon-Footprints sowie den volumetrischen Wasserverbrauch (WUE) im überbetrieblichen Vergleich geben (**Bild 3-A**). Die hierfür verwendeten Daten wurden sowohl aus der Literatur [9; 28 - 37; 40; 46 - 48] als auch aus bereits erhobenen Daten aus mehreren Praxisbetrieben in Deutschland im Rahmen des Projekts PROSIBOR erstellt.

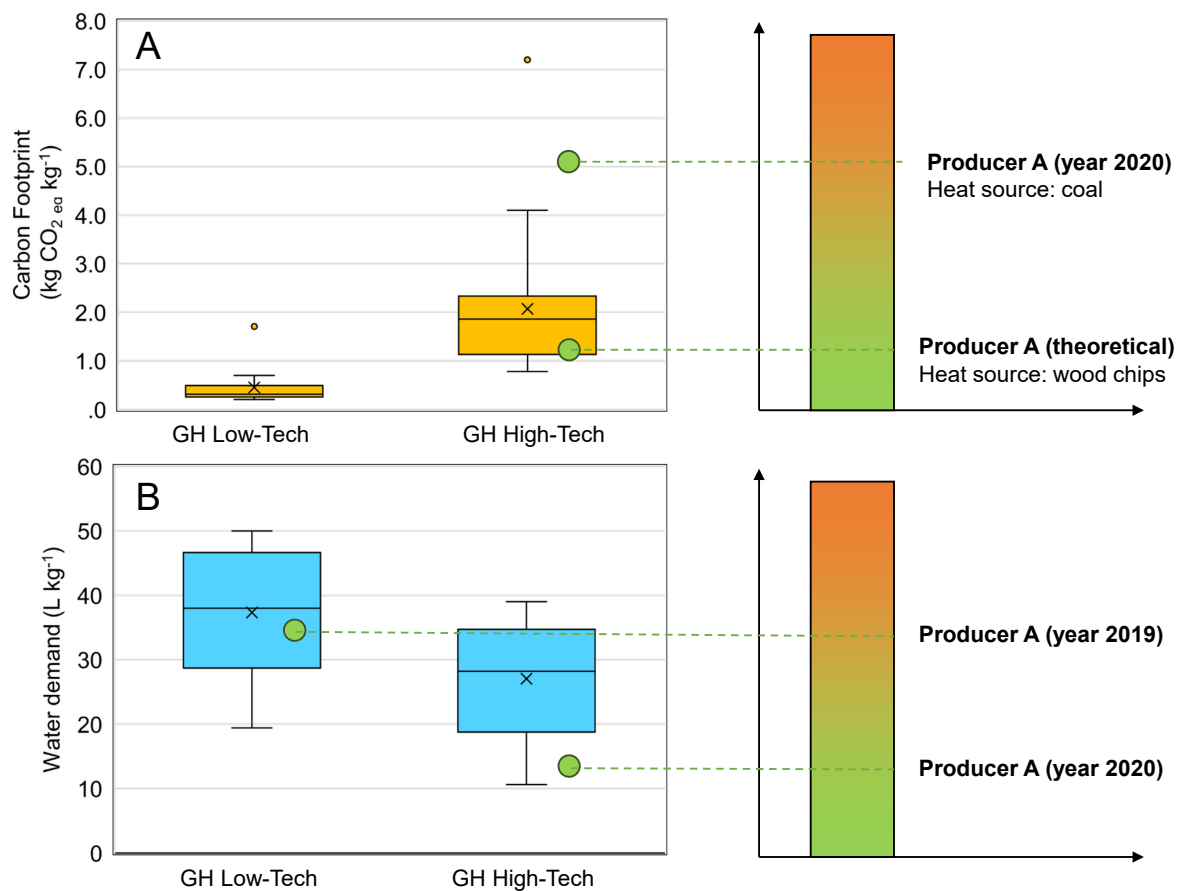


Bild 3: Beispielhafte Darstellung zur Visualisierung von (A) Footprint-Informationen oder (B) Produktionskennzahlen sowie einer Einordnung eines individuellen Erzeugers im Vergleich zweier Kulturjahre
Figure 3: Exemplary depiction for the visualization of (A) footprint information or (B) production key figures as well as a classification of an individual producer in comparison to two culture years

Fazit

Die Bereitstellung eines einfach anzuwendenden Instruments auf Erzeugerebene zur Einordnung der eigenen Emissionen und des möglichen oder tatsächlichen Erfolgs erster Maßnahmen kann die Bereitschaft zur weiteren Umsetzung von konkreten Maßnahmen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs und klimaschädlicher Emissionen erhöhen. Die systematische Erweiterung der Datenbank könnte langfristig durch kontinuierlich erhobene Daten eine zeitliche Entwicklung liefern, die sowohl innerhalb eines Betriebs als auch branchenweite oder bundesweite Vergleichsmöglichkeiten bieten würde.

Acknowledgements

Das Forschungsvorhaben wird durch das BMEL über die BLE im Rahmen der Innovationsförderung finanziell unterstützt. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung bei Ivonne Jüttner sowie den Praxisbetrieben.

Literatur

- [1] Gellrich, A.; Burger, A.; Tews, K.; Simon, C.; Seider, S.: 25 Jahre Umweltbewusstseinsforschung im Umweltressort: langfristige Entwicklungen und aktuelle Ergebnisse. 2021, URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_h_gp_umweltbewusstseinsstudie_bf.pdf, Zugriff am: 29.04.2022.
- [2] Tagesschau: Klimawandel trifft Winzer: Wenn dem Wein das Wasser fehlt. URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/weinanbau-im-klimawandel-101.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [3] Deutsche Welle: Wassernotstand in Deutschland. URL: <https://www.dw.com/de/wassernotstand-in-deutschland/a-54668837>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [4] Tagesschau: Folgen des Klimawandels: Deutschland trocknet langsam aus. URL: <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/wasserknappheit-deutschland-101.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [5] Redaktionsnetzwerk Deutschland: Wassermangel in Deutschland: An diesen Orten ist es jetzt schon zu trocken. URL: <https://www.rnd.de/wissen/wassermangel-in-deutschland-an-diesen-orten-ist-es-jetzt-schon-zu-trocken-a8aa4f42-8122-4d30-8625-9a80cbfe6fc3.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [6] Das Erste: Die Konkurrenz ums Wasser wächst. URL: <https://www.rbb-online.de/kontraste/archiv/kontraste-vom-05-08-2021/verteilungskampf-in-deutschland-immer-mehr-konflikte-um-wasser.html>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [7] Umweltbundesamt: Abschätzung der Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung. 2020, URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-19_cc_33-2020_klimaschutzprogramm_2030_der_bundesregierung.pdf, Zugriff am: 29.04.2022.
- [8] Umweltbundesamt: Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [9] Page, G.; Ridoutt, B.; Bellotti, B.: Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *Journal of Cleaner Production* 32 (2012), S. 219-226.
- [10] Europäischer Rechnungshof: Gemeinsame Agrarpolitik und Klima – Landwirtschaft erhält Hälfte der Klimaschutz Ausgaben der EU, aber Emissionen gehen nicht zurück. Luxemburg, Luxemburg: Europäischer Rechnungshof 2021, ISBN: 978-92-847-6178-4. URL: https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/sr21_16/sr_cap-and-climate_de.pdf.

- [11] Statista: Pro-Kopf-Konsum von Gemüse in Deutschland nach Art in den Jahren 2018/19 bis 2020/21. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/318586/umfrage/pro-kopf-konsum-von-gemuese-in-deutschland-nach-art/>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [12] AMI Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH: AMI Markt Report Unterglasanbau von Gemüse. 2019, URL: https://www.ami-informiert.de/fileadmin/shop/leseproben/AMI_Markt_Report_Unterglasanbau_2019__I_HVZ_.pdf.
- [13] FAO: FAOSTAT - Data - Production - Crops. 2020.
- [14] Statista: Anbaufläche von Gemüse unter Glas oder anderen begehbaren Schutzabdeckungen in Deutschland in den Jahren 2020 und 2021. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/169193/umfrage/anbauflaechen-von-gemuese-unter-glas/>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [15] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft: Wasserfußabdruck: Wie viel Wasser steckt in landwirtschaftlichen Produkten? URL: <https://www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/wie-viel-wasser-steckt-in-landwirtschaftlichen-produkten>.
- [16] Umweltbundesamt: Wasserressourcen und ihre Nutzung. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung#die-wassernutzer>, Zugriff am: 29.04.2022.
- [17] Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M.: The water footprint assessment manual – Setting the global standard. London: Earthscan 2011, ISBN: 978-1-84971-279-8.
- [18] Farooq, N.; Gheewala, S. H.: A review of two different methods for the estimation of water footprint of crops. Bulletin of the Geological Society of Malaysia 68 (2019), S. 85-90.
- [19] Gerbens-Leenes, W.; Berger, M.; Allan, J.: Water Footprint and Life Cycle Assessment: The Complementary Strengths of Analyzing Global Freshwater Appropriation and Resulting Local Impacts. Water 13 (2021) H. 6, S. 803.
- [20] Bunsen, J.; Berger, M.; Finkbeiner, M.: Konzeptionelle Weiterentwicklung des Wasserfußabdrucks. 2022, URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_44-2022_konzeptionelle_weiterentwicklung_des_wasserfussabdrucks.pdf, Zugriff am: 29.04.2022.
- [21] Brindha, K.: Virtual water flows, water footprint and water savings from the trade of crop and livestock products of Germany. Water and Environment Journal 34 (2020) H. 4, S. 656-668.
- [22] Finogenova, N.; Dolganova, I.; Berger, M.; Núñez, M.; Blizniukova, D.; Müller-Frank, A.; Finkbeiner, M.: Water footprint of German agricultural imports: Local impacts due to global trade flows in a fifteen-year perspective. The Science of the total environment 662 (2019), S. 521-529.
-

- [23] Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y.: Blue water footprint linked to national consumption and international trade is unsustainable. *Nature Food* 1(12), S. 792-800.
- [24] Umweltbundesamt: Europäische Energie- und Klimaziele. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele>.
- [25] Umweltbundesamt: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>.
- [26] Bryngelsson, D.; Wirsenius, S.; Hedenus, F.; Sonesson, U.: How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture. *Food Policy* 59 (2016), S. 152-164.
- [27] Wang, S.; Wang, W.; Yang, H.: Comparison of Product Carbon Footprint Protocols: Case Study on Medium-Density Fiberboard in China. *International journal of environmental research and public health* 15 (2018) H. 10.
- [28] Maureira, F.; Rajagopalan, K.; Stöckle, C. O.: Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems. *Journal of Cleaner Production* 337 (2022), S. 130459.
- [29] Pereira, B. d. J.; Cecilio Filho, A. B.; La Scala, N.: Greenhouse gas emissions and carbon footprint of cucumber, tomato and lettuce production using two cropping systems. *Journal of Cleaner Production* 282 (2021), S. 124517.
- [30] Neira, D. P.; Montiel, M. S.; Cabeza, M. D.; Reigada, A.: Energy use and carbon footprint of the tomato production in heated multi-tunnel greenhouses in Almeria within an exporting agri-food system context. *The Science of the total environment* 628-629 (2018), S. 1627-1636.
- [31] Ntinis, G. K.; Neumair, M.; Tsadilas, C. D.; Meyer, J.: Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *Journal of Cleaner Production* 142 (2017), S. 3617-3626.
- [32] Emberger-Klein, A.; Menrad, K.; Ergül, R.; Mempel, H.: Carbon-Footprint-Analysen entlang der Wertschöpfungsketten von Obst und Gemüse an ausgewählten Beispielen sowie Erarbeitung eines entsprechenden Zertifizierungs- und Labellingsystems: gekürzte Fassung des Schlussberichts. DOI: 10.2314/GBV:860305716.
- [33] Boulard, T.; Raeppe, C.; Brun, R.; Lecompte, F.; Hayer, F.; Carmassi, G.; Gaillard, G.: Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agronomy for Sustainable Development* 31 (2011) H. 4, S. 757-777.
- [34] Torrellas, M.; Antón, A.; Ruijs, M.; Victoria, N. G.; Stanghellini, C.; Montero, J. I.: Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios. *Journal of Cleaner Production* 28 (2012), S. 45-55.
- [35] Payen, S.; Basset-Mens, C.; Perret, S.: LCA of local and imported tomato: an energy and water trade-off. *Journal of Cleaner Production* 87 (2015), S. 139-148.
-

- [36] Dias, G. M.; Ayer, N. W.; Khosla, S.; van Acker, R.; Young, S. B.; Whitney, S.; Hendricks, P.: Life cycle perspectives on the sustainability of Ontario greenhouse tomato production: Benchmarking and improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production* 140 (2017), S. 831-839.
- [37] Almeida, J.; Achten, W. M. J.; Verbist, B.; Heuts, R. F.; Schrevens, E.; Muys, B.: Carbon and Water Footprints and Energy Use of Greenhouse Tomato Production in Northern Italy. *Journal of Industrial Ecology* 18 (2014) H. 6, S. 898-908.
- [38] Kozai, T.: *Smart plant factory: The next generation indoor vertical farms*. Springer 2018, ISBN: 9811310653.
- [39] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Marktgemüsebau, Marktobstbau, Blumen und Zierpflanzen, Stauden, Baumschulen. URL: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/gartenbau/produktionsgartenbau>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [40] Ntinis, G. K.; Dannehl, D.; Schuch, I.; Rocks, T.; Schmidt, U.: Sustainable greenhouse production with minimised carbon footprint by energy export. *Biosystems Engineering* 189 (2020), S. 164-178.
- [41] LFU CO2 Rechner. URL: https://lfu.co2-rechner.de/de_DE, Zugriff am: 30.04.2022.
- [42] Mein Fußabdruck. URL: <https://www.mein-fussabdruck.at/>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [43] Wasserampel. URL: <https://wasserampel.wfd.de/>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [44] Water Footprint Tool. URL: <https://wf-tools.see.tu-berlin.de/>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [45] HortiFootprint. URL: <https://my-mps.com/over-mps/innovaties/lca/?lang=de>, Zugriff am: 30.04.2022.
- [46] Zarei, M. J.; Kazemi, N.; Marzban, A.: Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 18 (2019) H. 3, S. 249-255.
- [47] Karakaya, A.; Özilgen, M.: Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy* 36 (2011) H. 8, S. 5101-5110.
- [48] Williams, A. G.: *Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities*. (2006) Cranfield University and Defra.

Autorendaten

Prof. Dr. Heike Mempel ist Professorin für Technik im Gartenbau und Qualitätsmanagement und leitet das Applied Science Centre for Smart Indoor Farming an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.

M.Sc. Sabine Wittmann ist Doktorandin an der HSWT im Team von Prof. Mempel.

B. Sc. Raphael Notlemeyer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HSWT im Team von Prof. Mempel.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Wittmann, Sabine; Noltemeyer, Raphael; Mempel, Heike: Anreizsysteme zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Gartenbau. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2022. S. 1-14

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202031003-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2021/chapter/gewaechshaustechnik.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.