

CO₂-Bilanz von Schweinefleisch

Vergleich von herkömmlicher Schweinefleischerzeugung mit der Erzeugung von „Schwäbisch-Hällischem Qualitätsschweinefleisch g.g.A.“

Dr. Stefan Hörtenhuber

FiBL Österreich

Universität für Bodenkultur Wien

Dipl. Ing. Stefan Schweiger

FiBL Österreich

Durchgeführt am FiBL Österreich, Wien,

Dezember 2020 – Mai 2021

Inhaltsverzeichnis

1. Ziel und Methodik	4
1.1 Methodik und Datenquellen	4
1.2 Systemgrenzen – Von der landwirtschaftlichen Urproduktion bis zum Hoftor der Schweinemastbetriebe	6
1.3 Allokationsverfahren und funktionelle Einheit	6
2. Datenbasis	7
2.1 Futtermittelproduktion	8
2.1.1 DONAU SOJA / EUROPE SOYA	9
2.1.2 Soja aus Übersee	9
2.2 Durchschnittlicher Futterbedarf und Futtermittelrationen	9
2.3 Transporte	11
2.3.1 DONAU SOJA / EUROPE SOYA	12
2.3.2 Transporte aus Übersee	12
2.3.3 Transporte von Lebeltieren und Fleisch	12
2.4 Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdünger	13
2.5 Energiebedarf	13
3. Ergebnisse	14
3.1 Treibhausgasemissionen je kg Lebendmasse am Hoftor	14
3.2 Treibhausgasemissionen je kg Schlachtkörper bzw. Fleisch	20
4. Unsicherheitsanalysen	22
5. Literatur	24

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: TREIBHAUSPOTENTIAL VON 1 KG SCHWEIN LEBENDMASSE – VERGLEICH DER ERZEUGUNG VON (I) ÖKOLOGISCH („BIO“) UND (II) „KONVENTIONELL“ ERZEUGTEM SCHWÄBISCH-HÄLLISCHEM QUALITÄTSSCHWEINEFLEISCH (G.G.A.) MIT DONAU SOJA / EUROPE SOYA MIT (III) THEORETISCHER SCHWÄBISCH-HÄLLISCHER ERZEUGUNG MIT ÜBERSEE-SOJA UND (IV) MIT EINER KONVENTIONELLEN STANDARDPRODUKTION („KON“) MIT ÜBERSEE-SOJAEXTRAKTIONSSCHROT. DIE FEHLERBALKEN AM OBEREN ENDE DER SÄULEN ZEIGEN DIE UNSICHERHEITSBEREICHE DER ÖKOBILANZERGEBNISSE (STANDARDABWEICHUNG) AUS DER MONTE CARLOS SIMULATION.	15
ABBILDUNG 2: CO ₂ -EQ EMISSIONEN DER ÖKOLOGISCHEN SCHWÄBISCH-HÄLLISCHEN SCHWEINEFLEISCHPRODUKTION JE KG LEBENDMASSE	17
ABBILDUNG 3: CO ₂ -EQ EMISSIONEN DER KONVENTIONELLEN SCHWÄBISCH-HÄLLISCHEN SCHWEINEFLEISCHPRODUKTION JE KG LEBENDMASSE MIT DONAU SOJA / EUROPE SOYA.....	17
ABBILDUNG 4: CO ₂ -EQ EMISSIONEN DER REFERENZ-SCHWEINEFLEISCHPRODUKTION JE KG LEBENDMASSE MIT SOJA AUS ÜBERSEE	17

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: WICHTIGE KENNWERTE DER MAST- UND ZUCHTBETRIEBE FÜR DIE ÖKOBILANZIERUNG	7
TABELLE 2: RATIONEN UND FUTTERVERBRAUCH DER SCHWEINEFLEISCHERZEUGUNG MIT ÖKOLOGISCH GEFÜTTERTEN UND GEHALTENEN SCHWÄBISCH-HÄLLISCHEN SCHWEINEN.....	10
TABELLE 3: RATIONEN UND FUTTERVERBRAUCH DER SCHWEINEFLEISCHERZEUGUNG MIT KONVENTIONELL GEFÜTTERTEN UND GEHALTENEN SCHWÄBISCH-HÄLLISCHEN SCHWEINEN.....	11
TABELLE 4: RATIONEN UND FUTTERVERBRAUCH DER REFERENZ-SCHWEINEFLEISCHERZEUGUNG.....	11
TABELLE 5: HERKUNFT DER DONAU SOJA / EUROPE SOYA-FUTTERMittel FÜR „KONVENTIONELL“ ERZEUGTE SCHWÄBISCH-HÄLLISCHES QUALITÄTSSCHWEINEFLEISCH (G.G.A.; QUELLE: DONAU SOJA).....	12
TABELLE 6: TREIBHAUSGASEMISSIONEN JE 1KG SCHWEIN LEBENDMASSE DER ERZEUGUNGSVARIANTEN (I), (II) UND (IV) UND DAZUGEHÖRIGE TYPISCHE UNSICHERHEITSBEREICHE (STANDARDABWEICHUNG) AUS DER MONTE CARLO SIMULATION.	16
TABELLE 7: TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON 1KG SCHWEINESCHLACHTKÖRPER DER ERZEUGUNGSVARIANTEN (I), (II) UND (IV).	21
TABELLE 8: 95% KONFIDENZINTERVALL FÜR SCHWÄBISCH-HÄLLISCHE SCHWEINEFLEISCHERZEUGUNG..	23

I. Ziel und Methodik

Ziele der vorliegenden Studie sind die Analyse des Schweinefleisches Schwäbisch-Hällischer Schweine hinsichtlich Treibhausgasemissionen und die Aufbereitung und Darstellung der Ergebnisse.

Die Ergebnisse werden für folgende Produktionsvarianten berechnet:

- (i) Ökologisch („BIO“) und (ii) „konventionell“ erzeugtes Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch g.g.A.
- (iii) konventionelle Standardproduktion („KON“) mit Übersee-Sojaextraktionsschrots (50 % aus Brasilien, 50 % Soja aus den USA)

Im Gegensatz zur Variante (iii) wird die Variante (ii) „konventionelles“ Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) mit europäischem Sojaextraktionsschrot (DONAUS SOJA- bzw. EUROPE SOYA-zertifiziert) erzeugt und (i) zertifiziert ökologisch produziertes Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) deckt den Bedarf an Eiweißfutter primär über hofeigen und regional erzeugte Körnererbsen und Sojabohnen sowie Sojakuchen ab.

I.1 Methodik und Datenquellen

Die Lebenszyklusanalyse „Life Cycle Assessment“ (LCA) erfolgt entsprechend den üblichen Richtlinien entlang der Wertschöpfungskette innerhalb definierter Systemgrenzen. Die Bewertung orientiert sich eng an den internationalen Ökobilanzierungsrichtlinien (ISO-Richtlinien 14040 und 14044). Mittels folgender bereitgestellter Primärdaten konnten exakte Lebenszyklusinventare erstellt werden:

- **Daten von schweinehaltenden Betrieben der Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall:**

Daten zur Mastschweine- und Zuchtschweineproduktion wurden auf Basis eines vom FiBL erstellten Fragebogens auf 32 Betrieben¹ erhoben. Schwerpunkte lagen dabei auf der Ausgestaltung von Haltungs- und Wirtschaftsdüngersystemen, Futtermittelverbrauch und Rationen sowie der Futtermittelherkunft. Für die üblicherweise auf den Betrieben erzeugten Futtermittel wurden deren Umweltwirkungen auf Basis der

¹ Die 32 befragten Betriebe decken mehr als 50% der Grundgesamtheit der Öko-Betriebe und ca. 20 % der konventionellen Betriebe ab.

Fragebögen ermittelt. Weitere Daten wie beispielsweise zum Energiebedarf und welcher Anteil der elektrischen Energie aus betrieblichen Photovoltaikanlagen stammt, wurden ebenso erhoben und in die Ökobilanzierung integriert.

- **Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall:**
Daten zu Distanzen und Transportmitteln betreffend Lebewildertransporte zur Schlachtung und für den Schlachtkörper bzw. Fleisch zum Verkauf sowie Daten zu Verpackungsmaterialeinsatz.
- **Footprint Consult:**
Landwirtschaftliche Urproduktion von DONAU SOJA / EUROPE SOYA-zertifizierter Sojabohne.
- **DONAU SOJA:**
Länderspezifische Herkunft der Sojabohnen für die Erzeugung von Schwäbisch-Hällischem Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.)

Wo keine Primärdaten von Betrieben zur Verfügung standen, z.B. für Details zur Produktion zugekaufter, nicht regional produzierter Futtermittel, wurde auf bestehende peer-reviewed Wissenschaftsliteratur, Statistikdaten und bestehende Ökobilanz-Datensätze (ecoinvent, Agri-Footprint, Agribalyse) zurückgegriffen.

Für regionale, jedoch nicht auf den Betrieben erzeugte Futtermittel wurden aktuelle Ertrags- und Bewirtschaftungsdaten für Baden-Württemberg eingearbeitet. Für auf den Betrieben und in der Region erzeugte Futtermittel wurde eine Modellierung des Stickstoffdüngerbedarfs und der Stickstoffemissionen in Abhängigkeit von Erträgen und Fruchtfolgen (Stickstoffbereitstellung durch Leguminosen und Ernterückstände) sowie Wirtschaftsdüngerlieferung durchgeführt (siehe auch Kapitel 2.1 „Datenbasis – Futtermittelproduktion“).

Zur Berechnung der Klimawirkung bzw. Treibhauspotenzial-Wirkungsabschätzung wurde die Methode IPCC GWP 2013 100a (V1.03) verwendet.

I.2 Systemgrenzen – Von der landwirtschaftlichen Urproduktion bis zum Verkaufsstandort (farm to point of sale)

Es werden Stoff- und Energieflüsse über die gesamte Wertschöpfungskette vom Rohstoffabbau für die Erzeugung von Betriebsmitteln über die landwirtschaftliche Urproduktion bis zur Schlachtung und weiter zum Verkaufsstandort bilanziert. Die wichtigsten Bereiche entlang der Wertschöpfungskette mit den höchsten Umweltwirkungen sind:

- Urproduktion der Futtermittel insbesondere der Sojaproduktion mit vorgelagertem Bedarf (sämtlicher Treibstoff-, Produktionsmittel- und Energiebedarf, etc.)
- Aufbereitung und Transporte der Futtermittel
- Tierhaltung mit Emissionen aus dem Stallsystem und von Wirtschaftsdüngerlagern; von der Zuchtstufe, der Aufzucht von Ferkeln und der Schweinemast
- Der Landwirtschaft nachgelagerte Transporte und der Schlachtungsprozess.

I.3 Allokationsverfahren und funktionelle Einheit

Allokationen, d.h. Zuteilungen von Umweltwirkungen eines Verfahrens auf mehrere Produkte (z.B. von der Sojabohne auf Sojabohnenschrot und Sojaöl), wurde nach ökonomischen Werten vorgenommen.

Die analysierten Umweltwirkungen werden auf vier Bezugseinheiten, sogenannte „funktionelle Einheiten“ bezogen:

- Je „kg Lebendmasse“ fertig gemästeter Schweine am Hoftor der landwirtschaftlichen Betriebe (unter Berücksichtigung von Zuchtsauen und Ferkelaufzucht)
- Je „kg Schweineschlachtkörper“, d.h. Emissionen der Zucht und Mast bezogen auf die Ausschachtung und erweitert um Emissionen von Transporten zum Schlachthof und des Schlachtprozesses
- Je „kg Muskelfleisch“, wie im vorherigen Punkt, allerdings bezogen auf den Anteil Muskelfleisch am Schlachtkörper und inklusive Emissionen der Transporte bis zum Verkaufsstandort.
- Je „kg Protein“ im verzehrfähigen Fleisch.

2. Datenbasis

Folgend ist die Datengrundlage beschrieben, die der Ökobilanz zugrunde liegt.

Aus den 32 Fragebögen wurden mittlere Leistungsdaten und Kennwerte der Mast- und Zuchtbetriebe ermittelt, die neben anderen Daten in der Lebenszyklusanalyse berücksichtigt werden (Tabelle 1). Die Variation der Daten in den Fragebögen wurde für die Berechnung der Unsicherheitsbereiche der Ergebnisse (Monte Carlo-Simulationen; siehe Kapitel 4) verwendet.

Tabelle 1: Wichtige Kennwerte der Mast- und Zuchtbetriebe für die Ökobilanzierung

	Schwäbisch-Hällisch KONVENTIONELL	Schwäbisch-Hällisch ÖKOLOGISCH	Referenz-Schweinefleisch- erzeugung
Anfangsgewicht Mast (kg)	30	30	30
Endgewicht Mast (kg)	120	125	120
Ausschlachtung (%)	79	79	80
Abgesetzte Ferkel pro Sau und Jahr	22,4	19,4	25,0
Säugedauer in Wochen	4	6	4
Dauer der Mast ab 30 kg in Tagen / g Tageszunahmen	111 / 810	143 / 660	95 / 950
Protein in Fleisch (kg; je Mastschwein)	10,5	10,0	10,3
N-Ausscheidungen (kg) ^a	6,6	7,2	5,4
Anteil (%) Wirtschaftsdünger als Festmist ^a	10	87	10
Anteil (%) Wirtschaftsdünger als Gülle ^a	90	13	90

^a gemäß Lebenszyklusanalyse von der Mast, der Ferkelaufzucht und aliquot von der Zuchtsau

Werte für typischen Elektrizitäts- und Stroheinsatz wurden ebenso aus den Fragebögen abgeleitet (siehe Kapitel 2.4 und 2.5). Die konventionellen Stroh- und Elektrizitätsergebnisse wurden auch für die Referenz verwendet.

2.1 Futtermittelproduktion

Die Futtermittelkomponenten weisen unterschiedliche Herkünfte auf. Der Großteil der Futtermittelkomponenten stammt bei der Erzeugung Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) aus hofeigener Produktion oder wird regional bezogen. Ausnahmen davon sind Mineralstoffe und Spurenelemente, Vitamine und synthetische Aminosäuren, die allerdings nur in untergeordneten Mengen eingesetzt werden.

Eine weitere Ausnahme stellt der Sojaextraktionsschrot dar, welcher für die Variante (ii) „konventionell“ erzeugtes Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) aus europäischen Ländern stammt.

Für Übersee-Soja wurde angenommen, dass dieser zu je 50 % aus Brasilien und den USA stammt.

Für die hauptsächlich auf den Betrieben erzeugten Futtermittel wurden – getrennt nach ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise – mit den Daten aus den Fragebögen die durchschnittlichen Umweltwirkungen je kg Erntegut spezifisch ermittelt.

Bei ökologischer Erzeugung betrifft dies folgende Energie- und Eiweißfutter:

- Körnermais, Weizen, Gerste, Triticale, Hafer, Roggen
- Sojabohnen

Bei konventioneller Erzeugung:

- Körnermais, Weizen, Gerste

Die Treibhausgasemissionen anderer Futtermittel wurden auf Basis von Ökobilanz-Standarddatensätzen berechnet, weil sie entweder einen Anteil von weniger als 2,0% in den durchschnittlichen Mast- und Zuchttrationen aufweisen oder vorrangig zugekauft werden und somit keine Betriebsdaten zur Erzeugung (aus den Fragebögen) verfügbar waren.

Regionales Futter wurde nach statistischen Daten von Baden-Württemberg und Futter, das (hauptsächlich) aus Deutschland stammt, nach deutschen statistischen Daten und wenn möglich mit Ökobilanz-Datensätzen mit Deutschland-Bezug berechnet. Die Berechnungen zu den Umweltwirkungen der Futtererzeugung unterscheiden konventionelle von biologischer Produktion. Ökobilanz-Datensätze der Datenbank Ecoinvent v3.6 , Agribalyse v1.3 und Agri-Footprint 4.0 dienen als Grundlage der Ermittlung von Umweltwirkungen der Futterbereitstellung.

2.1.1 DONAU SOJA / EUROPE SOYA

Die CO₂-Bilanz der Urproduktion von DONAU SOJA/ EUROPE SOYA wurde von Footprint Consult berechnet und dem FiBL für die weitere Berechnung zur Verfügung gestellt.

2.1.2 Soja aus Übersee

Für die Produktion von Soja aus Brasilien und den USA wurde auf Sekundärdaten wie wissenschaftliche Literatur und die Ökobilanzdatenbank Ecoinvent v3.6 zurückgegriffen. Um die Produktionsverhältnisse in Brasilien abzubilden, wurden Studien von Guilherme et. al. (2015) und Castanheira und Freire (2013) verwendet. Um die Emissionen aus Landnutzungsänderungen zu berechnen, wurde zusätzlich auf die Studien von Prudencio da Silva et. al. (2010), Lathuillière et al. (2014), Persson et. al. (2014), Caro et. al. (2017) sowie Gollnow et. al. (2018) und Then et al. (2018) zurückgegriffen.

2.2 Durchschnittlicher Futterbedarf und Futtermittelrationen

Die Berechnung des Futteraufwands bzw. der Futtermittelverwertung stützt sich auf verschiedene Daten:

- GfE (2006; Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung bei Schweinen)
- Petig (2020; Dissertation an der Uni Gießen zu Schwäbisch-Hällischen Schweinen)
- 32 Fragebögen für Rationen und Leistungsdaten zu konventionell und ökologisch gefütterten und gehaltenen Schwäbisch-Hällischen Schweinen
- LfL (2020) und Schwarz et al. (2017) für Rationen der Referenz (Körnermais-Sojaextraktionsschrot-basierte konventionelle Schweinefleischerzeugung)
- Futtermittelkatalog (Agroscope 2013) zu Energie- und Nährstoffgehalten der Futtermittel.

Futtermittel, die in den Durchschnittsrationen der Zucht oder der Mast einen Anteil von kleiner 0,5 % ausmachen, weil sie z.B. auf nur einem Betrieb in untergeordnetem Ausmaß eingesetzt werden, wurden nicht weiter berücksichtigt (und deren Anteile mit dem Rationsdurchschnitt ersetzt).

Folgende Mengen an Futter sind je Mastschwein als Summe der Mast, der Ferkelaufzucht und aliquot von der Zuchtsau berücksichtigt:

- (i) Schwäbisch-Hällisch BIO: 458,0 kg; entspricht 3,66 kg je kg Mastschwein-Lebendmasse vor der Schlachtung; siehe Tabelle 2
- (ii) Schwäbisch-Hällisch KONVENTIONELL: entspricht 404,3 kg; 3,35 kg je kg Mastschwein-Lebendmasse vor der Schlachtung; siehe Tabelle 3
- (iii) REFERENZ (Körnermais- und Sojaextraktionsschrot-basierte konventionelle Schweinefleischerzeugung): 352,9 kg; entspricht 2,94 kg je kg Mastschwein-Lebendmasse vor der Schlachtung; siehe Tabelle 4.

Die durchschnittlichen Rationen über die Zucht-, Ferkelaufzucht- und Mastphase setzen sich wie folgt zusammen (Tabellen 2 bis 4):

Tabelle 2: Rationen und Futtermittelverbrauch der Schweinefleischerzeugung mit ökologisch gefütterten und gehaltenen Schwäbisch-Hällischen Schweinen

	Anteile (%) und kg Futter der Gesamtration je Mastschwein (+Zuchtsau aliquot +Ferkelaufzucht)	
Gerste	28,3%	129,7
Triticale	15,9%	72,9
Erbsen	13,6%	62,2
Weizen	13,3%	60,8
Sojabohnen/-kuchen (50:50)	9,3%	42,7
Hafer	6,5%	29,7
Körnermais	5,8%	26,4
Rapskuchen	2,2%	10,1
Mineralfutter	1,8%	8,2
Roggen	1,8%	8,1
Kartoffeleiweiß	0,8%	3,6
Luzernecobs	0,4%	1,9
Sojaöl (+Rapsöl)	0,4%	1,8

Tabelle 3: Rationen und Futtermittelverbrauch der Schweinefleischerzeugung mit konventionell gefütterten und gehaltenen Schwäbisch-Hällischen Schweinen

	Anteile (%) und kg Futter der Gesamtration je Mastschwein (+Zuchtsau aliquot +Ferkelaufzucht)	
Gerste	34,1%	137,9
Weizen (+Weizengrieß)	28,5%	115,2
Sojaextraktionsschrot (Donau Soja / Europe Soya)	13,9%	56,0
Körnermais	11,5%	46,4
Mineralfutter	3,2%	12,8
Roggen	2,0%	7,9
Erbsen	1,9%	7,5
Triticale	1,8%	7,4
Rapskuchen	0,8%	3,2
Rapsöl (+Sojaöl)	0,6%	2,2
Faser	0,5%	2,1
Hafer	0,5%	2,0
Weizenkleie	0,5%	1,9
Rapsextraktionsschrot	0,4%	1,7

Tabelle 4: Rationen und Futtermittelverbrauch der Referenz-Schweinefleischerzeugung

	Anteile (%) und kg Futter der Gesamtration je Mastschwein +Zuchtsau aliquot +Ferkelaufzucht)	
Körnermais	52%	181,8
Sojaextraktionsschrot	16%	55,6
Gerste	15%	54,7
Weizen	8%	29,1
Futterkalk und Salz	2%	7,9
Weizenkleie	2%	7,1
Rapsextraktionsschrot	1%	3,5
Sonnenblumenextraktionsschrot	1%	3,5
Faser	1%	3,5
Phosphat und andere Mineralstoffe, Aminosäuren	1%	3,5
Sojaöl	1%	2,6

2.3 Transporte

Generell wurden Transporte für regional zugekaufte Futterkomponenten eine Transportdistanz von 200 km per LKW angenommen, für solche aus Deutschland 500 km per LKW und für hofeigen produzierte Futtermittel keine Transporte. Für ökologisch erzeugtes Schweinefleisch sind insofern

Transporte nur in untergeordnetem Ausmaß berücksichtigt. Sojaextraktionsschrot bei der Erzeugung von „konventionellem“ Schwäbisch-Hällischen Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) und bei der konventionellen Referenz wird gemäß vorliegenden Primärdaten aus den Fragebögen über Ländergrenzen hinweg transportiert. Die verwendeten Transportdaten für DONAU SOJA / EUROPE SOYA und Soja aus Übersee sind folgend kurz beschrieben.

2.3.1 DONAU SOJA / EUROPE SOYA

Tabelle 5 zeigt die Herkunft der Sojabohnen für das „konventionell“ erzeugte Schwäbisch-Hällische Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.), die auch als Basis für die Berechnung der Transportdistanzen diente:

Tabelle 5: Herkunft der DONAU SOJA / EUROPE SOYA-Futtermittel für „konventionell“ erzeugte Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.; Quelle: DONAU SOJA)

Italien	Ukraine	Kroatien	Österreich	Rumänien	Ungarn	Deutschland
65,4%	13,1%	11,9%	4,5%	0,9%	0,9%	3,3%

2.3.2 Transporte aus Übersee

Die Transporte der landwirtschaftlichen Produktion in den USA bis zum Hafen setzt sich aus einem Mix aus Straßen-, Schienen und Wasserverkehr zusammen und wurde Meade et al. (2016) entnommen. Der Transportmix von der landwirtschaftlichen Produktion in Brasilien bis zum Hafen wurde nach Castanheira und Freire (2013) verwendet. Danach wird Soja per Schiff bis Rotterdam transportiert und per LKW weiter an die Schweinemastbetriebe geliefert.

2.3.3 Transporte von Lebewesen und Fleisch

Für Transporte von Lebewesen zum Schlachthof wurde für die Schwäbisch-Hällische Schweinefleischerzeugung nach Primärdaten der Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall im Durchschnitt 25 km Transport unterstellt, davon 20 % der Anlieferung per LKW und je 40 % mit Traktoranhänger und mit PKW-Anhänger.

Für die Lebewesentransporte der konventionellen Referenz wurden die Anteile der Transportmittel Traktoranhänger und PKW-Anhänger (bei

gleichen Distanzen) auf 10 % bzw. 20 % reduziert. Bei den restlichen 70 % LKW-Transport wurde die Distanz auf durchschnittlich 200 km erhöht.

Für die Transporte von Fleisch nach der Schlachtung zu den Verkaufsstandorten (Lebensmitteleinzelhandel) wurden nach Primärdaten 100 km für Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) eingerechnet und die dreifache Distanz für die konventionelle Referenz.

2.4 Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdünger

Die Treibhausgasemissionen (CH_4 , N_2O) und die indirekt klimawirksamen Emissionen von NH_3 und NO_x aus dem Stallsystem und entlang der Wirtschaftsdüngererkette wurden gemäß der bisherigen und der erneuerten IPCC-Richtlinien für die Berechnung der Emissionen aus Tierhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement (IPCC 2006; Gavrilova et al., 2019) und den EMEP/EEA (2016)-Richtlinien berechnet.

Für die bei Schweinen geringen Ausscheidungen an enterischem Methan wird eine einfache Tier1-Methode nach (IPCC 2006) verwendet, für alle anderen Emissionen eine aufwändigere Tier2-Methode nach oben genannten Quellen. Die Stickstoffausscheidungen wurden dabei als Differenz von aufgenommenem Stickstoff aus dem Futter minus dem in der Körpermasse gespeicherten Stickstoff berechnet.

Beim Stroheinsatz sind – passend zur Verteilung des Wirtschaftsdüngeranfalls auf Gülle und Festmist – große Unterschiede zwischen ökologischer und konventioneller Schwäbisch-Hällischer Erzeugung ersichtlich: 0,15 kg Stroh je kg Lebendmasse Schwein im Durchschnitt der konventionellen Betriebe stehen 0,99 kg je kg Lebendmasse Schwein bei ökologischen Betrieben gegenüber.

2.5 Energiebedarf

Werte für den mittleren Elektrizitätseinsatz und dessen Variabilität, die in der Monte Carlo Simulation berücksichtigt wurde, wurden ebenso aus den Fragebögen abgeleitet. Je kg Lebendmasse ergeben sich aus den Angaben der Fragebögen durchschnittlich 0,2 kWh bei konventioneller Schwäbisch-Hällischer Erzeugung und 0,4 kWh bei ökologischer Schwäbisch-Hällischer Erzeugung. Diese Werte berücksichtigen – über den gesamten Lebenszyklus – die vergleichsweise hohen Strombedarfe der Ferkelerzeugung und -aufzucht (insbesondere für Wärmelampen) mit. Im Vergleich mit KTBL-Standardwerten von etwa 40 kWh je Mastschweine-Stallplatz und Jahr berechnen sich bei 3 Mastdurchgängen 10-15 kWh je Mastschwein bzw. ca.

0,1 kWh je kg Lebendmasse. Allerdings fallen beim Einsatz von Infrarotlampen als Wärmequelle laut Standardwerten zusätzliche 20 kWh elektrische Energie je aufgezogenem Ferkel an. Gemäß den nach Betriebsgrößen gewichteten Durchschnitten aus den Fragebögen werden bei konventioneller Schwäbisch-Hällischer Schweinefleischerzeugung, wie auch für die Referenz unterstellt, 27 % des Strombedarfs aus betrieblichen Photovoltaikanlagen abgedeckt, bei ökologischer Schwäbisch-Hällischer Erzeugung wird dieser Anteil mit 22 % eingerechnet.

3. Ergebnisse

3.1 Treibhausgasemissionen je kg Lebendmasse am Hoftor

Wie in Kapitel 1 beschrieben, wurden drei Schweinefleisch-Produktionsvarianten miteinander verglichen. Neben der Futtermittelverwertung sowie den Rationen unterscheiden sich vor allem auch die Herkünfte und damit die Umweltwirkungen der Futtermittel, besonders jene der wichtigen Eiweißfuttermittel auf der Basis von Sojabohnen.

Die Treibhausgasemissionen der Herstellung eines Kilogramms Sojaextraktionsschrot betragen für die Variante (ii) „konventionell“ erzeugtes Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.), d.h. bei Einsatz von DONAU SOJA / EUROPE SOYA, 0,42 kg CO₂-eq je kg Sojabohne (Berechnungen von Wolfgang Pekny, Footprint Consult). Je kg Sojabohne aus Übersee (50 % Brasilien und 50 % USA) ergeben sich im Mittel 4,225 kg CO₂-eq. Die Treibhausgasemissionen der wichtigsten Proteinfuttermittel Körnererbse, Sojabohnen und Sojakuchen ökologischer Rationen (Variante i), die zum allergrößten Teil direkt auf den Betrieben angebaut werden und daher beispielsweise kaum Transportemissionen verursachen, liegen im Mittel bei 0,20 kg CO₂-eq je kg.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Treibhausgasemissionen je 1 kg Lebendmasse Schwein dargestellt. Die Vorteile der Erzeugung von ökologischem und konventionellem Schwäbisch-Hällischem Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) gegenüber der konventionellen Referenz (typische Schweinefleischerzeugung mit Übersee-Sojaextraktionsschrot) sind mit -49 % und -31 % beachtlich.

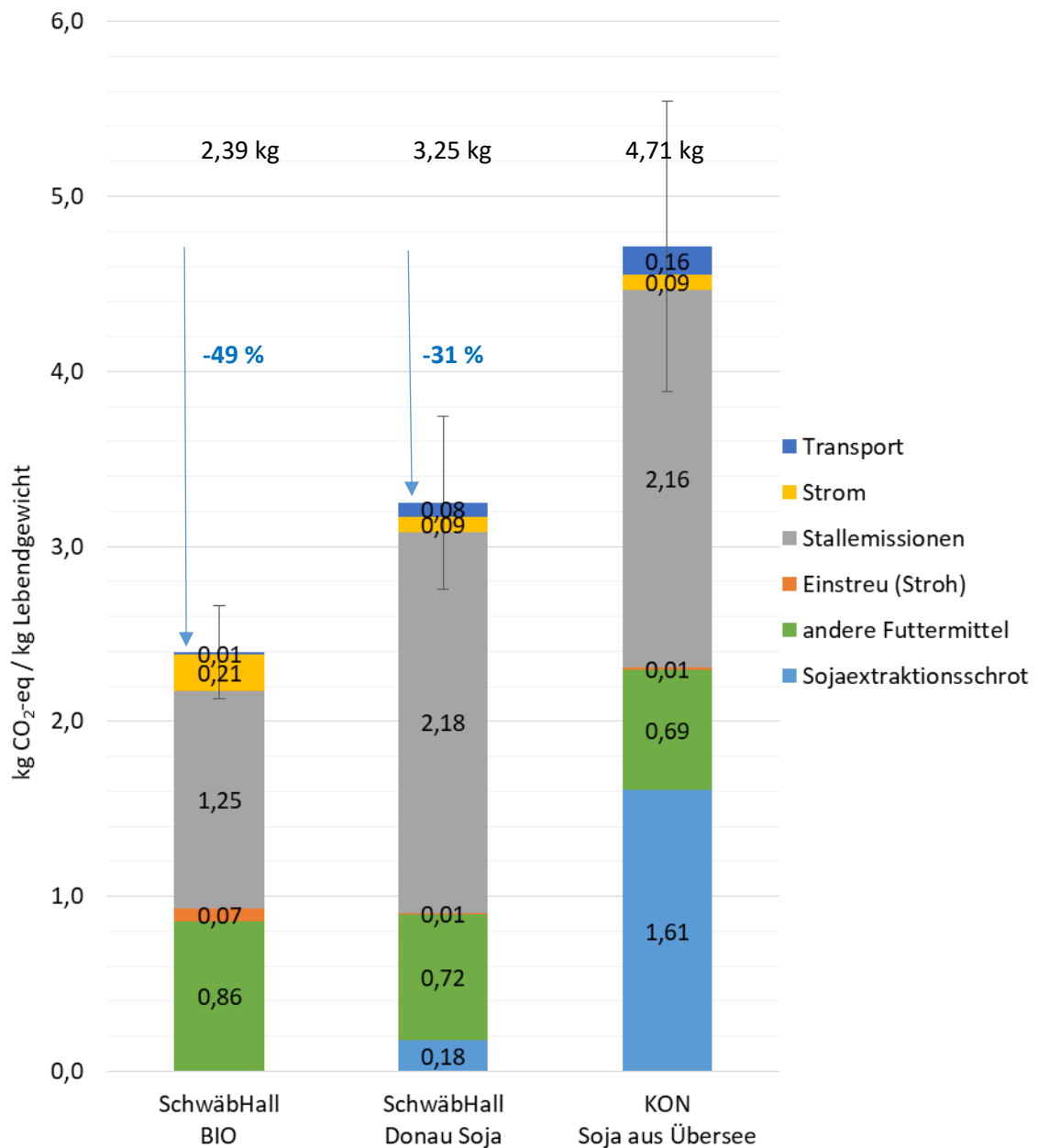


Abbildung 1: Treibhauspotential von 1 kg Schwein Lebendmasse – Vergleich der Erzeugung von (i) ökologisch („BIO“) und (ii) „konventionell“ erzeugtem Schwäbisch-Hällischem Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA mit (iii) einer konventionellen Standardproduktion („KON“) mit Übersee-Sojaextraktionsschrot. Die Fehlerbalken am oberen Ende der Säulen zeigen die Unsicherheitsbereiche der Ökobilanzergebnisse (Standardabweichung) aus der Monte Carlos Simulation.

Die höchsten CO₂-eq Emissionen stammen aus der Futtermittelbereitstellung sowie von den Stall- und Wirtschaftsdüngeremissionen, wobei letztere vor allem mit dem Gülleanteil steigen. Bei den Umweltwirkungen der Futtermittelerzeugung und

Futterbereitstellung unterscheiden sich die beiden ersten Schwäbisch-Hällischen Varianten (i) und (ii) kaum, bei den Stall- und Wirtschaftsdüngeremissionen allerdings deutlich.

Wird europäischer Sojaextraktionsschrot (DONAU SOJA bzw. EUROPE SOYA) eingesetzt, sinkt gegenüber dem Referenzwert die gesamte Klimawirkung, gemessen in kg CO₂-eq je kg Lebendmasse Schwein, um ca. 1,5 kg CO₂-eq.

Die in Abbildung 1 gezeigten Spannbreiten geben die Unsicherheitsbereiche (deren Standardabweichung) aus der Monte Carlo Simulation an. Für die Futtermittelration mit Sojaextraktionsschrot aus Übersee ist diese Spannbreite mit 0,83 kg CO₂-eq höher als für die Futtermittelration mit DONAU SOJA, die 0,49 kg CO₂-eq beträgt. Die hohe Standardabweichung von 0,83 kg CO₂-eq erklärt sich hauptsächlich durch die unterschiedlichen Treibhauspotentiale aus Landnutzungsänderungen, die im Zuge der Urproduktion in Brasilien resultieren (vgl. Castanheira und Freire 2013). In Tabelle 6 sind die Ergebnisse zusammengefasst:

Tabelle 6: Treibhausgasemissionen je 1kg Schwein Lebendmasse der Erzeugungsvarianten (i), (ii) und (iii) und dazugehörige typische Unsicherheitsbereiche (Standardabweichung) aus der Monte Carlo Simulation.

Gesamtergebnis in kg CO₂-eq / kg Schwein Lebendmasse (±Standardabweichung zum Unsicherheitsbereich)	(i) Schwäbisch- Hällisch BIO	(ii) Schwäbisch- Hällisch mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA	(iii) Soja aus Übersee
	2,39 (±0,27)	3,25 (±0,49)	4,71 (±0,83)

Die prozentuellen Anteile einzelner Komponenten an den Gesamtemissionen für die beiden betrachteten Systeme sind in den folgenden beiden Abbildungen 2, 3 und 4 dargestellt.

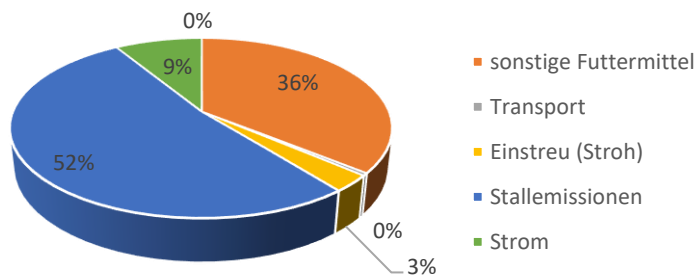


Abbildung 2: CO₂-eq Emissionen der ökologischen Schwäbisch-Hälischen Schweinefleischproduktion je kg Lebendmasse

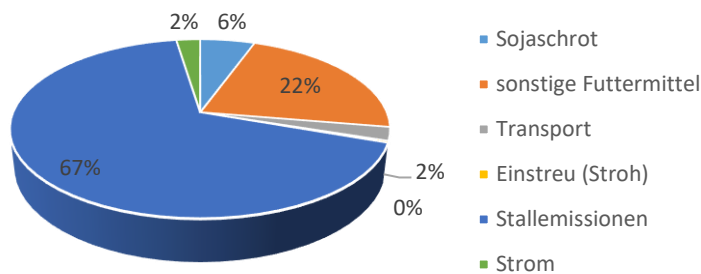


Abbildung 3: CO₂-eq Emissionen der konventionellen Schwäbisch-Hälischen Schweinefleischproduktion je kg Lebendmasse mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA

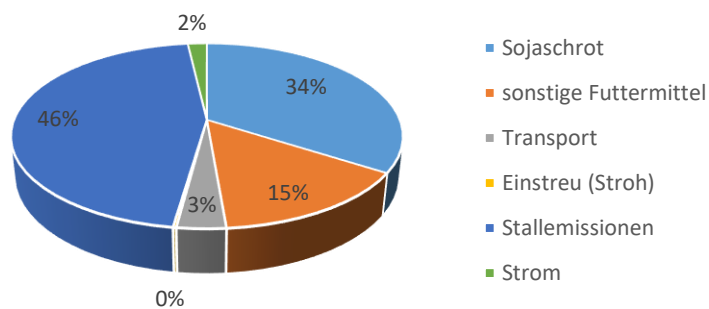


Abbildung 4: CO₂-eq Emissionen der Referenz-Schweinefleischproduktion je kg Lebendmasse mit Soja aus Übersee

Aufgrund des hohen Einflusses der Emissionen von Landnutzungsänderungen in Brasilien beträgt der Anteil von Sojaextraktionsschrot an den Gesamtemissionen der **Referenz-Schweinefleischerzeugung** 34 %, und das obwohl der Anteil in der

durchschnittlichen Ration nur etwa 16 % beträgt (Tabelle 4). Zusammen mit den anderen Futtermitteln entfallen 49 % der gesamten Emissionen auf Futter. Eine weitere sehr relevante Emissionsquelle stellen die Emissionen des Wirtschaftsdüngers mit 46 % bei der Referenz-Schweinefleischerzeugung dar. Der hohe Anteil von Güllesystemen und deren hohe Methanemissionen sind für die hohen Wirtschaftsdüngeremissionen verantwortlich.

Der Emissionsanteil von Sojaextraktionsschrot verringert sich nach den Zahlen der vorliegenden Studie maßgeblich von 34 % auf nur 6 %, wenn europäisch produziertes DONAU SOJA / EUROPE SOYA-Extraktionsschrot in der Fütterung – wie bei der **konventionellen Schwäbisch-Hällischen Erzeugung** – eingesetzt wird (Abbildungen 3 und 4). Gemeinsam mit den Emissionen der anderen Futtermittel (22 %) betragen die Wirkungen der Futterbereitstellung konventioneller Schwäbisch-Hällischer Produktion nur 28 % und fallen deutlich geringer als jene des Wirtschaftsdüngers (67 %; siehe Abbildung 3), vorwiegend in Form von Methan aus der Güllelagerung, aus.

Die gesamte Emissionsreduktion (-31%; Abbildung 1) von rund 1,5 CO₂-eq je kg Lebendmasse bei konventionell erzeugtem Schwäbisch-Hällischen Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) im Vergleich zur Referenz-Schweinefleischerzeugung ist auf den Einsatz von DONAU SOJA / EUROPE SOYA-Ware zurückzuführen. Die Emissionen der restlichen Anteile der konventionellen Schwäbisch-Hällischen Erzeugung sind entweder gleich hoch (Strom, Einstreu) oder minimal höher (andere Futtermittel, Stall) wie das Referenzszenario. Die höheren Emissionen der anderen Futtermittel ergeben sich durch den höheren Anteil im Futter, wohingegen die höheren Stall- und Wirtschaftsdüngeremissionen durch eine etwas geringere Effizienz der Futter- bzw. Rohproteinumwandlung zu erklären sind. Diese minimalen Emissionsnachteile werden jedoch durch die Vorteile des zertifizierten Sojaextraktionsschrots mehr als kompensiert.

In absoluten Mengen weist die **ökologische Schwäbisch-Hällische Schweinefleischerzeugung** geringe Treibhausgasemissionen auf (siehe Abbildung 1). Die Anteile von Stall- und Wirtschaftsdünger- sowie Futteremissionen sind dabei mit 52 % bzw. 36 % am höchsten. Vergleichsweise hohe Klimawirkung kommt dem Strombedarf zu, nachdem

anhand der Fragebögen ein hoher kWh-Bedarf je Schwein und kg Lebendmasse ermittelt wurde und außerdem auf Öko-Betrieben etwas weniger betriebseigener Photovoltaikstrom (22% statt 27%) als bei konventioneller Schwäbisch-Hällischer Schweinefleischerzeugung zum Einsatz kommt. Bei ökologischer Produktion trägt der Einsatz einer relevanten Menge an Stroh einerseits zu 3 % der gesamten Treibhausgasemissionen bei, andererseits bewirkt dieser hohe Stroheinsatz in Verbindung mit regelmäßiger Entmistung (meist Einstreu im Außenbereich) eine günstige Situation für die vergleichsweise sehr geringen Wirtschaftsdüngeremissionen.

Die Transportemissionen wirken sich auf die Gesamtergebnisse allgemein nur geringfügig aus (siehe Abbildungen 1 bis 4). Dennoch sind sie beim Einsatz von Soja aus Übersee (Variante iii) mit 0,16 kg CO₂-eq je kg Lebendmasse doppelt so hoch wie bei der Variante (ii) „konventionell“ erzeugtes Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch (g.g.A.) mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA (0,08 kg CO₂-eq). Bei der Variante (iii) stammen 0,15 kg CO₂-eq aus den Transporten des Sojaschrots aus Übersee, wohingegen nur 0,01 kg CO₂-eq auf die Transporte der restlichen Futtermittel fallen. Bei Variante (ii) werden 0,07 kg CO₂-eq vom Transport der DONAU SOJA / EUROPE SOYA verursacht und 0,01 kg CO₂-eq entfallen auf die Transporte der restlichen Futtermittel, die entweder lokal bzw. regional oder national bezogen werden. Die geringsten Transportemissionen zeigt Variante (i), die ökologische Schwäbisch-Hällische Schweinefleischerzeugung.

Hinterberger et al. (2011) haben den Anteil von Sojafuttermitteln aus Übersee sogar mit 77 % der gesamten Treibhausgasemissionen berechnet, wohingegen der höchste Anteil bei der konventionellen Referenz (Variante iii) in dieser Studie nur 34 % beträgt. Die Rationen und die Emissionsfaktoren der Futtermittelkomponenten unterscheiden sich allerdings zwischen den Studien. Im Vergleich zu Hinterberger et al. (2011) konnten in der vorliegenden Studie detailliertere Primärdaten erhoben und in der CO₂-eq-Berechnung berücksichtigt werden. Das betrifft neben Daten zur mengenmäßigen Zusammensetzung der Futtermitteln (siehe Tabellen 2 bis 4) auch die Berechnung der CO₂-eq-Emissionsfaktoren der Futtermittel, z.B. mit der Einarbeitung repräsentativer Ertragsdaten und daran angepasster Stickstoffmodelle für die Betriebe der Erzeugergemeinschaft

Schwäbisch Hall w.V. Zusätzlich konnten in der vorliegenden Studie die Stallemissionen detailliert auf Basis von betriebsspezifischen Ausscheidungsdaten und der erneuerten IPCC Richtlinie (Gavrilova et al. 2019) ermittelt werden. Die Stallemissionen (Wirtschaftsdüngermanagement sowie enterogene Fermentation) beeinflussen die Gesamtergebnisse wesentlich.

Eine andere Studie, die sich für den Vergleich der Emissionsergebnisse anbietet, hat Umweltwirkungen für mitteleuropäische Schweinefleischerzeugung und für Effekte von Stallinnentemperaturen bzw. Hitzestressphasen im Sommer am Beispiel von typischen österreichischen Schweinehaltungssystemen ermittelt (Hörtenhuber et al., 2020). Bei sehr vergleichbaren Anteilen von Sojaextraktionsschrot (15,8 %) wie in der Variante (ii), d.h. für konventionelle Schwäbisch-Hällische Produktion, und unter Verwendung eines Ecoinvent-Datensatzes für „durchschnittlich am Markt verfügbaren Sojaextraktionsschrot“ wurden etwas höhere 3,69 kg CO₂-eq je kg Lebendmasse fertig gemästetes Schwein ermittelt. Die Berücksichtigung des Referenz-Sojaextraktionsschrots aus Brasilien und USA resultiert in 4,48 kg CO₂-eq je kg Lebendmasse fertiges Mastschwein für dieses österreichtypische Modell. Der Umstieg auf in Österreich erhältlichen Donau Soja-zertifizierten Extraktionsschrot würde für dieses österreichtypische Modell einen Wert von 2,71 kg CO₂-eq je kg Lebendmasse fertiges Mastschwein ergeben (minus 39 % gegenüber den Treibhausgasemissionen der Ration mit dem Referenz-Sojaextraktionsschrot).

3.2 Treibhausgasemissionen je kg Schlachtkörper bzw. Fleisch

In der vorliegenden Studie wurden die Treibhausgasemissionen nicht nur auf 1 kg Lebendmasse bezogen, sondern auch je kg Schlachtkörper und Muskelfleisch sowie je kg Protein des Fleisches dargestellt. Diese Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 7 wiedergegeben.

Tabelle 7: Treibhausgasemissionen von 1kg Schweineschlachtkörper der Erzeugungsvarianten (i), (ii) und (iii).

Quellen	(i) Schwäbisch- Hällisch BIO	(ii) Schwäbisch- Hällisch KON mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA	(iii) Referenz mit Soja aus Übersee
Ergebnisse in kg CO₂-eq / kg Schlachtkörper			
Schlachtkörper (Schwein)	3,03	4,11	5,90
Transporte nach Schlachtung	0,02	0,02	0,05
Schlachthof	0,05	0,05	0,05
SUMME	3,11 (52 %)	4,19 (70 %)	6,00 (100 %)
Ergebnisse in kg CO₂-eq / kg Muskelfleisch			
Schlachtkörper (Schwein)	5,44	7,39	10,48
Transporte nach Schlachtung	0,05	0,05	0,09
Schlachthof	0,10	0,10	0,10
SUMME	5,59 (52 %)	7,53 (71 %)	10,68 (100 %)
Ergebnisse in kg CO₂-eq / kg Protein im Muskelfleisch			
Schlachtkörper (Schwein)	28,65	38,88	55,17
Transporte nach Schlachtung	0,27	0,27	0,53
Schlachthof	0,50	0,50	0,50
SUMME	29,42 (52 %)	39,65 (71 %)	56,20 (100 %)

Die zusätzlichen durch Transporte von Lebewesen zum Schlachthof und von Fleisch zum Verkaufsort sowie am Schlachthof verursachten Umweltwirkungen weisen nur geringe Klimarelevanz im Vergleich zu landwirtschaftlichen Verfahrensschritten (Tierhaltung und Futtererzeugung) auf. Insofern bleiben die Unterschiede zwischen den Produktionsvarianten auch bei den erweiterten Systemgrenzen annähernd gleich wie für die Emissionen je kg Lebendmasse (siehe Abbildung 1).

Für die funktionalen Bezugsgrößen „kg Muskelfleisch“ und „kg Protein“ gibt es Vergleichswerte in der Fachliteratur. Eine Überblicksarbeit hat die Spannweiten von Treibhausgasbilanzen unterschiedlicher Studien je kg Produkt Schweinefleisch² und je kg Protein aus Schweinefleisch zusammengestellt (de Vries und de Boer, 2010). Je kg Produkt wurden Treibhausgasemissionen von 4 bis 10 kg CO₂-eq ermittelt, wobei umgerechnet auf unsere Definition von „Muskelfleisch“ die Spannweite der

² Inklusive typischerweise mit dem Fleischprodukt verkaufter Knochen, Sehnen oder Haut, daher mit 53 % der Lebendmasse, während für Muskelfleisch in der vorliegenden Studie nur 45 % eingerechnet wurden.

Literatur 4,6 bis 11,8 kg CO₂-eq je kg Produkt ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Berechnung liegen demnach inmitten der Spanne und das Mittel der drei hierin betrachteten Varianten (7,9 kg CO₂-eq) kommt dem Mittel der auf Muskelfleisch angepassten Ergebnisse der Metaanalyse nach de Vries und de Boer (2010; 8,2 kg CO₂-eq) sehr nahe. Je kg Protein aus Schweinefleisch zeigen de Vries und de Boer (2010) eine Spanne von 21 bis 53 kg CO₂-eq auf. Die hierin gefundenen Ergebnisse liegen im Fall der ökologischen Schwäbisch-Hällischen Schweinefleischerzeugung (g.g.A.) sogar etwas darunter. Für konventionelle Schwäbisch-Hällische Schweinefleischerzeugung (g.g.A.) liegt das Treibhausgas-Ergebnis je kg Protein inmitten der Spanne der Literatur und jenes für Referenz-Schweinefleisch etwas über jener Spannweite.

4. Unsicherheitsanalysen

Ökobilanzdaten sind mit Unsicherheiten behaftet, die einer gesonderten Analyse unterzogen wurden, um statistisch gesicherte Aussagen treffen zu können. Für die folgenden Unsicherheitsanalysen gilt ein Vertrauensbereich von 95 %, d.h. nur in 5 % aller möglichen Fälle liegt das Ergebnis außerhalb der angegebenen Spannbreiten. Es wurden 1.000 Monte Carlo-Berechnungsdurchgänge pro Analyse durchgeführt. Die folgenden Analysen betrachten 1 kg Schwein Lebendmasse. Wie in Tabelle 8 ersichtlich ist, können die Ergebnisse aufgrund von schwankenden Erträgen, Inputs (z.B. Mineraldünger) oder Emissionen aus Landnutzungsänderungen große Spannweiten aufweisen.

Tabelle 8: 95% Konfidenzintervall für Schwäbisch-Hällische Schweinefleischerzeugung. 95 % der Ergebnisse liegen innerhalb der angegebenen Schranken, d.h. sie sind größer als der 2,5 %-Wert und kleiner als der 97,5 %-Wert.

	2,5%	97,5%
	kg CO ₂ -eq	
(i) 1 kg Lebendmasse Schwein Schwäbisch-Hällisch BIO	1,84	2,85
(i) 1 kg Schlachtkörper Schwäbisch-Hällisch BIO	2,58	3,8
(i) 1 kg Muskelfleisch Schwäbisch-Hällisch BIO	4,54	6,85
(ii) 1 kg Lebendmasse Schwein Schwäbisch-Hällisch KON mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA	2,44	4,25
(ii) 1 kg Schlachtkörper Schwäbisch-Hällisch KON mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA (Schlachtkörper)	3,15	5,37
(ii) 1 kg Muskelfleisch Schwäbisch-Hällisch KON mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA	5,65	9,6
(iii) 1 kg Schwein Lebendmasse Referenz mit Soja aus Übersee	3,52	6,83
(iii) 1 kg Schlachtkörper Referenz mit Soja aus Übersee	3,96	7,94
(iii) 1 kg Muskelfleisch Referenz mit Soja aus Übersee	7,1	13,8

Da sich die Konfidenzintervalle der Varianten (i), (ii) und (iii) zum Teil überlappen, wurden für die Treibhausgasergebnisse je kg Lebendgewicht paarweise Vergleiche angestellt um zu untersuchen, inwieweit die Unterschiede der Klimawirkungen statistisch signifikant sind:

- (i) im Vergleich zu (ii): 1 kg Lebendmasse Schwein **Schwäbisch-Hällisch BIO** weist in 93 % der Fälle eine geringere Klimawirkung als 1 kg Schwein Lebendmasse **Schwäbisch-Hällisch KON** mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA auf, die Ergebnisse unterscheiden sich insofern „tendenziell“ voneinander.
- (ii) im Vergleich zu (iii): 1 kg Lebendmasse Schwein **Schwäbisch-Hällisch KON** mit DONAU SOJA / EUROPE SOYA erzielt in 92 % der Fälle geringere Treibhausgasemissionen als 1 kg Lebendmasse Schwein des **Referenzszenarios** mit Soja aus Übersee. Diese Ergebnisse unterscheiden sich insofern ebenso wie jene von (i) versus (ii) „tendenziell“ bzw. „annähernd signifikant“ voneinander.

5. Literatur

Agroscope (2013): FEEDBASE - The Swiss Feed Database. <https://www.feedbase.ch/>

Caro et. al. (2017): Land-use change emissions from soybean feed embodied in Brazilian pork and poultry meat. *Journal of Cleaner Production* xxx (2017) 1e9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.146>.

Castanheira und Freire (2013): Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. *Journal of Cleaner Production* 54 (2013) 49e60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.026>

EMEP EEA (2016): Air pollutant emission inventory Guidebook 2016. Manure management. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

Gavrilova et al. (2019): Emissions from Livestock and Manure Management. Chapter 10. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

GfE (Gesellschaft für Ernährung; 2006): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung bei Schweinen. Heft 10. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

Gollnow et. al. (2018): Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato Grosso, Brazil. *Land Use Policy* 78 (2018) 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.010>

Guilherme et. al. (2015): Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: a case study of Mato Grosso State. *Journal of Cleaner Production* 96 (2015) 418e425. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.064>

Hinterberger F., Burger E., Sellner G., Schleder J., Strasser F., Priller H., Mittermayr H., Böhm M., Lindenthal T., Hörtenhuber S. (2011): Analyse des CO₂-Fußabdrucks und Ressourcenindikatoren bei der Schweinefleischproduktion in Österreich Ergebnisbericht. SERI – Sustainable Europe Research Institute Nachhaltigkeitsforschungs und –kommunikations GmbH, Wien.

Hörtenhuber S.J., Schauburger, G., Mikovits, C., Schönhart, M., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., Zollitsch, W. (2020): The Effect of Climate Change-Induced Temperature Increase on Performance and Environmental Impact of Intensive Pig

Production Systems. Sustainability 12(22):9442.
<https://doi.org/10.3390/su12229442>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, ed. by Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K. IGES, Kanagawa, Japan.

Lathuillière et al. (2014): Environmental footprints show China and Europe's evolving resource appropriation for soybean production in Mato Grosso, Brazil. *Environ. Res. Lett.* 9 (2014) 074001 (12pp). doi:10.1088/1748-9326/9/7/074001.

LfL (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft; 2020): Futterberechnung für Schweine.
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/futterberechnung__fuer_schweine_lfl-information.pdf

Meade Birgit et al. (2016): Corn and Soybean Production Costs and Export Competitiveness in Argentina, Brazil, and the United States, EIB -15 4, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, June 2016.

Persson et. al. (2014): A method for calculating a land-use change carbon footprint (LUC-CFP) for agricultural commodities – applications to Brazilian beef and soy, Indonesian palm oil. *Global Change Biology* (2014) 20, 3482–3491, doi: 10.1111/gcb.12635.

Petig, M., (2020): Wachstum, Schlachtkörper- und Fleischqualität der bedrohten Schweinerasse Schwäbisch-Hällisches Schwein unter besonderer Berücksichtigung von Haltungs-, Fütterungs-, und Kombinationskreuzungsvarianten. Dissertation, Uni Gießen.

Prudencio da Silva et. al. (2010): Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management* 91 (2010) 1831 - 1839. doi:10.1016/j.jenvman.2010.04.001.

Schwarz, C., Ebner, K.M., Furtner, F., Duller, S., Wetscherek, W., Wernert, W., Kandler, W., Schedle, K. (2017): Influence of high inorganic selenium and manganese diets for fattening pigs on oxidative stability and pork quality parameters. *Animal* 2017, 11, 345–353.

Then et al. (2018): Gentechnik-Soja in Südamerika: Flächenverbrauch, Pestizideinsatz und die Folgen für die globalen Ziele für nachhaltige

Entwicklung. Germanwatch. Institut für unabhängige Folgenabschätzung in der Biotechnologie. Berlin.q