

Treibhausgasrechner in der Landwirtschaft – Erfahrungen und Perspektiven

Stephanie Kätsch und Bernhard Osterburg*

Zusammenfassung

Im Rahmen der Klimaschutzanstrengungen wird zunehmend auch der Agrar- und Landnutzungssektor betrachtet. Zur Abschätzung der THG-Emissionen einzelner landwirtschaftlicher Betriebe und Produkte wird weltweit eine Vielzahl automatisierter Treibhausgasrechner angeboten und verwendet. Ziel dieser Arbeit ist es, einen internationalen Überblick über ausgewählte Treibhausgasrechner zu geben, wichtige Kriterien bei der Entwicklung solcher Rechner zu identifizieren und ihre Perspektiven zu beleuchten. Neben einer Literaturlauswertung wurden hierfür weltweit verschiedene Entwickler zu ihren Treibhausgasrechnern und ihren Erfahrungen mit der Entwicklung befragt. Die Analyse der Ergebnisse bestätigt große Unterschiede zwischen den einzelnen Rechnern. Dies ist vor allem auf unterschiedliche Zielsetzungen und methodische Ansätze zurückzuführen. Gute Treibhausgasrechner sollten vor allem benutzerfreundlich, robust und transparent sein und dabei das Emissionsgeschehen möglichst detailliert abbilden. Insgesamt wurden Treibhausgasrechner als wertvolle Werkzeuge mit guten Zukunftsperspektiven eingestuft. Auch in Deutschland könnten in der Zukunft vermehrt Anreize für die Verwendung von Treibhausgasrechnern entstehen, wie z. B. durch Produktkennzeichnungsinitiativen. Aus diesem Grund wird eine Beschäftigung mit der Thematik generell als sinnvoll erachtet. Wird die Entwicklung eines eigenen Treibhausgasrechners angestrebt, sollten aktuelle Entwicklungen und bestehende Erfahrungen im internationalen Raum berücksichtigt werden, um zu prüfen, ob auf bestehenden Konzepten aufgebaut werden kann.

Schlüsselwörter: *Treibhausgasrechner, Treibhausgasbilanzierung, Carbon Footprint, Produktkennzeichnung, Klimaschutz, Landwirtschaft*

Abstract

Carbon Calculators in Agriculture – Experiences and Perspectives

Recently, climate change mitigation efforts are expanding to also include the agricultural and land use sectors. In order to assess the greenhouse gas emissions of single farms or products, a number of automated carbon calculators are available. This paper aims to provide an international overview of selected carbon calculators, to identify important criteria for calculator development and to assess future perspectives of carbon calculators. In addition to a literature review, a number of selected tool developers were questioned regarding their calculators and experiences during calculator development. The analysis of the results shows that there are big differences between the various calculators. This mainly results from different objectives and methodological approaches. Good carbon calculators need to be user friendly, robust and transparent and should allow for a detailed representation of emission patterns. In general, carbon calculators are valuable tools and are said to have promising future perspectives. Incentives to use carbon calculators may soon increase in Germany as well e.g. due to possible product labeling initiatives. Therefore, a closer look into the subject matter might prove beneficial. In case a separate carbon calculator is to be developed, the actual developments in this field and existing international experiences should be taken into consideration, in order to check whether it can be based on existing concepts. For an English summary of the results, please contact the authors.

Keywords: *carbon calculators, greenhouse gas accounting, carbon footprint, product labeling, climate change mitigation, agriculture*

* Thünen-Institut für Ländliche Räume, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

1 Einleitung

Im Zuge der Klimaschutzbestrebungen soll künftig auch der Bereich der Landnutzung stärker einbezogen werden. Allein die Methan- und Lachgasemissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion sind mit weltweit gut 13 % für einen nicht unerheblichen Teil der gesamten Treibhausgas (THG-)emissionen verantwortlich (WRI, 2015). In Deutschland liegt der Anteil dieser direkten, landwirtschaftlichen Emissionen bei knapp 7 %, in der EU bei 10 % der gesamten THG-Emissionen (UNFCCC, 2015). Um THG-Emissionen entgegenwirken zu können, ist zunächst eine Abbildung des Emissionsgeschehens (Status quo und Änderungsmöglichkeiten) nötig. Hierzu werden meist verschiedene Rechensysteme oder Modelle herangezogen. Hierunter fallen auch die sogenannten THG-Rechner, auf die in diesem Artikel genauer eingegangen werden soll. Im Gegensatz zu den nationalen THG-Emissionsinventaren werden hier Aktivitätsdaten nicht auf Sektorebene abgebildet, sondern meist auf einzelbetrieblicher Ebene, um spezifische landwirtschaftliche Produktionssysteme zu untersuchen.

Laut Deneff et al. (2012) werden THG-Rechner in Abgrenzung zu Protokollen, Richtlinien und prozessbasierten Modellen definiert. Nach Beschreibung der Autoren handelt es sich hierbei um vorwiegend automatisierte softwarebasierte Anwendungen, die im Gegensatz zu Modellen eine geringere Komplexität aufweisen, eine größere Zielgruppe ansprechen und insgesamt benutzerfreundlicher sind. Aus diesem Grund werden sie vor allem als Hilfe zur Entscheidungsfindung von Landwirten, Beratern oder Politikern und weniger in der Wissenschaft verwendet. Die FAO (Colomb et al., 2012) unterscheidet vier Kategorien von THG-Rechnern, wobei ein THG-Rechner mehreren Kategorien zugeordnet werden kann. Die erste Kategorie „Bewusstseinsbildung“ umfasst vor allem einfache Rechner (oft IPCC Tier 1¹) u. a. FEGGEC (QUT, 2013), US cropland calculator (McSwiney et al. 2010)), die Emissions-„hotspots“ identifizieren und auf die generelle Emissionsproblematik aufmerksam machen. In der zweiten Kategorie „THG-Bilanzierung“ werden Rechner zusammengefasst, die das Emissionsgeschehen detaillierter (oft IPCC Tier 1,2) abbilden. Bei der Einteilung wird zwischen „Landschafts-“ (z. B. ALU Software (Colorado State University, 2015)) und „Betriebsrechnern“ (z. B. Dia'terre (ADEME, 2014)) unterschieden. Die dritte Kategorie „Projektauvaluierung“ beinhaltet Rechner, die Szenarien mit einander vergleichen und so die Wirkung von verschiedenen Projekten (z. B. Minderungsmaßnahmen) analysieren können. Hier wird zwischen Rechnern unterschieden, die vor allem im Zusammenhang mit „Carbon Credits“ verwendet werden (u. a. FarmGAS (Australian Farm Institute, 2015)) und solchen, die auch Projekte mit anderen Zielen betrachten (z. B. Holos (Little et al., 2008)). Bei der letzten Kategorie „markt- und

produktorientierte Rechner“ werden die THG-Emissionen auf die Produkteinheit bezogen (z. B. CFT (Hillier et al., 2011)). Auf diese Weise können auch Leakage-Effekte berücksichtigt werden.

Insgesamt gibt es eine große Vielfalt an unterschiedlichen THG-Rechnern für den Agrar- und Forstsektor, die durch Überblicksarbeiten insbesondere von Deneff et al. (2012), Colomb et al. (2012, 2013), Whittaker et al. (2013) zusammengefasst und ausführlich beschrieben werden. Aufgrund großer Unterschiede bezüglich Zielsetzung, Rahmenbedingungen und Systemgrenzen, methodischen Ansätzen und technischer Umsetzung variieren die Ergebnisse jedoch stark und sind nur eingeschränkt vergleichbar (Lewis et al., 2013). Whittaker et al. (2013) vergleichen in ihrer Studie elf THG-Rechner für den Agrar- und Erneuerbare-Energien-Sektor in Großbritannien. Die berechneten Emissionen für die Weizenproduktion schwanken je nach Rechner zwischen 600 und 3300 kg CO_{2-Aq.} ha⁻¹. Die Unterschiede kommen durch die Verwendung unterschiedlicher IPCC-Methoden (Tier 1 bis 3) zustande, weiterhin sind abweichende Systemgrenzen und Unterschiede in der Berücksichtigung von Emissionsquellen zu nennen. Werden bei der Berechnung der Emissionen zusätzlich Landnutzungsänderungen berücksichtigt, kommen weitere 200 bis 2400 kg CO_{2-Aq.} ha⁻¹ hinzu.

Mit dem Ziel, Transparenz und Vergleichbarkeit der Ergebnisse einzelbetrieblicher THG-Berechnungen in der Landwirtschaft in Deutschland zu erhöhen, wurde 2012 die Arbeitsgruppe „Einzelbetriebliche THG-Bilanzierung in der Landwirtschaft“ bestehend aus Mitgliedern der Bodenseestiftung, des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), der Landesanstalt für Landwirtschaft in Bayern, der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Bornim, der Technischen Universität München, des Thünen-Instituts und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft gegründet. Sie dient dem Informationsaustausch hinsichtlich der THG-Bilanzierung von landwirtschaftlichen Betrieben und beschäftigt sich mit der Entwicklung von gemeinsamen Standards für die Berechnung von betrieblichen THG-Emissionen in Deutschland. Demnächst sollen die Ergebnisse in Form eines Arbeitspapiers veröffentlicht und die abgestimmten Parameter über eine web-basierte Datenbankabfrage zugänglich gemacht werden. In diesem Zusammenhang wurde auch die Entwicklung eines gemeinsamen THG-Rechners diskutiert.

Ziel des Artikels ist es, einen Überblick über bestehende internationale THG-Rechner zu geben, verschiedene methodische Ansätze vorzustellen und Aspekte der technischen Umsetzung und Anwenderfreundlichkeit zu beleuchten. Der Fokus liegt auf den internationalen Rechnern, da nur wenige deutsche Rechner existieren, selten angewendet werden und oftmals nicht frei verfügbar sind. Vertreter wichtiger deutscher Rechenwerke (z. B. Indikatorensystem KSNL, Modell REPRO) sind in der AG „Einzelbetriebliche THG-Bilanzierung“ aktiv und decken somit den nationalen Bereich ab. Gleichzeitig sollen die zukünftigen Perspektiven von THG-Rechnern betrachtet werden. Auf diese Weise soll eine Diskussionsgrundlage für eine mögliche Entwicklung eines

¹ Tier 1: Der Tier-1-Ansatz verwendet „statistische Größen (z. B. Tierzahlen) und mittlere Emissionsfaktoren („default emission factors“) in den Regelwerken von IPCC und EMEP/CORINAIR“ (Rösemann et al., 2015). Tier 2 und 3 sind detaillierter und verwenden komplexere Gleichungen und länderspezifische Emissionsfaktoren.

deutschen THG-Rechners geschaffen werden. Hierbei steht die Frage im Vordergrund, inwieweit internationale Erfahrungen im Bereich der Rechnerentwicklung für Deutschland von Bedeutung sind und welche Rückschlüsse sich aus ihnen ziehen lassen. Da der Fokus dieses Beitrags auf internationalen und frei verfügbaren THG-Rechnern liegt, werden bestehende, inhaltlich umfassendere Indikatorensysteme, Betriebsmodelle und Ökobilanzansätze (z. B. SALCA) bei der Analyse nicht berücksichtigt.

Um obige Frage zu beantworten, wurde zusätzlich zu einer umfassenden Literaturrecherche eine Befragung² von Entwicklern ausgewählter internationaler THG-Rechner durchgeführt. Im Folgenden wird zunächst auf das methodische Vorgehen bei der Befragung eingegangen. Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse zusammengefasst und exemplarisch dargestellt. Der Fokus liegt auf Faktoren, die bei der Entwicklung eines THG-Rechners von besonderer Bedeutung sind und genau abgewogen werden müssen. Hierbei werden neben den Rahmenbedingungen, der methodischen und technischen Umsetzung auch Kriterien der Anwenderfreundlichkeit betrachtet. Anhand der Ergebnisse werden die Perspektiven von THG-Rechnern u. a. in Deutschland diskutiert. Hierbei wird näher auf einige europäische Produktkennzeichnungsinitiativen („Labelling“) eingegangen.

2 Material und Methoden

Zunächst wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um einen Überblick über vorhandene THG-Rechner zu bekommen. Die Suche wurde im August 2014 mit Google Scholar durchgeführt (Suchwörter u. a. Carbon Calculator + Agriculture, Product Carbon Footprint + Agriculture, GHG Accounting Tools + Agriculture). Zusätzlich wurden bestehende Untersuchungen (u. a. Colomb et al., 2012; Deneff et al., 2012; Whittaker et al., 2013) als Ausgangspunkt der Suche verwendet.

Auf Basis der Ergebnisse wurde für die Befragung der Entwickler ein zweiteiliger Fragebogen entworfen. Der erste Teil des Fragebogens orientiert sich an bereits durchgeführten Analysen von Colomb et al. (2012), um bereits bestehende Aussagen zu verifizieren und ggf. zu aktualisieren. Er fragt spezifisch für jedes Tool Details zu Rahmen und Kontext der Rechner (Ziele, Zielgruppen, berücksichtigte Prozesse und THG-Quellen etc.), technischen und methodischen Spezifikationen (technische Umsetzung, methodischer Ansatz, Systemgrenzen etc.) sowie der Zugänglichkeit und Anwendbarkeit des Rechners ab. 23 der 28 Fragen wurde offen konzipiert. Lediglich bei drei Fragen konnten die Befragten zwischen vorgegebenen Kategorien wählen, wobei die Zuordnung zu mehreren Kategorien möglich war. Bei den

Fragen zu Komplexität und Zeitaufwand wurde eine Selbsteinschätzung anhand einer Skala von 1 bis 4 (1 = ohne große Vorkenntnisse anwendbar, Dauer weniger als 1 Tag; 4 = Schulung nötig, Dauer mehr als 1 Monat) abgefragt. Die Bewertungsskala wurde von Colomb et al. (2012) übernommen. Der zweite Teil des Fragebogens bestand aus sieben offenen Fragen. Hier wurden Ziele, Stärken und Schwächen sowie Pläne zur Weiterentwicklung und Zukunft des speziellen Rechners abgefragt. Außerdem sollte eine Einschätzung zur Bedeutung und Zukunft der THG-Rechner im Allgemeinen gegeben werden.

Der Fragebogen wurde als editierbares Worddokument verschickt. Um das Ausfüllen der Fragebögen zu erleichtern und den Rücklauf zu verbessern, wurden bekannte Informationen vorab in den Fragebogen eingetragen und konnten ohne Einschränkungen durch die Befragten korrigiert und aktualisiert werden. Insgesamt wurden 15 Rechner für die Befragung ausgewählt. Der Fokus lag auf frei verfügbaren THG-Rechnern, die hauptsächlich für Landwirte und Berater gedacht sind und auf Betriebs- oder Produktebene möglichst viele Produktionsprozesse und THG-Quellen abbilden. Um ggf. regionsspezifische Ansätze zu identifizieren, wurden Rechner aus unterschiedlichen geographischen Regionen ausgewählt. Teilweise wurden die Fragebögen für die einzelnen THG-Rechner an mehrere Ansprechpartner und Experten versendet, um – vor allem hinsichtlich des zweiten Teils des Fragebogens – das Spektrum an potenziell unterschiedlichen Erfahrungen zu erweitern.

Bei der Analyse der beantworteten Fragebögen wurden die Antworten und Kommentare in Kategorien zusammengefasst. Bei Fragen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten wurden die Antworten ausgezählt. Bei den offenen Fragen leiteten sich die Kategorien aus den Antworten ab. Alle Antworten wurden berücksichtigt und als eigene Kategorie aufgenommen. Zielten Antworten in dieselbe Richtung, wurden sie in einer Kategorie zusammengefasst. Aufgrund der größtenteils offenen Struktur der Fragen und der relativ kleinen Anzahl der Fragebögen ist es schwierig, die Antworten quantitativ zu analysieren. Die Befragung kann lediglich dazu dienen, einen groben Überblick zu bekommen und Trends abzuleiten.

3 Ergebnisse

Auf Basis der Literaturrecherche konnten mehr als 40 THG-Rechner für den Agrar- und Forstsektor identifiziert werden. Die tatsächliche Anzahl an Rechnern ist höchstwahrscheinlich noch höher, da sich die Recherche aufgrund von Sprachbarrieren auf den englisch-, französisch-, spanisch- und deutschsprachigen Raum konzentrierte. Zusätzlich gibt es eine Anzahl von THG-Rechnern, die von Beraterfirmen entgeltlich zur Verfügung gestellt werden oder nicht für die öffentliche Verwendung gedacht sind (z. B. der Carbon Trust Footprint Expert oder das SAC-Tool AgRE Calc© des Scottish Agricultural College). Nicht in die Analyse mit einbezogen wurden Ökobilanzierungsprogramme (z. B. SALCA, SimaPro etc.) oder Kriteriensysteme und Programme zur Bewertung

² An dieser Stelle möchten wir uns bei den Teilnehmern für ihre Beteiligung an der Befragung sowie für die zahlreichen Anregungen und Kommentare bedanken. Die Ergebnisse der Befragung sind ebenfalls in einem englischen Dokument zusammengefasst, welches auf Nachfrage von den Autoren zur Verfügung gestellt werden kann.

Tabelle 1

In der Auswertung der Fragebögen berücksichtigte THG-Rechner

THG-Rechner	Institution	Kurzwort
AgriClimateChange Tool	Solagro (Frankreich)	ACCT
COMET-FARM CarbOn Management Evaluation Tool for whole FARM GHG accounting	Colorado State University, USDA, NRCS, NREL (USA)	COMET
Cool Farm Tool, Version 2.0	Cool Farm Alliance (USA)	CFT
Dairy Greenhouse Gas Abatement Calculator Version 3.1	Tasmanian Institute of Agriculture (Australien)	DGAS
Dia'terre® 3.5.0.3427	ADEME (Frankreich)	Dia'terre
European Commission Joint Research Centre Carbon Calculator	JRC (EU), Solagro, CIRAD (Frankreich)	JRC CC
FarmGAS Calculators Scenario Tool Version 3.0	Australian Farm Institute (Australien)	FarmGAS
Farming Enterprise Greenhouse Gas Emissions Calculator	Queensland University of Technology (Australien)	FEGGEC
Greenhouse Accounting Framework	University of Melbourne (Australien)	GAF
HOLOS 2.1.1	Agriculture and Agri-Food Canada (Kanada)	HOLOS
OVERSEER® Nutrients Budgets	Ministry for Primary Industries, Fertiliser Association NZ, AgResearch (Neuseeland)	OVERSEER

der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebe (z. B. REPRO, KSNL), die unter anderem auch zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen im Betrieb und auf Produktebene verwendet werden können.

Von den 15 verschickten Fragebögen wurden insgesamt 12 ausgefüllt zurückgesendet. Im Fall des JRC Carbon Calculators wurden die Fragen sowohl durch Solagro als auch durch das JRC beantwortet (2 Fragebögen). Die Auswertung erfolgte somit für insgesamt 11 Rechner (Tabelle 1).

83 % der Fragebögen wurden vollständig ausgefüllt. Aufgrund des hohen Anteils an offenen Fragen sind selten Pauschalangaben möglich. Um jedoch einen Eindruck der Vielfältigkeit verschiedener Rechner geben zu können, werden im Folgenden exemplarisch einige Besonderheiten hervorgehoben und beobachtete Trends beschrieben. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen dazu, einen Überblick zu bekommen, und sind nicht unbedingt auf nicht untersuchte THG-Rechner zu übertragen.

3.1 Rahmen- und Kontext-Kriterien

Die meisten Rechner wurden im Zeitraum von 2006 bis 2012 entwickelt. Lediglich im „Greenhouse Accounting Framework (GAF)“ aus Australien sind die ersten Rechner für Rindfleisch- und Milchproduktion bereits 2002 entstanden. Am OVERSEER aus Neuseeland wird bereits seit Mitte der 90er Jahre gearbeitet. Der JRC CC hingegen wurde erst im Zeitraum von 2011 bis 2014 entwickelt. Alle Rechner wurden in den letzten zwei Jahren aktualisiert.

Meist sind mehrere Institutionen an einem Rechner beteiligt. Der Großteil wird durch Ministerien und regierungsnahe Organisationen mitfinanziert und getragen. Darüber hinaus sind vor allem in Australien mehrere Industrieverbände involviert (z. B. GAF, DGAS: „Dairy Australia“, „Meat & Livestock Australia“). Zusätzlich sind bei der Entwicklung häufig Universitäten beteiligt (COMET: Colorado

State University; GAF: University of Melbourne). Das CFT, welches ursprünglich u. a. durch Unilever und die Universität Aberdeen finanziert wurde, wird heute durch die in den USA ansässige Non-profit Organisation „Cool Farm Alliance“ und deren Partner getragen.

Zur inhaltlichen Einordnung wurden Ziele und Zweck der Rechner abgefragt. Fast alle (9) Entwickler ordnen ihren Rechner der FAO Zielkategorie „THG-Bilanzierung – Betriebs-ebene“ zu (Tabelle 2).

Tabelle 2

Zuordnung der untersuchten Rechner zu den FAO THG-Rechnerkategorien (Selbsteinschätzung der Entwickler)

THG-Rechner	Bewusstseinsbildung	THG-Bilanzierung Betriebs-ebene	Projekteleuierung	Produktbewertung
ACCT		x		x
COMET		x	x	
CFT	x	x		x
DGAS	x	x		
Dia'terre		x		
JRC CC		x		x
FarmGAS			x	
FEGGEC	x	x		
GAF	x	x		
HOLOS	x		x	
OVERSEER		x		

Lediglich bei FarmGAS und HOLOS handelt es sich um Rechner, die hauptsächlich für die Projektevaluierung entwickelt wurden. Das ACCT, der JRC CC und das CFT können

zusätzlich für die Bewertung auf Produktebene verwendet werden. Spezifische Ziele waren die Berechnung von THG- und Energiebilanzen, Product Carbon Footprints sowie die Reduktion von THG-Emissionen. Neben einer Sensibilisierung für das Thema geht es bei einigen Rechnern auch darum, Minderungsoptionen zu bewerten und die Beratung der Landwirte anhand der Rechner zu verbessern. Basierend auf Szenarioanalysen können HOLOS und FarmGAS als Entscheidungshilfe bei der Auswahl bestimmter Minderungsoptionen dienen. Der Dia'terre-Rechner verfolgt zusätzlich das Ziel, aus den gesammelten Daten eine Datenbank aufzubauen, und der OVERSEER beschäftigt sich vornehmlich mit der Modellierung von Nährstoffflüssen. Die Zielgruppe sind in den meisten Fällen Berater und Landwirte. In einigen Fällen wurden auch Wissenschaftler, Dienstleister und Unternehmen sowie die Politik erwähnt. Grundsätzlich sind fast alle Rechner Interessierten ohne Einschränkung zugänglich.

Aufgrund der unterschiedlichen Herkunft der verschiedenen Rechner variiert auch ihr geographischer Fokus. Der FEGGEC deckt als einziger Rechner lediglich eine bestimmte Region (Queensland, Australien) ab. Alle anderen rechnen auf nationaler Ebene (USA: COMET, Canada: HOLOS; Frankreich: Dia'terre; Australien/Neuseeland: DGAS, FarmGAS, GAF, OVERSEER) und bilden teilweise sogar mehrere Staaten ab (JRC CC, ACCT). Das CFT kann weltweit eingesetzt werden.

3.2 Methodische und technische Aspekte

Die gewählten Methoden und Systemgrenzen der Rechner scheinen auf den ersten Blick recht ähnlich. Alle Rechner beziehen sich generell auf die methodischen Vorgaben des IPCC und definieren das Hoftor als Systemgrenze. Bei einer detaillierten Betrachtung fällt jedoch auf, dass die Ansätze sich teilweise doch sehr unterscheiden. Auf Grundlage der Antworten auf den Fragebogen lassen sich die Unterschiede zwischen den Rechnern hinsichtlich der Systemgrenzen und Methoden nur grob nachvollziehen. Daher wurden zusätzliche Informationen aus Benutzerleitfäden und anderen Literaturquellen abgeleitet. Bei der Wahl der Emissionsfaktoren werden sowohl IPCC Tier-1- als auch etwas detailliertere Tier-2-Ansätze verwendet. Oftmals orientieren sich die verwendeten Berechnungsansätze an denen der nationalen THG-Inventare (z. B. GAF, FarmGAS, OVERSEER). In einigen Fällen werden hierbei zusätzlich länderspezifische Emissionsfaktoren verwendet. Weitere Emissionsfaktoren stammen aus Ökobilanzierungsdatenbanken (z. B. Ecoinvent etc.) und aus der Literatur. Bei sieben Rechnern kann zumindest ein Teil der Emissionsfaktoren durch Nutzer angepasst werden. Beim JRC CC, COMET, DGAS und FEGGEC ist dies nicht möglich.

Zusätzlich werden die IPCC-Methoden auch mit anderen Ansätzen gekoppelt. So werden für ACCT, Dia'terre und den JRC CC bestehende französische Ansätze wie GES'TIM (Gac et al., 2011) oder Bilan Carbone® (Association Bilan Carbone, 2010) verwendet. Ebenfalls wird die ISO-Norm 14064 (ISO 14064 1-3, 2006) berücksichtigt. Einige Rechner verwenden empirische oder prozessbasierte Modelle zur besseren Abbildung des Emissionsgeschehens, speziell im Bereich der Kohlenstoffspeicherung im Boden (z. B. Century

Modell (HOLOS, FEGGEC), Daycent Modell (COMET)). Für die Berechnung der produktspezifischen Treibhausgasbelastungen wird auf Ökobilanzierungsregeln wie die ISO Normen 14040 (ISO 14040, 2006), 14044 (ISO 14044, 2006) und 14046 (ISO 14046, 2014) oder den PAS 2050 (BSI, 2008) zurückgegriffen (z. B. OVERSEER, CFT).

Wie bereits erwähnt, beschreiben die meisten Rechner den Betrieb mit dem Hoftor als Systemgrenze. Unterschiede bestehen jedoch hinsichtlich der Berücksichtigung von Emissionen aus der Bereitstellung von Vorleistungen. FarmGAS beispielsweise beschränkt sich nur auf das System des eigentlichen Betriebs. Beim GAF werden zusätzlich noch die THG-Emissionen aus der Verwendung von Energieträgern miteinberechnet. Ein Großteil der anderen Rechner hingegen berücksichtigt auch THG-Emissionen, die durch die Bereitstellung von Vorleistungen wie Dünger oder Futtermitteln in den Betrieben entstehen. THG-Emissionen aus dem Transport werden selten miteinbezogen (z. B. CFT). Emissionen aus Landnutzungsänderungen (direkt) und die Kohlenstoffspeicher im Boden werden z. B. beim ACCT, dem JRC CC, dem CFT und beim HOLOS Rechner betrachtet.

Auch die Wahl des Allokationsansatzes hat einen entscheidenden Einfluss auf die Endergebnisse. Das CFT hält sich, wie auch im PAS 2050 empfohlen, an die rein ökonomische Allokation. Der JRC CC hingegen verwendet einen biophysikalischen Ansatz und alloziert hierbei nach Energie- oder Proteingehalten der Produkte. Der OVERSEER verwendet beide Ansätze. Die vorgegebenen Allokationsfaktoren können bei Bedarf angepasst werden. Beim DGAS-Rechner oder dem GAF wird keine bestimmte Allokation vorgegeben; die Nutzer können eine Allokation je nach ihren Präferenzen vornehmen.

Bei der technischen Umsetzung der Rechner können im Wesentlichen drei Ansätze unterschieden werden. Entweder handelt es sich um einen webbasierten Rechner (z. B. COMET, FarmGAS) oder um eine Exceldatei zum Herunterladen (JRC CC, GAF, DGAS). Beide Typen waren bei der Auswertung in etwa gleich häufig vertreten. Als dritte Möglichkeit kann eine spezielle Software heruntergeladen werden (z. B. HOLOS, Dia'terre). Das CFT kann sowohl als Exceldatei als auch online als webbasierter Rechner verwendet werden. Auch beim OVERSEER kann man sich zwischen einem Software-Download oder einer webbasierten Version entscheiden. Generell handelt es sich bei fast allen Rechnern um alleinstehende Rechner. Lediglich der Output des OVERSEERs kann als Input für andere Modelle benutzt werden. Der JRC CC und das ACCT können mit jeglichen anderen excelbasierten Rechnern und Programmen verknüpft werden. Das GAF kann in die „Breedcow Plus“-Software integriert werden, welche zur Ermittlung der besten Strategien bei der Rinderzucht verwendet wird.

Die Ergebnisse der THG-Emissionsbilanzierung werden bei allen Rechnern in Form von $\text{CO}_{2-\text{Äq}}$ pro Betrieb ausgegeben. In den meisten Fällen wird hierbei noch weiter unterteilt, beispielsweise nach Gasen oder Quellen. Bei einigen, insbesondere produktspezifischen Rechnern werden zusätzlich $\text{CO}_{2-\text{Äq}}$ pro funktioneller Einheit (ha, Produkteinheit etc.) berechnet.

3.3 Kriterien der Benutzerfreundlichkeit

Die Benutzerfreundlichkeit eines Rechners hängt beispielsweise davon ab, wie der Zugang zum Rechner gestaltet ist. Das ACCT und den JRC CC kann der Interessent durch direkte Kontaktaufnahme mit den Entwicklern (v. a. SOLAGRO) erhalten. Die webbasierten Rechner sind direkt online zugänglich (COMET, FarmGAS), während andere excel- oder softwarebasierte Rechner erst heruntergeladen werden müssen (HOLOS, GAF). Der Großteil der betrachteten Rechner ist dabei kostenlos erhältlich. Eine Besonderheit stellt in diesem Fall der Dia'terre-Rechner dar. Hier muss erst eine 3-tägige Schulung absolviert werden, um den Rechner zu erhalten. Diese Schulung kostet zwischen 300 und 900 € (zzgl. MwSt.). Der Grund dafür ist, dass die Daten direkt als Referenzen in eine nationale Datenbank gesendet werden. Die Excelversion des CFT ist kostenlos erhältlich, die Onlineversion inklusive der Exportfunktion kostet zwischen 2000 und 5000 £ je nach Größe des Unternehmens. Um eine erfolgreiche Anwendung zu ermöglichen, werden für fast alle THG-Rechner verschiedene Hilfestellungen angeboten. So können Entwickler oder deren Projektpartner bei Fragen und Problemen direkt kontaktiert werden. Für einige Rechner (z. B. OVERSEER) wurde bereits eine Online-Support-Infrastruktur geschaffen. Hierbei handelt es sich meist um kostenlose Leistungen. Beim CFT hingegen ist eine über den Basissupport hinausgehende Beratung kostenpflichtig. Zusätzlich zu den teils relativ einfachen Supportangeboten wurden für fast alle Rechner Benutzerhandbücher, Anleitungen oder Informationsbroschüren entwickelt, die entweder online zugänglich (OVERSEER, COMET, FEGGEC) sind oder heruntergeladen werden können, im Programm selbst integriert (DGAS, GAF) oder auf Nachfrage erhältlich sind (HOLOS). Bisher sind diese allerdings oft noch nicht ausführlich genug, um Funktionsweise und zugrunde gelegte Informationen detailliert nachvollziehen zu können (Ausnahme: HOLOS). Aus diesem Grund sind einige Entwickler momentan mit der Erstellung detaillierterer methodischer Leitlinien und Anleitungen beschäftigt (CFT, COMET, OVERSEER).

Weiterhin wurden die Entwickler gebeten, ihren Rechner hinsichtlich seiner Komplexität in der Anwendung und dem benötigten Zeitaufwand auf einer Skala von 1 bis 4 einzuordnen. Die Ergebnisse der Selbsteinschätzung sind in Tabelle 3 zu finden. Etwas mehr als die Hälfte der Rechner wurde hierbei als relativ leicht und „ohne Vorkenntnisse anwendbar“ (1) eingestuft. Ausnahme ist das ACCT, welches laut den Entwicklern als so komplex gilt, dass eine Schulung benötigt wird.

Der für eine Analyse benötigte Zeitaufwand wird größtenteils mit „Dauer weniger als 1 Tag“ bewertet. Fast genauso viele Rechner werden allerdings auch als relativ komplex in der Anwendung eingestuft (Stufe 3), wobei der benötigte Zeitaufwand dabei nicht unbedingt als viel größer eingeschätzt wird. Bei der Betrachtung der Tabelle muss jedoch beachtet werden, dass es sich um Selbsteinschätzungen durch verschiedene Entwickler handelt, die somit nicht unbedingt mit einander vergleichbar sind.

Tabelle 3

Selbsteinschätzung der Entwickler hinsichtlich Zeitaufwand und Komplexität in der Anwendung. 1 = ohne große Vorkenntnisse anwendbar, Dauer weniger als 1 Tag; 4 = Schulung nötig, Dauer mehr als 1 Monat.

Rechner	Komplexität in der Anwendung	Zeitaufwand
ACCT	4	2
COMET	1	1
CFT	3	2
DGAS	1	1
Dia'terre	2	2
FarmGAS	3	1
FEGGEC	1	
GAF	1	1
JRC CC	3	2
HOLOS	1;2*	1;2*
OVERSEER	3	2

* Unterscheidung zwischen „Standard“ und „Research Stream“.

3.4 Stärken und Schwächen der THG-Rechner

Im zweiten Teil des Fragebogens wurden die Entwickler um eine Selbsteinschätzung zu Stärken und Schwächen ihrer Rechner gebeten (Tabelle 4). In den meisten Fällen wurden mehr positive als negative Aspekte genannt.

Fast alle Entwickler schätzten ihre Rechner als relativ einfach in der Handhabung ein und bewerteten dies positiv. Häufiger wurden auch Transparenz und Flexibilität der Rechner als Stärken hervorgehoben. Als Schwächen wurden ein geringer Detailgrad und das Fehlen von Minderungsoptionen für Simulations- oder Planungsrechnungen genannt.

3.5 Verwendung der Rechner

Bei den meisten Rechnern wird die Häufigkeit der Anwendung bisher nicht richtig oder gar nicht erfasst. Dies ist vor allem bei den Rechnern der Fall, die auch ohne Internetverbindung verwendet werden können. Aber auch einige Online-Rechner können ohne Registrierung verwendet werden. Aus diesen Gründen handelt es sich bei den meisten Angaben in Tabelle 5 um Schätzungen. Im Fall des JRC CC und dem ACCT handelt es sich um Fallstudien, die im Rahmen des Projektes zur Entwicklung der Rechner durchgeführt wurden. Die Anzahl von Betriebsbilanzierungen durch externe Nutzer wird nicht erfasst. Lediglich die Anzahl der Downloads des JRC CC kann als Indikator dienen. Die Werte in Tabelle 5 lassen sich nur schwer vergleichen, da unterschiedliche Einheiten verwendet wurden. Hieraus kann nur schwer abgeleitet werden, wie viele Betriebe bilanziert wurden. Dennoch kann man aus der Liste erkennen, dass die meisten Rechner für mindestens 100 Studien verwendet wurden. Das CFT sticht mit über 10.000 bilanzierten Betrieben besonders hervor. Zusätzlich sind für die erst kürzlich verfügbare und kostenpflichtige Onlineversion bereits 860 Nutzer registriert worden.

Tabelle 4

Zusammenfassung der Stärken und Schwächen der THG-Rechner (Selbsteinschätzung durch Entwickler). In der Tabelle werden die Rechner nicht allen ihren Stärken und Schwächen zugeordnet, es handelt sich um Beispiele.

Stärken	Rechnerbeispiele
Flexibilität	ACCT
• Anpassbar (Emissionsfaktoren/ Koeffizienten)	Dia'terre, HOLOS, CFT
• Darstellung der Ergebnisse	HOLOS, CFT
• Wahl des Ansatzes (z. B. Betrieb od. Produkt)	JRC CC
Robustheit*)	COMET, CFT
Transparenz	DGAS, GAF, HOLOS, CFT
Einfache Handhabung	COMET, CFT, DGAS, FEGGEC, GAF, HOLOS
• Navigation	JRC CC
• Leicht verfügbare Input-Parameter	OVERSEER
• Viele Sprachen	ACCT, HOLOS
• automatische Datenüberprüfung	JRC CC
• Gute Dokumentation	JRC CC, HOLOS
Aktualität (neueste wissenschaftliche Erkenntnisse)	COMET, CFT, OVERSEER
Hoher Detailgrad	JRC CC, HOLOS
Räumlich explizit, (zumindest. für Lachgasberechnungen)	COMET (HOLOS)
Hohe Vollständigkeit (u. große geographische Abdeckung)	OVERSEER, (ACCT), CFT
Kostenlos	JRC CC, HOLOS, CFT
Minderungsoptionen eingebunden	JRC CC, CFT, DGAS
Konformität mit Nationalen THG-Inventaren	FarmGAS
Unterstützung durch Industrie	CFT
Eigenständiges Tool - keine Internetverbindung nötig	GAF, DGAS
Online verfügbar - Daten online speicherbar	FarmGAS, CFT
Datenbankaufbau	Dia'terre

Schwächen	Rechner
(Noch) keine/begrenzte Anzahl Minderungsoptionen	ACCT, JRC CC, GAF
keine Datenbanken	JRC CC
Fokus nicht auf THG-Emissionen	OVERSEER
Geringer Detailgrad	
• Methode zur Änderung der C-Speicher ungenau	JRC CC
• Nur bestimmte Untersektoren/keine spezialisierten Bereiche	FarmGAS, Dia'terre
• Geringe geografische Abdeckung	FEGGEC
Kalibrierung nur auf kleiner Anzahl von Versuchsflächen	OVERSEER
Excel unzuverlässig (stürzt ab)	JRC CC
Frequenz der Nutzung kann nicht erfasst werden	DGAS
Hohe Komplexität	ACCT
• Dokumentation/Beschreibung nicht ausreichend	ACCT
• Nur in Englisch	JRC CC
• Zu viele Daten benötigt	JRC CC, COMET
Nicht offline verfügbar	FarmGAS

*) Robustheit: Die Rechner sind relativ unempfindlich gegenüber einer Veränderung von Variablen oder Anwendungsvoraussetzungen. Sie produzieren unter variierenden Bedingungen zuverlässige Ergebnisse.

Tabelle 5

Häufigkeit der Verwendung der THG-Rechner.

Rechner	Anzahl	Einheit
ACCT	120 50*	Betriebe Nutzer
JRC	100-153 weitere 260*	Betriebe Downloads
CFT Online	860*	Registr. Nutzer
CFT Excel	über 10000	Betriebe
DGAS	60 200	Berater Fallstudien
Dia'terre	2700* 550*	Beurteilungen (ab 2010) Berater
FarmGas	>2000 seit 2009	Registr. Nutzer
GAF	170 500	Berater Fallstudien

* Updates vom März 2015

Eine detaillierte Erfassung der Nutzerdaten wird in vielen Fällen aus Gründen des Datenschutzes nicht durchgeführt (z. B. COMET, HOLOS). Einige Rechner garantieren vollständige Anonymität und schließen eine Datennutzung aus, um ein größeres Vertrauen der Nutzer aufzubauen. So haben sieben der untersuchten Rechner gar keinen Zugang zu Daten und drei können lediglich auf Daten aus eigenen Analysen zugreifen. Die Ausnahme bildet der Dia'terre-Rechner. Hier ist die Nutzung der Daten explizit gewollt und es wird eine Datenbank für Analysezwecke aufgebaut. Ähnliche Datenbanken sind für die Zukunft auch für die Rechner DGAS und CFT geplant.

3.6 Geplante Weiterentwicklungen

Für die Mehrheit der untersuchten THG-Rechner sind zumindest langfristig Weiterentwicklungen geplant. Lediglich das ACCT soll nicht weiterentwickelt werden. An seine Stelle tritt jedoch der JRC CC, der größtenteils auf dem ACCT aufbaut. Hier sind, wie auch beim FarmGAS-Rechner, kurzfristig keine Weiterentwicklungen geplant. Langfristig soll der FarmGAS-Rechner jedoch so ergänzt werden (z. B. Miteinbeziehen von energiebedingten Emissionen), dass Ökobilanzierungen auf Betriebsebene durchgeführt werden können. Zusätzlich soll der Rechner im Fall möglicher methodische Änderungen bei der nationalen THG-Berichterstattung dahingehend aktualisiert werden. Ähnliche Aktualisierungen und Verbesserungen sind auch für die anderen Rechner (Ausnahme: ACCT) geplant. Weiterhin gibt es Pläne, die geographische Abdeckung einzelner Rechner auszuweiten, zusätzliche Indikatoren und auch ökonomische Bewertungsmodule (z. B. Dia'terre) zu integrieren und mögliche Minderungsoptionen einzubauen (z. B. DGAS) bzw. zu erweitern. So soll der COMET-Rechner zusätzlich zu den USA auch Brasilien, Australien und die EU abdecken können. HOLOS soll in Zukunft auch Ammoniakemissionen abbilden und Energie- und Wasser-Footprints erstellen können und eine ökonomische Bewertung

erlauben. Für das CFT ist eine große Menge an Weiterentwicklungen und Verbesserungen geplant. So soll neben dem Wasser-Footprint auch ein Biodiversitäts-Footprint ermöglicht, zusätzliche Allokationsansätze zur Verfügung gestellt und der Support mehrsprachig werden. Ferner ist geplant, Daten auch Offline zu sammeln und eine Mobiltelefon-Applikation zu entwickeln.

3.7 Anwendungshemmnisse und künftige Nutzungsperspektiven

Durch die Befragung der Entwickler konnten folgende Hemmnisse für die Anwendung von THG-Rechnern identifiziert werden. Häufiger wurden hierbei genannt:

- Unsicherheiten in Messwerten und Ergebnissen
- Zu hohe Komplexität des Rechners
- Zu hoher zeitlicher Aufwand für eine Analyse
- Geringe Datenqualität/-quantität
- Mangelnde Transparenz
- Fehlende Anreize (z. B. kommerzielle Relevanz, betrieblicher Nutzen)

Unter anderem wurde erwähnt, dass die Anwendung von THG-Rechnern nur der erste Schritt ist und dass das eigentliche Ziel, die Implementierung von Maßnahmen, nur mit Hilfe von Beratern erreicht werden kann. Wichtig ist auch, inwieweit sich der Landwirt mit dem THG-Rechner identifizieren kann und ob der Rechner eine möglichst detailgetreue Abbildung der jeweiligen betrieblichen Verhältnisse zulässt. Zusätzlich wurde darauf hingewiesen, dass einfache Rechner meist Schwächen bei der Quantifizierung der THG-Emissionen aufweisen.

Trotz der Hemmnisse werden die Perspektiven von THG-Rechnern allgemein recht positiv beurteilt und es wurde ihnen ein hohes Potenzial bestätigt. Auch wurde festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit der Rechner immer mehr zunimmt und ihre Verwendung sich auch in Zukunft noch weiter verbreiten wird. Hierbei wurde aber auch die Ansicht vertreten, dass sich die Nachfrage von reinen THG-Rechnern weg in Richtung zu Mehrindikatoren-Systemen bewegt (z. B. durch Integration von anderen Umweltwirkungen). Zusätzlich werden auch ökonomische Bewertungsindikatoren zur Abschätzung der Kosten wichtiger. Ein mögliches Anwendungsfeld von THG-Rechnern (des JRC CC im Speziellen) könnte entstehen, wenn EU-Zweite-Säule-Subventionen verpflichtend an eine THG-Betriebsbilanzierung geknüpft würden. Als künftige Herausforderungen wurde die Entwicklung eines einheitlichen methodischen Ansatzes zur Abschätzung der THG-Emissionen mit dem Ziel, die Vergleichbarkeit von Ergebnissen zu verbessern, genannt.

4 Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es, einen internationalen Überblick über THG-Rechner zu geben, wichtige Eigenschaften und zukünftige Perspektiven zu beleuchten. Trotz der Fokussierung auf

eine kleine Gruppe von relativ ähnlichen Rechnern (Kriterien s. Kapitel „Material und Methoden“), wurden auch bei der hier durchgeführten Analyse teilweise große Unterschiede gefunden. Dies lässt sich unter anderem auf unterschiedliche Schwerpunkte bei Zielsetzung (Bewusstsein schaffen, detaillierte Emissionsquantifizierung, Szenarioanalysen, Footprint-Berechnungen etc.) und Zielgruppen (Landwirte, Berater, Wissenschaftler etc.) zurückführen. Neben den methodischen Variationen gab es auch deutliche Unterschiede bei der technischen Umsetzung der Rechner (z. B. web- oder excelbasierte Rechner) und damit auch bei der Anwenderfreundlichkeit. Die große Anzahl an verschiedenen THG-Rechnern, die weltweit identifiziert werden konnten, deutet darauf hin, dass großes Interesse an Werkzeugen zur Bilanzierung und Beurteilung von THG-Emissionen im Agrarsektor besteht. Durch die Vielzahl an Rechnern entsteht eine Konkurrenz zwischen ihnen (Colomb et al., 2013), welche weitere Forschung in diesem Bereich fördert und eine Weiterentwicklung und Verbesserung der Rechner vorantreibt. Gleichzeitig ermöglicht die Vielfältigkeit der Methoden und Konzepte den Missbrauch von Rechnern (Whittaker et al., 2013). Da die Ergebnisse der Rechner teilweise sehr stark voneinander abweichen, können Anwender die Rechner verwenden, die für sie attraktivsten Ergebnisse produzieren. Dies schränkt die Verwendbarkeit von solchen Rechnern für Vergleichszwecke stark ein und stellt ihre Glaubwürdigkeit in Frage.

4.1 Wichtige Eigenschaften von THG-Rechnern

Auf Basis der Befragungsergebnisse konnten mehrere wichtige Kriterien und positive Eigenschaften von THG-Rechnern abgeleitet werden. Hierzu wurden neben dem ersten Teil des Fragebogens auch die Antworten des zweiten Teils insbesondere zu Stärken und Schwächen, Hemmnissen und geplanten Weiterentwicklungen zugrunde gelegt. Auch wenn sich die Fragen teilweise auf einen spezifischen THG-Rechner bezogen haben, so können aus den Antworten generelle Rückschlüsse gezogen werden, welche Eigenschaften von THG-Rechnern durch die Entwickler allgemein als wichtig bzw. als positiv oder negativ bewertet werden.

Bei der Entwicklung oder Bewertung von THG-Rechnern kommt in erster Linie den Zielvorgaben und der Zielgruppe eine zentrale Bedeutung zu. Je nachdem, welchen Zweck ein Rechner erfüllen soll, kann jeweils eine andere Ausprägung der verschiedenen Kriterien sinnvoll sein. Geht es um Bewusstseins-schaffung, können einfachere Methoden verwendet werden, die lediglich Emissionshotspots identifizieren, aber gleichzeitig sehr anwenderfreundlich sind. Soll jedoch ein Rechner für wissenschaftliche Zwecke entwickelt werden, ist es wichtig, die einzelnen Quellen und Prozesse möglichst exakt abzubilden. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, zunächst Ziel und Zielgruppe zu definieren, welche bei der weiteren Entwicklung des Rechners als Orientierung dienen.

Aus der Analyse der Stärken und Schwächen geht hervor, dass die Rechner vor allem einfach zu handhaben und in der Anwendung nicht zu komplex sein sollten. Dies spiegelt sich

ebenfalls in der von Whittaker et al. (2013) formulierten Zieldefinition von THG-Rechnern wider, in der diese als „**benutzerfreundliche** Schnittstelle zwischen Eingangsdaten und THG-Wirkungsindikatoren“ definiert werden. Trotzdem sollten THG-Rechner einen Großteil der beteiligten THG-Quellen und -Prozesse möglichst detailliert abbilden und robuste Ergebnisse produzieren. Ein wichtiges Kriterium, welches die Ergebnisse der THG-Rechner stark beeinflusst, ist die Wahl des methodischen Ansatzes. Methodische Unterschiede zwischen den Rechnern erschweren einen Vergleich der Ergebnisse der Rechner (Colomb et al., 2012). Whittaker et al. (2013) identifizierten in ihrer Studie die Emissionen aus Landnutzungsänderungen als größte Quelle für Variationen in den Ergebnissen, die allerdings bei vielen Rechnern nicht miteinbezogen werden. An zweiter Stelle stehen die N_2O -Emissionen aus Boden und der Düngerherstellung. Weiterhin konnten Whittaker et al. (2013) bestätigen, dass die Ergebnisse der THG-Bilanzierungen stark von Ziel und Rahmen der Rechner, den Systemgrenzen sowie den verwendeten Emissionsfaktoren abhängen. Bei produktbezogenen Rechnern kann die Wahl des Allokationsansatzes für die Ergebnisse von entscheidender Bedeutung sein (Grünberg et al., 2010; Schmidt, 2010).

Auch eine hohe Flexibilität (z. B. Anpassung von Emissionsfaktoren und anderer Parameter) und Möglichkeiten zur Anpassung der Rechner an die betriebsspezifischen Gegebenheiten werden als positiv angesehen. Eine hohe Flexibilität trägt jedoch zu einer geringeren Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander bei. Zusätzlich können Flexibilität und ein hoher Detailgrad die Handhabung der Rechner erschweren. Hierbei muss deswegen basierend auf den Zielvorgaben des Rechners genau abgewogen werden, welche Kompromisse eingegangen werden können.

Fehlende Transparenz und mangelnde Aktualität hingegen wurden als Hemmnisse identifiziert, die das Vertrauen gegenüber den THG-Rechnern einschränken können. Eine gute Dokumentation vor allem auch der methodischen Aspekte und kontinuierliche Aktualisierungen sowie die Integration neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse können dem entgegen wirken. Mehrfach wurden auch Module zur Empfehlung und ggf. Bewertung von Minderungsoptionen als eine positive Eigenschaft erwähnt. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass wie auch bei der Berechnung der THG-Emissionen je nach Rechner teilweise sehr unterschiedliche Minderungsoptionen vorgeschlagen werden (Lewis et al., 2013). Bei manchen Rechnern liegen der Empfehlung von Minderungsmaßnahmen teilweise sehr aufwändige Analysen zugrunde, bei anderen werden nur unspezifische Empfehlungen gemacht. Gerade bei letzteren besteht die Gefahr, dass bezogen auf einen bestimmten Betrieb suboptimale Minderungsoptionen vorgeschlagen werden, die diesem im schlimmsten Fall sogar schaden können. Aus diesem Grund ist es wichtig, bei der Empfehlung von Minderungsmaßnahmen auch die Kostenwirksamkeit der einzelnen Maßnahmen und die spezielle Situation auf dem jeweiligen Betrieb zu berücksichtigen. Weniger spezifische Empfehlungen können einen wichtigen Beitrag zur Bewusstseins-schaffung leisten und den Anwendern helfen,

grundlegende Zusammenhänge besser zu verstehen. Für die konkrete Gestaltung von Minderungsstrategien auf dem Betrieb sollten jedoch spezifische Analysen – ggf. durch Berater – durchgeführt werden. Hierfür können auch die detaillierteren Szenarien-Rechner verwendet werden. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, sollte in der Beschreibung der Rechner explizit auf Unsicherheiten bei der Empfehlung von Minderungsoptionen hingewiesen werden. Generell ist die Empfehlung und Bewertung von Minderungsoptionen sinnvoll, da die meisten Rechner das Ziel verfolgen, eine informierte Entscheidungsfindung zu unterstützen und letztlich zur Reduktion von THG-Emissionen beizutragen.

Als weitere positive Eigenschaften von THG-Rechnern wurden z. B. die kostenlose Bereitstellung der Rechner, die Konsistenz zu nationalen THG-Inventaren und ökonomische Bewertungsmodule vereinzelt genannt. Lediglich der Onlinezugang im Zusammenhang mit THG-Rechnern wurde unterschiedlich bewertet. Während die Entwickler von FarmGAS den Online-Zugang und die Möglichkeit, Daten online zu speichern, als positiv empfanden, beschrieben die Entwickler von DGAS und GAF die Eigenständigkeit und Unabhängigkeit des Rechners vom Internet als Stärke. Hier kommt es vermutlich auf das jeweilige Ziel an. Ein Rechner, der unabhängig vom Internet funktioniert, ist in Gegenden mit einer schlechten Internetanbindung oder bei der Anwendung direkt auf dem Feld eher von Vorteil. Andererseits kann auf webbasierte Rechner und online hinterlegte Daten leichter von überall aus zugegriffen werden und Programme werden automatisch aktualisiert. Die Onlinedatenspeicherung kann sich allerdings auch negativ auf das Vertrauen von Anwendern auswirken, wenn diese eine Einschränkung der Datensicherheit vermuten. Trotzdem haben sich mehrere Entwickler positiv zur Verwendung von Daten zu Analyse-zwecken und Datenbankaufbau geäußert. Auf diese Weise könnten große Datenmengen u. a. für Ökobilanzdatenbanken gewonnen werden. Es wäre möglich, Betriebe oder Produkte untereinander zu vergleichen, und gleichzeitig könnte sich die Dateneingabe der Anwender erleichtern, wenn bestimmte Daten schon im System erfasst sind. Dies wurde jedoch bisher nur bei Dia'terre umgesetzt, da einige Entwickler einen Vertrauensverlust seitens der Anwender befürchten. Zusätzlich ist es v. a. bei excelbasierten Rechnern bisher nicht möglich, umfassenden Zugang zu den Daten zu bekommen, da die Entwickler nach dem Herunterladen keine Kontrolle mehr über die Rechner haben. Für einige Rechner wird jedoch geplant, ähnliche Datenbanken aufzubauen (DGAS, CFT).

4.2 Perspektiven und Herausforderungen

Im Großen und Ganzen wurden die Perspektiven der THG-Rechner allgemein als positiv eingeschätzt. Ihnen wird ein großes Potenzial eingeräumt und sie werden immer leistungsfähiger. Einige Entwickler beobachten und befürworten momentan jedoch einen Trend weg von den THG-Rechnern in Richtung von Multi-Indikatoren-Systemen. Es wird immer wichtiger, auch andere Indikatoren bei der

Bewertung der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion mit einzubeziehen. So ist für mehrere THG-Rechner eine Weiterentwicklung in Richtung von Wasser- und Biodiversitätsfußabdrücken sowie Energie- und Nährstoffbilanzierungsmodulen geplant. Auch der Einbezug von ökonomischen Indikatoren wird bei der Bewertung von Maßnahmen immer wichtiger.

Bei der Bewertung von Maßnahmen hinsichtlich ihrer Treibhausgaswirkung sollten möglichst auch Nebeneffekte und Wirkungen auf andere Schutzziele mit betrachtet werden. Werden die THG-Rechner jedoch um zusätzliche Wirkungskategorien erweitert, erhöht dies die Komplexität und wirkt sich somit negativ auf die Anwenderfreundlichkeit der Rechner aus. Es werden größere Datenmengen und ggf. mehr Zeit für die Analysen benötigt. Beim Kompromiss zwischen Anwenderfreundlichkeit und detaillierter Abbildung der Umweltbelastungen müssen so wahrscheinlich Abstriche gemacht werden. Bei einem weiter vereinfachten methodischen Ansatz steigt die Gefahr, dass Anwender in ihren Entscheidungen fehlgeleitet werden können (Finkbeiner, 2009). Andererseits könnten mit Hilfe von Mehrindikatoren-Systemen Problemverlagerungen und daraus resultierende Zielkonflikte besser identifiziert, quantifiziert und soweit möglich vermieden werden. Um diesen Problemen beizukommen, wäre ggf. die Entwicklung eines modular aufgebauten Rechners sinnvoll. Je nach Bedarf könnten unterschiedliche Module aktiviert oder deaktiviert werden. Allerdings würde dadurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse weiter eingeschränkt.

Eine geringe Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist ohnehin ein großes Problem, da sie u. a. das Vertrauen in die Rechner reduziert und zu Missbrauch führen kann. Eine große Herausforderung ist demnach die Harmonisierung von Methoden. Existierende Vorgaben und Richtlinien wie die des IPCC, der ISO-Normen 14044, 14040, 14067 oder des PAS 2050 geben zwar einen Rahmen vor, sind bisher aber nicht ausreichend, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Eine zusätzliche Herausforderung stellt die Parallelentwicklung von Aktivitäten und Vorgaben zur Bewertung von Biokraftstoffen im Zusammenhang mit der Erneuerbaren-Energien-Direktive der Europäischen Union dar. Laut Richtlinie 2009/28/EG (Europäische Union, 2009) muss die Emissionsminderung durch Biokraftstoffe mindestens 35 % betragen, ab dem Jahr 2017 mindestens 50 %. Um dies umsetzen und überprüfen zu können, wurden konkrete Standards und Bilanzierungsmethoden gesetzlich festgelegt, die möglicherweise zu künftigen Kompatibilitätsproblemen führen können. Da die Politik stabile und verlässliche Grundlagen benötigt, ist es schwer, diese gesetzlich festgelegten Methoden anzupassen.

Eine komplette Harmonisierung der Methoden für THG-Rechner wird nicht zu erreichen sein und wäre auch nicht immer sinnvoll. Je nach Zielsetzung müssen Kompromisse gemacht werden und somit sind möglicherweise verschiedene methodische Ansätze in verschiedenen Situationen unterschiedlich gut geeignet. Wird jedoch eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse angestrebt, müssen einheitliche Vorgaben und harmonisierte Methoden angewendet werden.

Derzeit ist die EU im Rahmen der Etablierung eines „Single Market for Green Products“ damit beschäftigt, solche methodischen Vorgaben für die Messung der Umweltwirkung von Produkten zu entwickeln. Hierbei handelt es sich um den Product Environmental Footprint (PEF) und den Organisation Environmental Footprint (OEF) (EU Kommission, 2014). Das Ziel ist die Erfassung der Umweltwirkung verschiedener Produkte oder Organisationen, ihre Kennzeichnung und die vergleichende Bewertung (Benchmarking) untereinander. Der „Single Market for Green Products“ soll den Marktzugang für „grüne“ Produkte erleichtern und die Anforderungen der verschiedenen europäischen Märkte angleichen. Auf diese Weise sollen Kosten gespart und Mehrfach-Zertifizierungen vermieden werden. Auch soll der Environmental Footprint das Vertrauen der Verbraucher in die Produkte stärken. Beide Methoden werden in einer dreijährigen Pilotphase mit freiwilligen Teilnehmern getestet.

Ein ähnliches Projekt, das sogenannte „Environmental Assessment of Food and Drink (ENVIFOOD) Protocol“, wurde nach vierjähriger Entwicklungsphase durch den „European Food Sustainable Consumption and Production (SCP) Round Table“ veröffentlicht (Food SCP RT, 2013). Das ENVIFOOD Protocol beinhaltet spezifische und harmonisierte methodische Leitlinien für die Bewertung der Umweltwirkungen von Nahrungs- und Futtermitteln über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Es zielt darauf ab, eine wissenschaftlich verlässliche und konsistente Beurteilung der Produkte sicherzustellen und Konsumenten eine informierte Wahl zu ermöglichen. Die beschriebene Methodik baut sowohl auf globalen (ISO-Normen) als auch auf EU-Standards (PEF Guidance) auf. 2013/14 wurden bereits einige Pilotstudien durchgeführt.

Aber auch eine Harmonisierung der Methoden kann die Verwendung von THG-Rechnern nicht fördern, solange keine Anreize für Landwirte/Berater bestehen, die den Aufwand der Anwendung eines THG-Rechners rechtfertigen. Tuomisto et al. (2013) kamen in ihrer Studie zur Zertifizierung von kohlenstoffarmen landwirtschaftlichen Praktiken zu dem Schluss, dass Landwirte den JRC CC oder ähnliche Bewertungsprogramme nur nutzen, wenn es dafür finanzielle Anreize geben würde. Im Zuge ihrer Untersuchungen identifizierten sie drei mögliche Wege, die Anwendung des JRC CC und die Aufnahme von Minderungsoptionen zu fördern. Zunächst könnten regulative Instrumente eingesetzt werden (z. B. eine verpflichtende Anwendung im Rahmen von GAP Cross Compliance), staatlich geförderte freiwillige Anreizsysteme entwickelt werden (z. B. auch über GAP-zweite-Säule Förderung) oder Zertifizierungs- und Versicherungssysteme eingeführt werden. Auch eine Kombination zwischen einzelnen Ansätzen wäre möglich. Eine regulative Steuerung würde wahrscheinlich eine hohe Beteiligung und flächendeckende Anwendung des THG-Rechners zur Folge haben, allerdings wäre die Akzeptanz bei den Landwirten recht niedrig. Die Autoren befürchten, dass politisch festgesetzte Grenzwerte oder Ziele deshalb zu niedrig angesetzt werden könnten und kaum zu einer realen Verbesserung der THG-Situation beitragen (Tuomisto et al., 2013). Die zweite Alternative würde die Betroffenen wahrscheinlich

motivieren, THG-Rechner zu verwenden, wirkliche Problemfälle würden aufgrund der freiwilligen Teilnahme aber ggf. nicht erreicht werden. Weiterhin würden dann zusätzliche finanzielle Mittel benötigt. Bei der dritten Option müssen THG-Rechner verpflichtend eingesetzt werden, um an bestimmten Zertifizierungssystemen teilnehmen zu können. Auf diese Weise können Betriebe Wettbewerbsvorteile z. B. durch verbessertes Marketing oder den Vergleich untereinander (Benchmarking) oder einen verbesserten Zugang zu speziellen Märkten erlangen (Tuomisto et al., 2013). Gleichzeitig kann die Zertifizierung zur Bewusstseinsbildung bei Konsumenten beitragen. Der Erfolg von Zertifizierungssystemen hängt jedoch auch davon ab, ob es einen Markt für zertifizierte Produkte gibt. Die Vielzahl an mehr oder weniger vertrauenswürdigen Labels und Zertifizierungssystemen trägt momentan zu einer Verunsicherung der Konsumenten bei (Tuomisto et al., 2013). Auch wenn die Wirksamkeit von Umweltlabels umstritten ist, werden im Folgenden drei Labelling-Initiativen vorgestellt, deren Beispiele sich zukünftig auch auf die deutsche Landwirtschaft ausweiten könnten.

Hierbei handelt es sich zunächst um das Carbon Reduction Label des Carbon Trust (UK), welches 2007 durch den Carbon Trust (UK) eingeführt wurde (Carbon Trust, 2014b). Das Label wurde im Zeitraum 2011 bis 2012 an insgesamt 21.000 Produkte und Bestandseinheiten im Wert von circa 3 Mrd. £ vergeben. Diese hohe Marktabdeckung ist unter anderem auf die starke Beteiligung eines der weltgrößten Einzelhandelsunternehmen, Tesco, zurückzuführen. Dieses entschied sich 2012 jedoch dazu, aus dem Carbon Labelling auszustiegen. Als Gründe wurden vor allem eine geringe Beteiligung anderer Unternehmen und der hohe Aufwand für die Kennzeichnung der Produkte genannt (Iied, 2013). Das Unternehmen will jedoch weiterhin an seinem Reduktionsvorhaben festhalten. Emissionen sollen sowohl auf der Ebene der Lagerung und Verteilung der Produkte als auch auf Ebene der Zulieferer und Verbraucher reduziert werden (Carbon Trust, 2014a). Bisher haben die Aktivitäten zwar noch keine direkten Auswirkungen auf landwirtschaftliche Betriebe, aber Tescos Anstrengungen zur Reduktion von THG-Emissionen entlang der Lieferkette könnten sich in Zukunft möglicherweise auch auf landwirtschaftliche Betriebe ausweiten. Wenn nicht direkt, könnten durch bereits betroffene Zwischenhändler indirekte Anreize entstehen. Ähnliche von der Industrie ausgehende Initiativen sind künftig auch in Deutschland denkbar.

Im Fall der schwedisch-dänischen Molkereigenossenschaft Arla sind milchproduzierende Betriebe bereits direkt betroffen. Mit dem Ziel, die Entwicklung der THG-Emissionen pro kg Rohmilch besser zu ermitteln, wurde für Arla ein Carbon-Footprint-Modell „Wiege bis Hoftor“ entwickelt, mit dem THG-Emissionen auf Betriebs-, nationaler und genossenschaftlicher Ebene auch über mehrere Länder hinweg verfolgt und berechnet werden können (Daalgard und Schmidt, 2012; Schmidt und Daalgard, 2012). Auf diese Weise können Ergebnisse innerhalb und zwischen verschiedenen Märkten und auch Betrieben verglichen werden.

Während die meisten Labelling-Initiativen nur eine begrenzte Anzahl von Unternehmen und Produkten

abdecken, soll die französische „Affichage environnemental“ generell für alle Produkte in Frankreich verpflichtend angewendet werden (MEDDE, 2013). Dies betrifft auch importierte Waren. Die „Affichage environnemental“ basiert hierbei auf den Vorgaben des neuen Umweltschutzgesetzes „Grenelle 2“, in dem festgelegt wurde, dass Verbraucher ein Recht auf Informationen zur Umweltwirkung der verschiedenen Produkte haben. Die großflächige Kennzeichnung von Produkten soll dieses Recht umsetzen und Verbraucher aufklären. Ihnen sollen vertrauenswürdige Informationen zur Verfügung gestellt werden, um Produkte vergleichen zu können und informierte Entscheidungen zu treffen (Vergez, 2012). Insgesamt sollen drei bis sechs Indikatoren verwendet werden. Für landwirtschaftliche Produkte werden Umweltwirkungen auf Wasser, THG-Emissionen und Biodiversität angegeben. Zur Unterstützung des Vorhabens wurde 2011 eine einjährige Pilotphase durchgeführt. Ein produktübergreifendes, nationales Labelling wird jedoch frühestens 2016 umgesetzt werden. Hierfür sind neben der Zustimmung des Parlaments und des obersten französischen Verwaltungsgerichts (Conseil d'Etat) auch eine Notifizierung durch EU und WTO nötig (MEDDE, 2013). Auch hier sind landwirtschaftliche Betriebe zunächst wahrscheinlich nicht direkt betroffen, sondern eher das verarbeitende Gewerbe. Für die Kennzeichnung ihrer Produkte können diese auf Ökobilanzwerte der Agribalyse-Datenbank zurückgreifen, um die Belastung durch die landwirtschaftliche Produktion anhand von Standardwerten einzubeziehen.

Geht es lediglich um die einzelbetriebliche Beratung und die Aufnahme von Minderungsoptionen, würde es ggf. ausreichen, einfachere Indikatoren zur Bewertung der Anwendbarkeit und Wirksamkeit von Maßnahmen zu verwenden. Unabhängig von den genauen THG-Emissionen der Betriebe sind oft dieselben Maßnahmen zu empfehlen. Aus oben genannten Beispielen lassen sich jedoch drei mögliche Szenarien ableiten, in denen ein flächendeckender Einsatz eines THG-Rechners in Deutschland sinnvoll oder sogar nötig wäre. So könnten, wie oben beschrieben, Zahlungen im Rahmen der EU GAP künftig an eine Bilanzierung durch THG-Rechner gebunden werden. Hierbei würde wahrscheinlich aber ein einheitlicher Rechner auf EU-Ebene vorgegeben werden (z. B. der JRC CC). In einem zweiten Szenario könnte die Kennzeichnung von Produkten hinsichtlich ihrer Umweltwirkung nach französischem Beispiel auf nationaler oder auch auf EU-Ebene vorgeschrieben werden. Selbst wenn Deutschland sich nicht direkt an solchen Vorhaben beteiligt, könnten EU-Mitgliedsstaaten (wie z. B. in Frankreich geplant) eine Produktkennzeichnung auch für importierte Produkte verlangen. Wahrscheinlicher ist jedoch ein drittes Szenario, nämlich dass Anreize zur Bilanzierung und Kennzeichnung von Produkten von großen Unternehmen wie z. B. Tesco oder Arla ausgehen. Auch hier müssten jedoch die Vorgaben oder Rechner der jeweiligen Länder oder Unternehmen berücksichtigt werden.

Auch wenn demnach nicht unbedingt ein eigener deutscher THG-Rechner benötigt wird, so ist eine Beschäftigung mit dem Thema dennoch sinnvoll, um auf mögliche zukünftige Entwicklungen vorbereitet zu sein und diese ggf.

beeinflussen zu können. Durch die Entwicklung eines einheitlichen deutschen Rechners oder spezifischen Teilmoduls könnte die Landwirtschaft jedoch eigene, unabhängige und transparente Bilanzierungen durchführen. Auf diese Weise würde sichergestellt, dass reale landwirtschaftliche Betriebe abgebildet werden können und dass bei der Berechnung von produktspezifischen Emissionen nicht nur Durchschnittswerte aus Ökobilanzierungsdatenbanken verwendet werden. Sollte es tatsächlich zu einer Entwicklung eines eigenen THG-Rechners kommen, wäre es sinnvoll, Vertreter aus der Landwirtschaft und ggf. relevante Akteure aus der Industrie einzubeziehen.

5 Schlussfolgerungen

Insgesamt gibt es eine große Vielfalt an THG-Rechnern mit ganz verschiedenen Ansätzen, Zielen und Schwerpunkten. Generell gelten sie als nützliche Werkzeuge und werden stetig weiterentwickelt und verbessert. Bei der Entwicklung solcher Rechner sind viele unterschiedliche Faktoren zu berücksichtigen. Als erstes sollte in diesem Fall das Ziel des Rechners festgelegt werden, um eine optimale Ausrichtung des Rechners zu ermöglichen. Weitere Entscheidungen z. B. zum methodischen Ansatz oder zu Umfang, Detailgrad und Komplexität des Rechners müssen je nach Zielsetzung angepasst werden. Auch wenn THG-Rechnern ein großer Nutzen bestätigt wird, so gibt es bisher nur wenig Anreize, diese auf landwirtschaftlichen Betrieben einzusetzen. Betrachtet man jedoch die Entwicklungen in anderen EU-Mitgliedstaaten, in internationalen Unternehmen oder auf europäischer Ebene, so zeigt sich ein verstärktes Interesse an der Dokumentation von Klimaschutzbestrebungen und der Kennzeichnung von Produkten. Auf diese Weise könnten auch in Deutschland bald vermehrt Anreize für die Verwendung von THG-Rechnern entstehen.

Aus diesen Gründen ist eine Auseinandersetzung mit dem Thema sinnvoll, unabhängig davon, ob ein eigener deutscher THG-Rechner entwickelt werden soll. Ist dies jedoch der Fall, sollte bei der Entwicklung unbedingt auf Erfahrungen bei Entwicklung und Anwendung ähnlicher Rechner aufgebaut werden. Hierbei ist einerseits ein Austausch mit den Entwicklern deutscher Rechensysteme und Modelle (z. B. Repro, KSNL etc.) sinnvoll. Andererseits sind vor allem die Erfahrungen aus anderen Ländern wertvoll, da hier teilweise schon sehr viel länger mit THG-Rechnern gearbeitet wird. Besonders interessant sind zum einen der JRC-CC aufgrund seines EU-Bezugs und das CFT, das laut Whittaker et al. (2013) aufgrund seiner hohen Transparenz und umfassenden Art als einer der besten THG-Rechner gilt. Zusätzlich sollten auch die Bemühungen zur Weiterentwicklung und Harmonisierung des methodischen Rahmens auf internationaler und insbesondere europäischer Ebene genauer verfolgt werden. Gerade im Zuge einer Harmonisierung der Methoden ist ein guter Überblick über den Stand der Entwicklungen weltweit nötig.

Literaturverzeichnis

- Association Bilan Carbone (2010) Bilan Carbone®: companies – local authorities – regions ; methodology guide –version 6.1 - objectives and accounting principles [online]. Zu finden in <http://associationbilancarbone.fr/sites/default/files/guide_methodologique_v6_euk-v.pdf> [zitiert am 01.02.2016]
- ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (2014) L'outil Dia'terre [online]. Zu finden in <<http://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/passer-a-laction/dossier/evaluation-environnementale-agriculture/loutil-diaterre>> [zitiert am 13.01.2016]
- Australian Farm Institute (2015) FarmGAS calculator ST and financial tool [online]. Zu finden in <<http://calculator.farminstitute.org.au/login>> [zitiert am 13.01.2016]
- BSI - British Standard Institute (2008) Guide to PAS 2050 : how to assess the carbon footprint of goods and services [online]. Zu finden in <http://ag-horticulture.tamu.edu/faculty/hall/publications/PAS2050_Guide.pdf> [zitiert am 13.01.2016]
- Carbon Trust (2014a) Tesco : supply chain carbon management [online]. Zu finden in <<http://www.carbontrust.com/our-clients/t/tesco>> [zitiert am 13.01.2016]
- Carbon Trust (2014b) The evolution of product carbon footprinting [online]. Zu finden in <<http://www.carbontrust.com/news/2013/05/the-evolution-of-product-carbon-footprinting>> [zitiert am 13.01.2016]
- Colomb V, Bernoux M, Bockel L, Chotte J-L, Martin S, Martin-Phipps C, Mousset J, Tinlot M, Touchemoulin O (2012) Review of GHG calculators in agriculture and forestry sectors : a guideline for appropriate choice and use of landscape based tools - Version 2.0 [online]. Zu finden in <http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/ADEME/Review_existingGHGtool_VF_UK4.pdf> [zitiert am 13.01.2016]
- Colomb V, Touchemoulin O, Bockel L, Chotte J-L, Martin S, Tinlot M, Bernoux M (2013) Selection of appropriate calculators for landscape-scale greenhouse gas assessment for agriculture and forestry. *Environ Res Lett* 8(1):1-10
- Colorado State University (2015) Agriculture and land use national greenhouse gas inventory software [online]. Zu finden in <http://www.nrel.co-lostate.edu/projects/ALUsoftware/software_description.html> [zitiert am 13.01.2016]
- Daalgard R, Schmidt JH (2012) National and farm level carbon footprint of milk : life cycle inventory for Danish and Swedish milk 2005 at farm gate [online]. Zu finden in <http://lca-net.com/files/Arla-Life_cycle_inventory_report_20120514.pdf> [zitiert am 01.02.2016]
- Denef K, Paustian K, Archibeque S, Biggar S, Pape D (2012) Report of greenhouse gas accounting tools for agriculture and forestry sectors : interim report to USDA under Contract No. GS-23F-8182H [online]. Zu finden in <http://www.usda.gov/oce/climate_change/techguide/Denef_et_al_2012_GHG_Accounting_Tools_v1.pdf> [zitiert am 13.01.2016]
- EU Kommission (2014) Single market for green products initiative [online]. Zu finden in <<http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/index.htm>> [zitiert am 13.01.2016]
- Europäische Union (2009) RICHTLINIE 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG (Text von Bedeutung für den EWR) [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0028>> [zitiert am 14.01.2016]
- Finkbeiner M (2009) Carbon footprinting : opportunities and threats. *Int J LCA* 14(2):91-94
- Food SCP RT - European Food Sustainable Consumption and Production Round Table (2013) ENVIFOOD Protocol : environmental assessment of food and drink protocol [online]. Zu finden in <http://www.food-scp.eu/files/ENVIFOOD_Protocol_Vers_1.0.pdf> [zitiert am 13.01.2016]
- Gac A, Cariolle M, Deltour L, Dollé JB, Espagnol S, Flénet F, Guingand N, Lagadec S, Le Gall A, Lellahi A, Malaval C, Ponchant P, Tailleux A (2011) GES'TIM : des apports pour l'évaluation environnementale des activités agricoles. *Innovations Agronomiques* 17:83-94

- Grünberg J, Nieberg H, Schmidt TG (2010) Treibhausgasbilanzierung von Lebensmitteln (Carbon Footprints) : Überblick und kritische Reflexion. *Landbauforsch* 60(2):53-72
- Hillier J, Walter C, Malin D, Garcia-Suarez T, Mila-i-Canals L, Smith P (2011) A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environ Modelling Software* 26:1070-1078
- iiED - International Institute for Environment and Development (2013) The carbon trust carbon reduction label [online]. Zu finden in <<http://shaping-sustainable-markets.iiED.org/carbon-trust-carbon-reduction-label>> [zitiert am 13.01.2016]
- ISO 14040 (2006) Environmental management : life cycle assessment ; principles and framework. Genf : ISO
- ISO 14044 (2006) Environmental management : life cycle assessment ; requirements and guidelines. Genf : ISO
- ISO 14046 (2014) Environmental management : water footprint ; principles, requirements and guidelines. Genf : ISO
- ISO 14064-1:2006 (2006) Greenhouse gases : part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Genf : ISO
- ISO 14064-2:2006 (2006) Greenhouse gases : part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements. Genf : ISO
- ISO 14064-3:2006 (2006) Greenhouse gases : part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions. Genf : ISO
- Lewis KA, Green A, Warner DG, Tzilivakis J (2013) Carbon accounting tools : are they fit for purpose in the context of arable cropping? *Int J Agric Sustainability* 11(2):159-175
- Little S, Lindeman J, Maclean K, Janzen H (2008) Holos : a tool to estimate and reduce greenhouse gases from farms ; methodology & algorithms for version 1.1.x. Ottawa : Agric Agri-Food Canada, 159 p
- McSwiney CP, Bohm S, Grace PR, Robertson GP (2010) Greenhouse gas emissions calculator for grain and biofuel farming systems. *J Nat Resour Life Sci Educ* 39:125-131
- MEDDE - Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2013) Bilan au parlement de l'expérimentation nationale : affichage environnemental des produits de grande consommation [online]. Zu finden in <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Affichage_environnemental.pdf> [zitiert am 13.01.2016]
- QUT - Queensland University of Technology Brisbane, Institute for Future Environments (2013) Farming enterprise greenhouse gas emissions calculator [online]. Zu finden in <<http://external-apps.qut.edu.au/ife/feg-gec/>> [zitiert am 13.01.2016]
- Rösemann C, Haenel H-D, Dämmgen U, Freibauer A, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Bauer B, Osterburg B (2015) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2013 : report on methods and data (RMD) Submission 2015. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 372 p, Thünen Rep 27, DOI:10.3220/REP_27_2015
- Schmidt JH, Daalgard R (2012) National and farm level carbon footprint of milk : methodology and results for Danish and Swedish milk 2005 at farm gate [online]. Zu finden in <http://lca-net.com/files/Arla-Methodology_report_20120724.pdf> [zitiert am 01.02.2016]
- Schmidt M (2010) Die Allokation in der Ökobilanzierung vor dem Hintergrund der Nutzenmaximierung. In: Feifel S, Walk W, Wursthorn S, Schebek L (eds) *Ökobilanzierung 2009 : Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit* : Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009, Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7.10.2009. Karlsruhe : KIT Scientific Publ, pp 21-38
- Tuomisto HL, Angileri V, De Camillis C, Loudjani P, Pelletier N, Hastrup P, Nisini Scacchiafichi L (2013) Final technical report : certification of low carbon farming practices [online]. Zu finden in <<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-reports-reports/final-technical-report-certification-low-carbon-farming-practices>> [zitiert am 13.01.2016]
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (2015) National inventory submissions 2015 : 2015 annex I Parties GHG Inventory Submissions : Germany, European Union, Common Reporting Format(CRF), Tabellenblatt 'Summary 2' [online]. Zu finden in <http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8812.php> [zitiert am 14.01.2016]
- Vergez A (2012) Display of the environmental footprint of products : French developments in the food sector [online]. Zu finden in <<http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED64EN.pdf>> [zitiert am 14.01.2016]
- Whittaker C, McManus MC, Smith P (2013) A comparison of carbon accounting tools for arable crops in the United Kingdom. *Environ Modelling Software* 46:228-239
- WRI - World Resources Institute (2015) Climate analysis indicators tool (CAIT). CAIT Climate Data Explorer. 2015. Washington, DC: World Resources Institute [online]. Zu finden in <http://cait2.wri.org>. Please Note: CAIT data are derived from several sources. Full citations are available at <<http://cait2.wri.org/faq.html#q07>> [zitiert am 16.12.2015]

Anhang 1: Internationale THG-Rechner

Tabelle 1

Ergebnis der Recherche zu internationalen THG-Rechnern und Begründungen für den Ausschluss einzelner Rechner bei der Befragung.

THG-Rechner	Einbezogen in Befragung	Begründung für Ausschluss von Befragung	Internetadresse
ACCT	ja	berücksichtigt	http://www.agricclimatechange.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=81&lang=en
AgRE Calc ©	nein	nicht frei verfügbar	http://www.sruc.ac.uk/info/120175/farming_for_a_better_climate/1333/agricultural_resource_efficiency_calculator_agre_calc
ALU	nein	Fokus: Berichterstattung auf Quellgruppenbasis	http://www.nrel.colostate.edu/projects/ALUsoftware/

THG-Rechner	Einbezogen in Befragung	Begründung für Ausschluss von Befragung	Internetadresse
Calculateur AFD	nein	THG-Rechner generell für Entwicklungsprojekte	http://www.afd.fr/lang/en/home/projets_afd/changelement_climatique/Liens_utiles_climat/4861736956
Calm	ja	keine Antwort	http://www.calm.cla.org.uk/
CAR	nein	bezieht sich nur auf tierhaltende Betriebe	http://www.climateactionreserve.org/how/protocols/us-livestock/dev/
Carbon Farming Group NZ Calculator	nein	Fokus auf Emissionshandel, sehr einfach	http://www.carbonfarming.org.nz/calculators/
Carbon Trust Footprint Expert	nein	nicht frei zugänglich	http://www.carbontrust.com/software#footprintexpert
CBP Carbon Benefit Project	nein	Fokus auf der Bewertung von Projekten, evtl. eher ein Protokoll?	http://www.unep.org/climatechange/carbon-benefits/
CCT	nein	Forstrechner	http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/2394
CFF Carbon Calculator	ja	keine Antwort	http://www.cffcarboncalculator.org.uk/carboncalc
Climagri	nein	Rechner für die Landschaftsebene	http://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/passer-a-laction/dossier/levaluation-environnementale-agriculture/loutil-climagri
COLE calculators (GCOLE, COLE, COLE-Lite, COLE-EZ)	nein	Forstrechner	http://www.ncasi2.org/COLE/
COMET-VR/ COMET 2.0/ COMET FARM	ja	berücksichtigt	http://cometfarm.nrel.colostate.edu/
Cool Farm Tool	ja	berücksichtigt	http://www.coolfarmtool.org/
C-Plan	nein	detaillierter Rechner, nicht frei zugänglich	http://www.see360.org.uk/calculator.html
CTCC	nein	Forstrechner	http://www.fs.usda.gov/ccrc/tools/cufr-tree-carbon-calculator-ctcc
DGAS	ja	berücksichtigt	http://www.dairyingfortomorrow.com/index.php?id=47
Dia'terre	ja	berücksichtigt	http://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/passer-a-laction/dossier/levaluation-environnementale-agriculture/loutil-dia-terre
DNDC calculator	nein	eher prozess-basiertes Modell	http://www.dndc.sr.unh.edu/
EX-ACT	nein	Fokus auf Entwicklungsprojekte im AFOLU-Sektor	http://www.fao.org/tc/exact/ex-act-home/en/
FarmGAS	ja	berücksichtigt	http://calculator.farminstitute.org.au/login
Farming Enterprise GHG Calculator	ja	berücksichtigt	http://external-apps.qut.edu.au/ife/feggec/
Fieldprint Calculator	nein	Fokus auf Pflanzenbau	https://www.fieldtomarket.org/fieldprint-calculator/
FSGGEC jetzt US Cropland Greenhouse Gas Calculator	ja	keine Antwort	http://surf.kbs.msu.edu/
FullCAM	nein	Fokus auf C-Speicheränderungen	https://www.environment.gov.au/climate-change/greenhouse-gas-measurement/land-sector
FVS-CarbCalc	nein	Forstrechner	http://www.fs.fed.us/fmsc/fvs/
Greenhouse in Agriculture Tools (Grains,Dairy,Beef, Sheep)	ja	berücksichtigt	http://www.greenhouse.unimelb.edu.au/Tools.htm
HGCA (jetzt AHDB) Biofuel GHG Calculator	nein	enger Fokus auf Bioenergieproduktion	http://cereals.ahdb.org.uk/tools/biofuel-greenhouse-gas-calculator.aspx
HOLOS	ja	berücksichtigt	http://www.agr.gc.ca/eng/science-and-innovation/science-publications-and-resources/holos/?id=1349181297838
IFSC	nein	Projekt beendet	https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/13458
International Wine Carbon Calculator	nein	zu enger Fokus auf Weinbau	http://www.wineinstitute.org/ghgprotocol
i-Tree Canopy	nein	bezieht sich auf Bäume	http://www.itreetools.org/canopy/
JRC Carbon Calculator	ja	berücksichtigt	http://www.solagro.org/site/476.html

THG-Rechner	Einbezogen in Befragung	Begründung für Ausschluss von Befragung	Internetadresse
Lincoln Farm Carbon Calculator/ Carbon Calculator for NZ Agriculture and Horticulture	ja	keine Antwort	
MANURE	nein	bezieht sich nur auf tierhaltende Betriebe	http://app6.erg.com/manure/index.cfm
NDFU	nein	Rechner zur Ermittlung von Carbon Credits	http://carboncredit.ndfu.org/carboncalculator.html
OVERSEER	ja	berücksichtigt	http://overseer.org.nz/
RAPCOE	nein	Forstrechner, nicht mehr auffindbar	
USAID FCC (Agroforestry, Afforestation/Reforestation, Forest Management, Forest protection)	nein	Forstrechner	http://afolucarbon.org/policy/

Anhang 2: Fragebogen

KAPITEL	1
<p>Questionnaire</p> <p>This questionnaire is part of an investigation into the significance and perspectives of carbon calculators especially in an agricultural context. In Germany, we observe an increasing diversity of different carbon/GHG accounting tools. This led to a debate about how to deal with such diversity and what future developments might look like. In order to approach this question, we would like to build on existing experiences and get an overview over the developments in other countries. So, in order to gain deeper insights, we kindly ask you to participate in this questionnaire and provide us with your answers.</p> <p>The questionnaire consists of two parts. The first part comprises a table that summarizes contextual and technical characteristics of your specific tool as drawn from the literature. Please go through the table and check if the provided information is correct and complete. Please use the track change mode in order to mark your changes or highlight them. For comments use the last row of the table (indicated in yellow) or use comments under the "Review" tab in MS Word.</p> <p>In the second part, please answer the questions. Fill in your answers in the spaces marked in yellow. The first five questions again relate to your specific tool. The last two questions refer to your valuation of carbon calculators in general.</p> <p>If you have any questions, please do not hesitate to contact us.</p> <p>Thank you very much for your participation!</p> <p>Name of participant: [...]</p> <p>Institution: [...]</p> <p>Contacts: Thünen-Institute for Rural Areas, Germany Stephanie Kätsch: email: stephanie.kaetsch@ti.bund.de phone: +49 531 596 5212 Bernhard Osterburg: email: bernhard.osterburg@ti.bund.de phone: +49 531 596 5211</p>	

KAPITEL	2					
<p>Part 1: Please check the contents of the table for correctness and completeness. Please mark changes in the track mode or highlight them.</p>						
General data						
Name of tool/version						
Exists since when						
Last update						
Developer and institution						
Financed by						
Contact details						
Context and scope of calculator						
Aim and context of the calculator	Awareness raising	GHG Reporting		Project evaluation	Product assessment/ labelling	Other (please specify)
		Landscape level	Farm level			
Purpose of tool						
Target group						
System level (landscape, farm or product level (foot printing), other)						
Geographical focus						
Included production processes						

KAPITEL				3
Included emissions sources/ gases				
Technical details and methodological approach				
Type of tool	Web based	Excel based	Other (please specify)	
	"Stand-alone" tool		Can be attached to other accounting tools/models (Please specify)	
Methodological approach				
Source of emission factors				
Other data sources				
System boundaries				
Allocation approach				
Necessary data input				
Adjustment of parameters possible?				
Presentation Outputs				
Accessibility				
Access				
	Web site			
Handling of the				

KAPITEL					4
tool	1= no specialist skill required	2	3	4= formal training obligatory	
Time needed to complete assessment	1= Less than a day	2	3	4= More than a month	
Costs					
Support					
Documentation available					
Comments					
Literature sources:					
Colomb V, Bernoux M, Bockel L, Chotte J-L, Martin S, Martin-Phipps C, Mousset J, Tinlot M, Touchemoulin O (2012) Review of GHG Calculators in Agriculture and Forestry Sectors – A Guideline for Appropriate Choice and Use of Landscape Based Tools. Version 2.0. ADEME, IRD, FAO. 43 pp.					
Colomb V, Touchemoulin O, Bockel L, Chotte J-L, Martin S, Tinlot M, Bernoux M (2013) Selection of appropriate calculators for landscape-scale greenhouse gas assessment for agriculture and forestry. Environ. Res. Lett 8. 10 pp.					
Denef K, Paustian K, Archibeque S, Biggar S, Pape D (2012) Report of Greenhouse Gas Accounting Tools for Agriculture and Forestry Sectors. Interim report to USDA under Contract No. GS-23F-8182H. 140pp.					

KAPITEL		5
Part 2: Please answer the questions below.		
Questions related to your specific tool		
1) What are the aims of your tool		
...		
2) What are the strength and weaknesses of your tool? Please indicate in the table.		
Strength	Weakness	
3) How frequently is your tool used? (i.e. how many farms/projects/studies were calculated with your tool, how many downloads of your tool?)		
...		
4) Do you have access to the data that the users need to enter into the tool?		
Yes/No		
If yes, what happens with the data? (i.e. it is saved and used for databases or statistical analyses)		
...		
5) Do you plan to further develop your tool?		
Yes/No		
If yes, please specify.		
...		
Questions related to carbon calculators in general		
6) What limits the utilization of carbon calculators?		
...		
7) How would you assess the significance and perspective of carbon calculators now and in the future?		
...		