

Umwelt- und sozialer Fussabdruck von Biozucker

Vergleich von Bio-Rübenzucker und Bio-Fairtrade-Rohrzucker aus Paraguay
8. Januar, 2018



Projektteam

Dr. Andy Spörri
Roberto Bianchetti

EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Schweiz
Telefon +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	5
1.1	Ausgangslage	5
1.2	Zielsetzungen	5

2.	Methodik	7
2.1	Ökobilanz (LCA)	7
2.1.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	9
2.1.2	Sachbilanz	10
2.1.3	Wirkungsabschätzung	18
2.2	Soziale Lebenszyklusanalyse (S-LCA)	21
2.2.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	21
2.2.2	Daten- und Modellgrundlage	22
2.2.3	Wirkungsabschätzung	24

3.	Resultate & Interpretation	25
3.1	Ökobilanz	25
3.1.1	Umweltfussabdruck von Rüben- und Rohrzucker	25
3.1.2	Beitrag der Hauptprozesse im Detail	28
3.1.3	Unsicherheitsanalyse	30
3.2	Soziale Analyse	31
3.2.1	Soziale Risiken von Rüben- und Rohrzucker	31
3.2.2	Beiträge der Hauptprozesse in Paraguay	32

4.	Schlussfolgerungen	34
----	--------------------	----

5.	Literatur	36
----	-----------	----

Anhang

A1	Lebenszyklusinventare	39
A2	Wirkungsabschätzung	46

1. Einführung

1.1 Ausgangslage

Die ökologische und soziale Nachhaltigkeit bzw. der ökologische und soziale Fussabdruck von Zucker ist sowohl für weiterverarbeitende industrielle Abnehmer im Rahmen der ökologischen Optimierung ihrer Versorgungsketten wie auch für Endkonsumenten ein immer wichtiger werdendes Kriterium beim Entscheid zwischen verschiedenen Produktalternativen.

Entsprechend ist die Schweizer Zucker AG bestrebt, die Effizienz und Umweltverträglichkeit ihrer Produktionsprozesse vom Feld bis zum Endprodukt Zucker laufend zu optimieren, um die Nachhaltigkeit der Produktion zu stärken und für die Kunden einen klaren Mehrwert zu schaffen.

Der in Schweizer Fabriken produzierte Bio-Rübenzucker steht in Konkurrenz zum importierten Fairtrade-zertifizierten Bio-Rohrzucker aus Südamerika. Im Fall der Schweiz wird der bedeutende Anteil des Bio-Fairtrade-Rohrzuckers in Paraguay produziert und von dort in die Schweiz importiert.

Seit der in 2008 veröffentlichten Studie von Myclimate (Kägi & Wettstein, 2008) wird dem Bio-Rübenzucker im Vergleich zum Bio-Fairtrade-Rohrzucker aus Südamerika eine nachteilige Klima- und Umweltbilanz angehaftet. Die damalige Studie ist einerseits veraltet und andererseits wurden damals sehr pragmatische Annahmen getroffen und zweifelhafte Analogieschlüsse vorgenommen.

Mit dem vorliegenden Gutachten soll eine auf die aktuelle Situation bezogene, objektive und belastbare Aussage zur ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit von Bio-Rübenzucker gegenüber dem Konkurrenzucker aus Lateinamerika gemacht werden.

1.2 Zielsetzungen

Im Hintergrund der vorgängig skizzierten Ausgangslage verfolgt das vorliegende Projekt die folgende übergeordnete Zielsetzung:

Durchführung einer belastbaren, vergleichenden Analyse der ökologischen und sozialen Auswirkungen von in der Schweiz produziertem Bio-Rübenzucker¹ und importiertem Bio-Fairtrade-Rohrzucker aus Paraguay.

Entsprechend werden die folgenden spezifischen Ziele in dieser Studie angegangen:

- Erarbeitung von aktuellen und belastbaren Dateninventaren für die Bio-Rübenzuckerproduktion und für in die Schweiz importiertem Bio-Fairtrade-Rohrzucker (Bio-FT-Rohrzucker) aus Paraguay.

1 Die Bio-Zuckerrüben für die Produktion von Bio-Rübenzucker in der Schweiz stammen aus der Schweiz (1.1%) und – zum grössten Teil (98.9%) – aus Süddeutschland/Bayern und Baden-Württemberg. Der Hauptgrund liegt darin, dass in der Schweiz heutzutage keine ausreichenden Mengen an Bio-Zuckerrüben angebaut werden.

- Berechnung der Umweltauswirkungen für die beiden Zucker unter Berücksichtigung von Sensitivitäten gegenüber methodischen Annahmen und Datenunsicherheiten.
- Herleitung der Kernaussagen zum ökologischen Vergleich der beiden Zucker.

2. Methodik

In diesem Kapitel werden die dem Projekt zu Grunde liegenden methodischen Herangehensweisen für die Bilanzierung der Umweltauswirkungen (vgl. 2.1) und der sozialen Risiken im Detail beschrieben.

2.1 Ökobilanz (LCA)

Die Ökobilanzierung (bzw: Life Cycle Assessment, LCA) ist eine Methode zur quantitativen Abschätzung von Umweltbeeinträchtigungen, die mit einem beliebigen Produkt bzw. Dienstleistung verbunden sind. Die Methode basiert auf einem Lebenszyklus-Ansatz, was die Berücksichtigung und Bewertung von Umweltauswirkungen von der „Wiege“ bis zur „Bahre“ („cradle-to-grave“) ermöglicht. Die Vorgehensweise in einer Ökobilanz ist in Normen der Internationalen Organisation für Normierung standardisiert (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006) und gliedert sich prinzipiell in vier Phasen: 1) Definition von Ziel- und Untersuchungsrahmen, 2) Sachbilanz, 3) Wirkungsabschätzung, 4) Interpretation.

Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen: Die Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen ist der einsteigende Schritt in eine Ökobilanz und umfasst neben der klaren Beschreibung der Zielsetzungen und der Verwendung bzw. Zielgruppe der Studie die Festlegung der folgenden Elemente:

- Funktionelle Einheit: Bezugs- bzw. Referenzgrösse, auf welche sich die Bewertung der Umweltbelastungen bezieht bzw. zu welcher die umweltrelevanten Inputs und Outputs des untersuchten Produktsystems in Bezug gesetzt werden.
- Systemgrenzen: Präzise Beschreibung des zu bewertenden Produktsystems sowie des zeitlichen, geographischen und technologischen Geltungsbereichs.
- Wesentliche Annahmen: Angaben zu den eingesetzten Allokationsmethoden zum Umgang mit Nebenprodukten sowie der berücksichtigten Umweltwirkungen bzw. Wirkungskategorien und entsprechenden Bewertungsmethoden.

Sachbilanz: Die Sachbilanz ist laut ISO der „Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktes im Verlauf seines Lebensweges umfasst“. Dies beinhaltet sowohl die Inputs und Outputs aus der „Technosphäre“ (Produkte, Hilfsstoffe, Materialien, Elektrizität, Wärme) wie auch aus der „Biosphäre“ (Ressourcen und Emissionen). Alle diese Daten werden zur eingangs definierten funktionellen Einheit in Bezug gesetzt.

Wirkungsabschätzung: In der Wirkungsabschätzung findet der eigentliche Bewertungsschritt innerhalb einer Ökobilanz statt. Dazu werden die kumulierten Ressourcenverbräuche und Emissionen aus der Sachbilanz bezüglich ihrer Umweltwirkungen geordnet (Klassifizierung) und anschliessend innerhalb der Wirkungskategorien untereinander vergleichbar gemacht (Charakterisierung). Hierdurch werden die Informationen auf wenige Indikatoren

verdichtet. Optional kann zusätzlich eine Normalisierung und Gewichtung zwischen den Wirkungskategorien vorgenommen werden, um ein eindimensionales Ergebnis zu erhalten. Dies ist insbesondere hilfreich, wenn es darum geht, verschiedene Produktalternativen hinsichtlich ihres Umweltfussabdrucks gesamtheitlich zu vergleichen. Es gibt eine Vielzahl von Methoden zur Wirkungsabschätzung, die sich im Umfang der bewerteten Inventarflüsse und Umweltwirkungen sowie in ihren Wirkungsmodellen und Gewichtungsansätzen (falls eine Gewichtung vorgenommen wird) unterscheiden.

Interpretation: Interpretation werden die Erkenntnisse aus der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung kombiniert, um die wesentlichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen abzuleiten. Die Interpretation besteht grundsätzlich aus drei Teilen:

- Identifikation von signifikanten Faktoren. Solche 'hot spots' können z.B. Prozessstufen, Emissionen/Ressourcenverbräuche oder Wirkungen sein, die sich als besonders relevant herausgestellt haben.
- Evaluation bezüglich Vollständigkeit, Sensitivitäten bzw. Datenunsicherheiten und Konsistenz.
- Ableiten von Kernaussagen und Empfehlungen hinsichtlich der eingangs formulierten Zielsetzungen der Studie.

2.1.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Die Zielsetzungen der Studie wurden bereits im einführenden ersten Kapitel dargelegt. Deshalb wird im Folgenden die Abgrenzung des Untersuchungsrahmens aufgezeigt, welche der Ökobilanz zu Grunde liegt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Abgrenzung des Untersuchungsrahmens für die Ökobilanz.

WAS	BESCHREIBUNG
Funktionelle Einheit	1 Tonne Bio-zertifizierter ² , weisser Rübenzucker bzw. Fairtrade-Rohrzucker (Bio-FT-Rohrzucker; lose, unverpackt) aus Paraguay in die Schweiz importiert.
Produktsystem (Systemgrenze)	Die Studie verfolgt einen «Cradle-to-gate»-Ansatz, das heisst es werden die Umweltauswirkungen entlang der Produktionskette bis zur Distribution zum Kunden betrachtet. Die beinhaltet insgesamt vier Vordergrundprozesse: <ul style="list-style-type: none"> — Landwirtschaftlicher Anbau von Zuckerrüben bzw. -Rohr — Rüben- bzw. Rohranlieferung vom Hof zur Zuckerfabrik — Herstellung von Rüben- bzw. Rohrzucker in der Fabrik — Zuckerdistribution von der Fabrik zum Kunden
Räumliche Abgrenzung	Bio-Rübenzucker (CH/DE): Biologischer Anbau von Zuckerrüben in Süddeutschland und in der Schweiz und Verarbeitung der Rüben zu Bio-Rübenzucker in der Zuckerfabrik Frauenfeld. Bio-FT-Rohrzucker (PY): Biologischer Anbau von Zuckerrohr und Produktion von Bio-Rohrzucker bei der Fabrik La Felsina in einem repräsentativen Produktionssetting für Paraguay.
Zeitliche Abgrenzung	Bio-Rübenzucker (CH/DE): <ul style="list-style-type: none"> — Rübenanbau und –Transporte: Mittelwert 2011-2015, um saisonal schwankende Anbaubedingungen auszugleichen — Zuckerfabrik und Distribution: 2015 Bio-FT-Rohrzucker (PY): <ul style="list-style-type: none"> — Rohranbau und –Transporte: Mittelwert 2011-2015, um saisonal schwankende Anbaubedingungen auszugleichen — Zuckerfabrik und Distribution: 2015
Allokationsmethoden	4 Methoden zur Aufteilung der Umweltauswirkungen auf Zucker (Hauptprodukt) und die Nebenprodukte (z.B. Rübenschnitzel): <ul style="list-style-type: none"> — Saccharose-Gehalt: Anteil des jeweiligen Produkts am Total (Menge mal Saccharose-Gehalt) — Energieinhalt (unterer Heizwert): Anteil des jeweiligen Produkts am Total (Menge mal Energieinhalt) — Vermeidung durch Substitution: Gutschrift für vermiedene Umweltbelastung aus der Herstellung eines Alternativprodukts — Ökonomische Allokation über den Umsatzanteil des jeweiligen Produkts am Gesamtumsatz (Menge mal Absatzpreis)
Methoden zur Wirkungsabschätzung	Wahl von zwei breit anerkannten, «state-of-the-art» Methoden zur Bewertung der Gesamtumweltbelastungen: <ul style="list-style-type: none"> — Methode der Ökologischen Knappheit 2013 — ILCD-Methode (International Reference Life Cycle Data System)

² Die Bio-Rüben wie auch das Bio-Rohr entsprechen Bio Suisse Qualität, die über die Anforderungen im EU-Bio-Standard hinausgehen. Die Bio-Rüben stammen von den Verbänden Bio-land, Naturland, Demeter, Biokreis und Bio Suisse.

2.1.2 Sachbilanz

In der Sachbilanz ging es darum, aktuelle Durchschnittsdaten für die Produktion von Bio-Rübenzucker und für die Produktion von Bio-Fairtrade-Rohrzucker in Paraguay zu entwickeln.

Dies beinhaltet die Zusammenstellung von Daten zu Inputs und Outputs der vier Vordergrund- bzw. Hauptprozesse: 1. Landwirtschaftlicher Bio-Anbau von Zuckerrüben bzw. Zuckerrohr, 2. Rüben- bzw. Rohranlieferung vom Hof zur Zuckerfabrik, 3. Zuckerfabrik, 4. Bio-Zuckerdistribution zum Kunden. Daten zur Produktion der erforderlichen Vorleistungen basieren auf der breit anerkannten und hochwertigen Ecoinvent-Datenbank (V3.3). Dies beinhaltet beispielsweise Daten zur Produktion von Mineraldüngern, Pflanzenschutzmitteln, Maschinen, Wärme und Strom, Kalkstein.

Dazu wurden für die Produktionssysteme in beiden Ländern aktuelle Daten für die genannten Hauptprozesse der Produktionsketten erhoben. Bei landwirtschaftlichen Anbausystemen (wie z.B. Anbau von Zuckerrüben) ist die Frage der Systemgrenze aufgrund von Abhängigkeiten zwischen Pflanzenbau und Tierproduktion sowie aufgrund der Tatsache, dass der Anbau in Fruchtfolgen mit zwischengeschalteten Gründüngungen erfolgt vergleichsweise komplex. Abbildung 1 illustriert, welche Prozesse in der Umweltbewertung dem Anbau der Zuckerrüben bzw. dem Zuckerrohr angerechnet werden. Einerseits beinhaltet die Systemgrenze alle Prozesse und Flüsse, welche direkt mit dem Anbau in Verbindung stehen, von der Aussaat über die Feldbewirtschaftung bis zur Ernte. Andererseits werden auch die folgenden Aktivitäten und Prozesse bzw. Emissionen berücksichtigt:

- Die Prozesse und entsprechenden Umweltbelastungen der Tierproduktion, bei welchen die Hofdünger (Gülle, Mist) anfallen, werden in der Bewertung nicht berücksichtigt; Emissionen aus der Lagerung der im Rübenanbau applizierten Hofdünger hingegen schon.
- Die im Rahmen der Fruchtfolge der Zuckerrübe vorgelagerte Zwischenkultur zur saisonalen Stickstofffixierung (Gründüngung), weil die dabei fixierten und in den Boden eingetragenen Nährstoffe der Zuckerrübe zur Verfügung stehen und entsprechend nicht über alternative Dünger (Mineraldünger, organische Handelsdünger, Hofdünger) zugeführt werden müssen.
- Direkte und indirekte Feldemissionen von Nährstoffen und Schwermetallen, welche aufgrund der eingetragenen Dünger und Pestizide in die Umweltkompartimente (Grundwasser, Oberflächengewässer, Atmosphäre, Boden) emittiert werden.
- Nährstoffe von auf dem Feld belassenen Ernterückständen werden durch eine Reduktion der in den Düngungsnormen empfohlenen Nährstoffmengen gutgeschrieben.

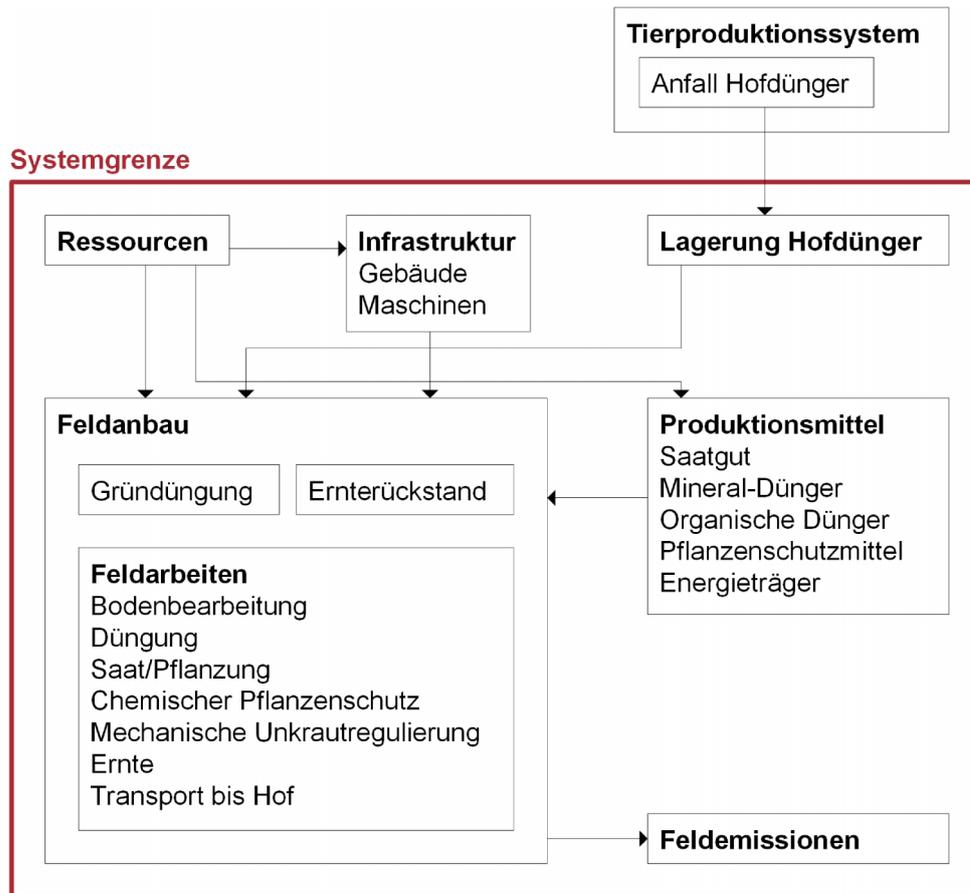


Abbildung 1: Systemabgrenzung im landwirtschaftlichen Anbau von Zuckerrüben in der Schweiz/DE und in Paraguay.

Die Feldemissionen in die Umweltkompartimente wurden sowohl für den Rübenanbau in Süddeutschland/Schweiz, wie auch für den Rohranbau in Paraguay nach den gängigen Ökobilanz-Methoden berechnet. Diese Emissionen hängen ab von Mengen und Typen der eingesetzten Dünger und Pflanzenschutzmittel, aber auch von Bodentypen und meteorologischen Bedingungen (z.B. Niederschlags-Regime). Die folgenden Emissionen in die Umwelt wurden berücksichtigt und auf Basis entsprechender Grundlagen quantifiziert:

- Ammoniak-Emissionen in die Atmosphäre bestimmt über Menge und Typen der eingesetzten Dünger (Nemecek & Kägi, 2007; Hersener et al., 2002; Biomasse-Forum, 2008)
- Nitrat-Emissionen ins Grundwasser (Faist Emmenegger et al., 2009)³
- CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von Harnstoff (Nemecek & Kägi, 2007)
- Phosphor-Auswaschung in Grund- und Oberflächengewässer (Nemecek & Kägi, 2007)
- Lachgas-Emissionen in die Atmosphäre (Nemecek & Kägi, 2007)

3 Stickstoff in auf dem Feld belassenen Ernterückständen (z.B. Blattwerk) wurden für die Abschätzung der Nitratemissionen ins Grundwasser berücksichtigt.

In den folgenden beiden Unterkapiteln wird näher auf die Datensammlung und -Modellierung für die beiden Produktionssysteme in der Schweiz/DE und Paraguay eingegangen. Die kompletten Lebenszyklusinventare zu den Hauptprozessen mit allen In- und Output-Daten sind im Anhang aufgeführt (vgl. A1).

Schweiz

Zuckerrübenanbau und –Anlieferung

Für die Modellierung des biologischen Anbaus von Zuckerrüben in Süddeutschland und in der Schweiz wurde das bestehende Dateninventar zum Schweizerischen Anbau von Zuckerrüben aus Ecoinvent umfassend an die heute vorherrschenden Bedingungen im biologischen Rübenanbau angepasst. Die wesentlichen Anpassungen und die den Anpassungen zu Grunde liegenden Literatur- bzw. Datengrundlagen sind in Tabelle 2 dargestellt und beschrieben.

Tabelle 2: Erhobene Daten zu den unterschiedlichen Aktivitäten im Anbau von Zuckerrüben in der Schweiz.

WAS	BESCHREIBUNG
Feldertrag bzw. Erntemenge	<p>Der Feldertrag bzw. Erntemenge (in t Zuckerrüben je Hektar Anbaufläche) für den biologischen Anbau in der Schweiz wurde für die Jahre 2011-2015 beim Forschungsinstitut für biologischen Landbau erhoben (FiBL, 2016; FiBL, 2012). Die entsprechenden Werte für den Anbau in Süddeutschland stammen von der Schweizer Zucker AG (SZU, 2016).</p> <p>Anhand der entsprechenden Produktionsanteile in den beiden Ländern wurde zur Verwendung in der vorliegenden Studie ein Mengengewichteter Mittelwert für die Jahre 2011-2015 berechnet.</p> <p>Der Feldertrag ist die sensitivste Grösse im Anbau der Zuckerrüben, da dieser festlegt, welche Fläche für die Produktion der für eine Tonne Zucker erforderlichen Zuckerrüben benötigt wird.</p>
Düngung	<p>Die Daten zu Mengen und Typen der verabreichten Dünger wurden an die heute vorherrschende Situation im biologischen Zuckerrübenanbau angepasst. Dazu wurden aktuelle Daten zu Typen und Mengen der eingesetzten organischen Handelsdünger und Hofdünger (d.h. Gülle, Mist) beim FiBL erhoben (FiBL, 2016; FiBL, 2012). Mineraldünger sind in der biologischen Landwirtschaft nicht zugelassen und werden entsprechend nicht eingesetzt.</p>
Feldarbeiten	<p>Die verwendeten Daten zur Anzahl der verschiedenen Feldarbeiten (z.B. Aussaat, Pflügen, Eggen, Ausbringung Dünger, Unkrautregulierung) entsprechen der gängigen Feldbewirtschaftungspraxis, wie sie im Rübenanbau im Mittel durchgeführt werden.</p>
Pflanzenschutz	<p>Die anstelle des chemischen Pflanzenschutzes zusätzlich durchgeführten Hackvorgänge für die Unkrautregulierung wurden beim FiBL erhoben (FiBL, 2016, FiBL, 2012).</p>

Die Grundlagen und Vorgehensweise zur Berechnung der Feldemissionen wurde bereits vorgängig thematisiert.

Die Transportdaten zur Anlieferung der Zuckerrüben vom Hof in die Zuckerfabrik wurden für das Jahr 2015 erhoben. Die entsprechenden Angaben zur prozentualen Aufteilung auf die unterschiedlichen Transportmittel (Bahn, Traktor, LKW) und die jeweils zurückgelegten Transportdistanzen wurden von der Schweizer Zucker AG rapportiert (SZU, 2016).

Zuckerfabrik und –Distribution

Für die Modellierung der Zuckerfabrik wurden Input- und Outputdaten aus der Kampagne 2015 für das Werk in Frauenfeld verwendet⁴. Da die Produktion von Bio-Rübenzucker in der Fabrik grundsätzlich gleich erfolgt wie die Produktion von konventionellem Rübenzucker, wurde dafür auf die Daten zurückgegriffen, welche im Rahmen einer anderen Studie zum Vergleich von konventionellem Schweizer und Europäischem Rübenzucker erhoben wurden (Spoerri & Bianchetti, 2017). Eine Beschreibung der erhobenen Daten ist in Tabelle 3 zu finden.

Tabelle 3: Erhobene Daten für die Modellierung der Lebenszyklusinventare für die Zuckerfabrik in Frauenfeld.

WAS	BESCHREIBUNG
Zuckerausbeute	Die Zuckerausbeute beschreibt die Menge Zuckerrüben, welche für die Produktion von einer spezifischen Menge Zucker erforderlich ist (in t Rübenzucker je t Zucker). Die Ausbeute ist hinsichtlich der Bilanz sehr entscheidend, da sie bestimmt, wieviel Hektar Rübenanbau in die Umweltbilanz von einer Tonne Zucker einfließt.
Energie (Input)	Daten zu den eingesetzten Energieträgern (z.B. Erdgas oder Steinkohlekoks für die Wärmebereitstellung, Strombedarf und ins Netz abgegebener Stromüberschuss) und entsprechenden Mengen für die Produktion von einer Tonne Zucker.
Rohstoffe (Input)	Daten zu Art und Menge von eingesetzten Roh- und Hilfsstoffen für die Produktion von einer Tonne Zucker. Dies umfasst beispielsweise die Menge Kalkstein, welcher für die Reinigung des extrahierten Rohsaftes benötigt wird, diverse organische und anorganische Chemikalien für die verschiedenen Schritte oder den Wasserbedarf.
Abwasser	Angaben zur Menge von Abwasser und ob die Abwasserreinigung bei der Zuckerfabrik stattfindet oder in die öffentliche Abwasserreinigung eingeleitet wird. Falls die Abwasserreinigung bei der Zuckerfabrik gemacht wird, wurden zusätzlich Informationen zur Art der Reinigung und den im Abwasser enthaltenen Stofffrachten ermittelt.
Nebenprodukte und Abfälle (Output)	Für die Allokation, d.h. Aufteilung der Umweltbelastung auf das Hauptprodukt Zucker und die diversen Nebenprodukte, wurden die folgenden Daten erhoben: Typ und Menge von allen Nebenprodukten der Zuckerfabriken Eigenschaften der Nebenprodukte, welche für die Berechnung der Allokationsfaktoren erforderlich sind: Marktwert (CHF/t), unterer Heizwert (MJ/t), Saccharose-Gehalt (% Saccharose bezogen auf Trockenmasse), Primärprodukt, welche durch die Verwertung des Nebenprodukts ersetzt bzw. substituiert wird (erforderlich für den Ansatz «Vermeidung durch Substitution»).

Aufgrund von geringen Unterschieden in Ökobilanz-relevanten Parametern zwischen der Produktion von konventionellem und Bio-Zucker wurden einige Daten in Abstimmung mit der Werkleitung selektiv angepasst. Dies umfasste die Zuckerausbeute in der Fabrik, die wegen der mindestens heutzutage nur kurz dauernden Bio-Kampagne ein bisschen geringer ist und damit in Verbindung stehend eine geringe Erhöhung des Zucker-Gehalts der Melasse,

⁴ Die Verarbeitung von Bio-Zuckerrüben aus Süddeutschland und der Schweiz zu Bio-Rübenzucker (Bio-Kampagne) findet in der Schweiz ausschliesslich im Werk Frauenfeld statt.

d.h. eine Erhöhung des Zuckeranteils, welcher von der Zuckerrübe ins Nebenprodukt Melasse transferiert wird.

In der Schweizer Zuckerfabrik fallen diverse Nebenprodukte in verschiedenen Teilprozessen (z.B. Press- und Trockenschnitzel aus der Saftextraktion, Kalk aus der Saftreinigung) an. Eine Übersicht über alle Nebenprodukte und die angesprochenen Mengen und Eigenschaften bzw. die Verwertungswege und die dadurch substituierten Primärprodukte sind in Tabelle 4 bzw. Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 4: Produkte und Nebenprodukte mit entsprechenden Mengen und für die verschiedenen Allokationsansätze (Saccharose-Gehalt, Energieinhalt, ökonomisch) relevanten Eigenschaften.

PRODUKTE & NEBENPRODUKTE (je Tonne Zucker)	MENGE (kg bzw. kWh/t Zucker)	UNTERER HEIZWERT (MJ/kg)	SACCHAROSE (% bez. auf TS)	MARKT-ERLÖS (CHF/t)
Zucker	1000	16.93	99.98%	1500
Erde	40.7	0	0	0
Steine/Sand	54.4	0	0	0
Carbokalk	221.1	0	0	21.5
Pressschnitzel (melassiert)	1689.6	1.8	3.1	95
Trockenschnitzel	112.5	14.5	8.9	540
Melasse (Futtermittel)	33.3	10.4	51.0	550
Melasse (Hefeherstellung)	162.4	10.4	51.0	550
Stromüberschuss	20.8	0	0	0
Wärmeüberschuss	9.7	0	0	0
Biogas	32.6	0	0	0

Tabelle 5: Produkte und Nebenprodukte mit Angaben zur Verwertung und dadurch substituierten Primärprodukten (für Vermeidung der Allokation durch Substitution).

NEBENPRODUKTE	VERWERTUNG	SUBSTITUIERTES PRIMÄRPRODUKT
Erde	Produktion Blumenerde	-
Steine/Sand	Rohmaterial Bauindustrie	Sand, Kies aus Abbau
Carbokalk	Dünger	Kalkdünger
Pressschnitzel (melassiert)	Futtermittel Viehwirtschaft	Maissilage
Trockenschnitzel	Futtermittel Viehwirtschaft	Maissilage
Dicksaft	Substrat Hefeindustrie	Maisstärke
Melasse	Futtermittelindustrie	Maissilage
	Substrat Hefeindustrie	Maisstärke
Stromüberschuss	Einspeisung Stromnetz	Strommix CH
Wärmeüberschuss	Fernwärme	Wärme aus Erdgas
Biogas	Prozesswärme	Wärme aus Erdgas

Die Daten zur Distribution des produzierten Rübenzuckers zum Kunden wurden direkt über die Schweizer Zucker AG erhoben. Die Schweizer Zucker AG rapportierte aktuelle Angaben (Jahr 2015) zu den eingesetzten Transportmitteln und den zurückgelegten Transportdistanzen.

Paraguay

Wie früher bereits erwähnt, erfolgte die Datenerhebung für die Produktion von Bio-FT-Rohrzucker in Paraguay über die Fabrik La Felsina. Der dort vorzufindende biologische Anbau von Zuckerrohr und die anschliessende Produktion des Rohrzuckers in der Fabrik sind laut Aussagen von ortskundigen Experten hinsichtlich Technik und Produktionsskala für den Paraguayanischen Biozucker-Sektor repräsentativ.

Zuckerrohanbau und –Anlieferung

Die Daten zum biologischen Anbau von Zuckerrohr wurden als Mittelwert für die Jahre 2011-2015 vollständig erhoben. Dies beinhaltet grundsätzlich dieselben Datenkategorien wie beim Rübenanbau. Eine entsprechende Übersicht und Beschreibung ist in folgender Tabelle 6 zu finden.

Tabelle 6: Erhobene Daten zu den unterschiedlichen Aktivitäten im Anbau von Zuckerrüben in der Schweiz.

WAS	BESCHREIBUNG
Feldertrag bzw. Erntemenge	Der Feldertrag bzw. Erntemenge (in t Zuckerrohr je Hektar Anbaufläche) für den biologischen Anbau in Paraguay für die Jahre 2011-2015. Der Feldertrag ist die sensitivste Grösse im Anbau des Zuckerrohrs, da dieser festlegt, welche Fläche für die Produktion der für eine Tonne Zucker erforderlichen Zuckerrüben benötigt wird.
Düngung	Daten zu Mengen und Typen der verabreichten Dünger (Hofdünger, organische Handelsdünger, Fabrik-Nebenprodukte). Mineraldünger sind in der biologischen Landwirtschaft nicht zugelassen und werden entsprechend nicht eingesetzt.
Feldarbeiten	Daten zur Anzahl der verschiedenen Feldarbeiten (z.B. Aussaat, Pflügen, Eggen, Ausbringung Dünger, Unkrautregulierung).
Pflanzenschutz	Zusätzliche Feldarbeiten für die Unkrautregulierung.

Die Grundlagen und Vorgehensweise zur Berechnung der Feldemissionen wurde bereits vorgängig thematisiert (vgl. 2.1.2).

Die Transportdaten zur Anlieferung Zuckerrohrs vom Hof in die Zuckerfabrik wurden für das Jahr 2015 erhoben. Die entsprechenden Angaben zur prozentualen Aufteilung auf die unterschiedlichen Transportmittel (Bahn, Traktor, LKW) und die jeweils zurückgelegten Transportdistanzen wurden über Pronatec AG bei La Felsina erhoben rapportiert (Schwippert, 2016).

Rohrzuckerfabrik und –Distribution

Auch für die Paraguayanische Zuckerfabrik wurden grundlegend dieselben Angaben wie in der Schweiz erhoben (vgl. Tabelle 3). Einzig der Einsatz von Rohstoffen und Angaben zum Abwasser wurden – aufgrund der geringen Bedeutung für das Ergebnis – aus dem Ecoinvent-Modul zur Zuckerfabrik in Brasilien entnommen. Die Erhebung der entsprechenden Daten erfolgte über einen Fragebogen und Datenerhebungsformulare direkt bei La Felsina.

Auch in der Paraguayanischen Zuckerfabrik fallen in den Teilprozessen verschiedene Nebenprodukte an. Eine Übersicht über alle Nebenprodukte und die angesprochenen Mengen und Eigenschaften bzw. die Verwertungswege

und die dadurch substituierten Primärprodukte sind in Tabelle 7 bzw. Tabelle 8 gegeben.

Tabelle 7: Produkte und Nebenprodukte mit entsprechenden Mengen und für die verschiedenen Allokationsansätze (Saccharose-Gehalt, Energieinhalt, ökonomisch) relevanten Eigenschaften.

PRODUKTE & NEBENPRODUKTE (je Tonne Zucker)	MENGE (kg bzw. kWh/t Zucker)	UNTERER HEIZWERT (MJ/kg)	SACCHAROSE (% bez. auf TS)	MARKT-ERLÖS (USD/t)
Zucker	1000	16.9	99.5	725
Bagasse (Überschuss)	213.1	7.7	1.5	0
Melasse (Futtermittel)	250.0	12.0	50.0	175
Melasse (Hefeindustrie)	250.0	12.0	50.0	175

Tabelle 8: Produkte und Nebenprodukte mit Angaben zur Verwertung und dadurch substituierten Primärprodukten (für Vermeidung der Allokation durch Substitution).

NEBENPRODUKTE	VERWERTUNG	SUBSTITUIERTES PRIMÄRPRODUKT
Bagasse (Überschuss)	Futtermittelzusatz	Miscanthus/Chinaschilf
Melasse (Futtermittel)	Futtermittel Viehwirtschaft	Maissilage
Melasse (Hefeindustrie)	Substrat Hefeindustrie	Maisstärke

Die übrigen Nebenprodukte der Rohrzuckerfabrik – Filterkuchen aus der Saftreinigung und Asche aus der Bagasse-Verbrennung – werden in der Allokation nicht berücksichtigt. Der Grund liegt darin, dass beide Nebenprodukte für Düngung, Bodenverbesserung, und Bewässerung direkt auf die eigenen Zuckerrohrfelder zurückgeführt werden, was sich in reduzierten Inputs im Rohranbau äussert und damit in die Bewertung einfließen.

Die Daten zu Transportdistanzen für die Zuckerdistribution in die Schweiz wurden mit einem Distanzrechner auf Grundlage der Angaben zu Transportrouten abgeschätzt. Die Angaben zu den eingesetzten Transportmitteln wurden bei La Felsina erhoben.

2.1.3 Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsabschätzung erfolgte die Bewertung der Umweltauswirkungen, welche mit den in den beiden Sachbilanzen abgebildeten kumulierten Ressourcenverbräuchen und Emissionen in Verbindung stehen.

In Anbetracht des in der vorliegenden Studie durchzuführenden Vergleichs des Umweltfussabdrucks der beiden Rübenzucker (Schweiz, EU) wurden zwei gesamttaggregierende Bewertungsmethoden eingesetzt, d.h. Methoden, welche die einzelnen Umweltwirkungen zu einer einzigen Kenngrösse zusammenfassen:

— Methode der ökologischen Knappheit 2013: Diese Methode wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen in einer

Kenngrosse (Umweltbelastungspunkte, UBP) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine Stoffflussmethode, bei der neben den bereits bestehenden Belastungen die umweltpolitischen Ziele der Schweiz einfließen. Es wurde die Version 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013) als Hauptbewertungsmethode verwendet.

- ILCD (v1.04): Die ILCD⁵ Methode (European Commission, 2011) berücksichtigt 16 verschiedene Wirkungskategorien und basiert auf aktuellsten wissenschaftlichen Erkenntnissen. ILCD v1.04 beinhaltet einen Normierungsschritt (European Commission, 2014) und eine Gewichtung für die Vollaggregation zu einer Kenngrosse (ILCD ecopoints). Die Gewichtung basierte auf dem Vorschlag aus einer Studie des Joint Research Center der Europäischen Kommission (Hupperts & van Oers, 2011). Die ILCD-Methode v1.04 wurde in der vorliegenden Studie als Zweitmethode zur Plausibilisierung bzw. Prüfung der Robustheit eingesetzt.

5 International Reference Life Cycle Data System

Unsicherheitsanalyse

Die erhobenen bzw. modellierten Daten für die beiden Produktionssysteme sind mit Unsicherheiten verbunden. Für die Analyse der Sensitivität der Umweltbelastungen gegenüber Unsicherheiten in den Sachbilanz-Daten, wurden die Input- und Output-Daten hinsichtlich ihrer Qualität beurteilt. Die Beurteilung der Datenqualität erfolgte über den sogenannten Pedigree-Ansatz (Ciroth et al., 2016), welcher fünf Indikatoren und für jeden Indikator fünf Qualitätsstufen unterscheidet (vgl. Tabelle 9). Diese Ordinalskala-basierte Information wird dann übertragen in eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Anhand dieser Verteilungen wurde die Unsicherheitsverteilung der Umweltbelastungen über eine Monte-Carlo-Simulation berechnet. Um statistisch aussagekräftige Resultate zu gewährleisten, wurden im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation 10'000 Berechnungen mit spezifischen, aus den Verteilungen zufällig ausgewählten Datenwerten durchgeführt.

Tabelle 9: Indikatoren zur Beurteilung der Datenqualität nach der Pedigree-Matrix.

INDIKATOR	BESCHREIBUNG
Verlässlichkeit	Mass für die Robustheit der Daten; Beurteilung unterscheidet zwischen verifizierten Messungen über nicht-verifizierte Annahmen bis zu Schätzungen
Vollständigkeit	Mass für die Repräsentativität der Daten; sind die Daten aus ausreichender Anzahl von Standorten/Anlagen über eine ausreichende Zeitperiode erhoben
Zeitliche Korrelation	Mass für die Aktualität der Daten; Beurteilung der zeitlichen Differenz zwischen Zeitpunkt der Studie und dem Zeitbezug der erhobenen Daten
Geographische Korrelation	Mass für die räumliche Repräsentativität der Daten; Beurteilung berücksichtigt, wie genau der räumliche Perimeter der Datenerhebung mit demjenigen der Studie übereinstimmt
Technische Korrelation	Mass für den technologischen Bezug der Daten; wie genau bilden die erhobenen Daten die Situation des untersuchten Produktsystems ab

2.2 Soziale Lebenszyklusanalyse (S-LCA)

Für die Bestimmung des sozialen Fussabdrucks der beiden Zuckerproduktionsketten wurde die Methode der sozialen Lebenszyklusanalyse (S-LCA) eingesetzt. Diese Methode orientiert sich an einem vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) publizierten Leitfaden «Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products» (Benoit & Mazijn, 2009). Dieser beinhaltet für unterschiedliche Anspruchsgruppen Sozialthemen, diese operationalisierende Indikatoren sowie anerkannte Informations- und Datengrundlagen zur Quantifizierung der Sozialthemen (Benoit et al., 2013). In der anschliessenden «Hotspots Analysis» werden die Themen bzw. die jeweiligen Indikatoren anhand von quantitativen Modellen quantifiziert und Aussagen zur Höhe der sozialen Risiken gemacht (Barthel et al., 2017). Im Folgenden wird die Anwendung und die verwendeten Datengrundlagen für die S-LCA genauer beschrieben.

2.2.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Die Zielsetzungen der Studie wurden bereits im einführenden ersten Kapitel dargelegt. Deshalb wird im Folgenden die Abgrenzung des Untersuchungsrahmens aufgezeigt, welche der sozialen Lebenszyklusanalyse zu Grunde liegt (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Abgrenzung des Untersuchungsrahmens für die S-LCA.

WAS	BESCHREIBUNG
Funktionelle Einheit	1 Tonne Bio-zertifizierter, weisser Rübenzucker bzw. Fairtrade-Rohrzucker (Bio-FT-Rohrzucker; lose, unverpackt) aus Paraguay in die Schweiz importiert.
Produktsystem (Systemgrenze)	Die Studie verfolgt einen «Cradle-to-gate»-Ansatz, das heisst es werden die Umweltauswirkungen entlang der Produktionskette bis zur Distribution zum Kunden betrachtet. Betrachtet wurden die folgenden Prozesse: <ul style="list-style-type: none"> — Landwirtschaftlicher Anbau von Zuckerrüben bzw. -Rohr — Herstellung von Rüben- bzw. Rohrzucker in der Fabrik Für diese beiden Produktionsstufen wurden jeweils die direkten sozialen Risiken beurteilt. Soziale Risiken, die mit der Herstellung der erforderlichen Vorleistungen (z.B. Düngerproduktion) verbunden sind, wurden von der Analyse ausgenommen.
Räumliche Abgrenzung	Bio-Rübenzucker (CH/DE): Biologischer Anbau von Zuckerrüben in Süddeutschland/Schweiz und Verarbeitung der Rüben zu Bio-Rübenzucker in der Zuckerfabrik Frauenfeld. Bio-FT-Rohrzucker (PY): Biologischer Anbau von Zuckerrohr und Produktion von Rohrzucker in Paraguay.
Stakeholder	Fokus auf die beiden relevanten Stakeholder: <ul style="list-style-type: none"> — Arbeitnehmende — Lokale Gemeinschaft
Zeitlicher Bezug	2013 (CH/DE und PY)

2.2.2 Daten- und Modellgrundlage

Die Analyse der sozialen Risiken basierte in beiden Fällen auf der sogenannten Social Hotspots Database (New Earth, 2017). In der Datenbank sind standardisierte und verifizierte Informationen zu den sozialen Risiken – sprich zu den Sozialthemen und entsprechenden Indikatoren – für verschiedene Länder und Branchen abgelegt. Insgesamt sind darin 227 Länder und 57 Wirtschaftsbranchen über insgesamt 150 Risiko-Indikatoren, die 22 Sozialthemen zugeordnet sind, enthalten.

Für die vorliegende Studie wurden insgesamt 13 Sozialthemen zu den beiden Stakeholder Arbeitnehmende und Lokales Gemeinwesen berücksichtigt (vgl. Tabelle 12).

Um die Länder und Sektor spezifischen Informationen in Bezug zu einem bestimmten Produkt – hier Rüben- bzw. Rohrzucker – zu setzen, basiert die Hotspots Analysis auf dem globalen Input-Output-Modell der GTAP-Datenbank (Corong et al., 2017) und einem integrierten Arbeitszeitmodell. Im Input-Output-Modell sind die Produktionsbeziehungen zwischen den volkswirtschaftlichen Branchen nach Ländern in Form von Geldtransaktionen abgebildet. Ausgehend von einer bestimmten Menge eines Produkts in einem Land – im vorliegenden Fall 1 Tonne Rüben- bzw. Rohrzucker – kann anhand dieses Modells bestimmt werden, welche Wirtschaftsbranchen und Länder in welchem Umfang zur Produktion der erforderlichen Vorleistungen beitragen. Über das Arbeitszeitmodell wiederum werden diese Geldflüsse in Arbeitsstunden der involvierten Branchen und Länder übergeführt.

Für Bewertung der sozialen Risikoindikatoren dienen einerseits die Arbeitsstunden, die bei der Herstellung der funktionellen Einheit – 1 Tonne Rüben- bzw. Rohrzucker – in verschiedenen Branchen und Ländern anfallen. Andererseits ist die Ausprägung der sozialen Risiken für jede Branche und jedes Land auf einer vier-stufigen Risikoskala spezifiziert (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Skala für die Sozialrisiken zur Gewichtung der Arbeitsstunden.

RISIKO-SKALA	GEWICHTUNGSFAKTOR
Geringes Risiko	0.1
Mittleres Risiko	1
Hohes Risiko	5
Sehr hohes Risiko	10

Anpassung auf Fairtrade

Wie bereits erwähnt, basiert die Bewertung der sozialen Risiken auf dem globalen Input-Output-Modell der GTAP. In diesen Modellen ist die gesamte Zuckerproduktion als eine Branche beschrieben. In der vorliegenden Studie wurde jedoch nicht der durchschnittliche Rohrzucker aus Paraguay, sondern der nach dem internationalen Fairtrade-Standard produzierte Rohrzucker untersucht. Entsprechend musste die Datengrundlage für den Paraguay-

ischen Rohrzucker an den Fairtrade-Standard angepasst werden. Die Anpassung erfolgte auf der Ebene der Gewichtungsfaktoren für die Sozialrisiken und wurde beziehend auf den Fairtrade-Standard sowie verschiedene Studien und Untersuchungen vorgenommen, die sich mit der Wirkung von Fairtrade und vergleichbaren Nachhaltigkeitsstandards auseinandersetzen (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Anpassung auf Fairtrade-Standard beim Rohrzucker aus Paraguay.

SOZIALTHEMA	GEWICHTUNGSFAKTOR		QUELLE
	Ohne FT	Mit FT	
Kinderarbeit	Sehr hoch	Hoch	[1]
Zwangsarbeit	Hoch	Mittel-hoch	[2]
Diskriminierung Geschlecht	Mittel	Gering-mittel	[3]
Wanderarbeiter	-	-	keine
Exzessive Arbeitszeiten	Hoch	Mittel-hoch	[2]
Kollektivverhandlungen	Mittel	Gering-mittel	[2]
Lohn unter Armutsgrenze	Sehr hoch	Gering	[4]
Mindestlohn	Hoch	Gering	[4]
Arbeitsunfälle	Hoch	Mittel-hoch	[5]
Gesundheitsgefährdung	Mittel	Mittel-gering	[5]
Korruption	Sehr hoch	Hoch	[4]
Rechte indigener Bevölkerung	Sehr hoch	Sehr hoch	keine
Zugang zu Trinkwasser	Hoch	Hoch	keine

[1] COSA (2013)

[2] Fairtrade Labelling Organization International (2015)

[3] Vagneron & Roquigny (2010)

[4] Sustainable Food Lab & The Ford Foundation (2013)

[5] Oya et al. (2017)

Da der Fairtrade-Standard im Fall von Zucker vorwiegend auf Kleinbauern-Organisationen (Kooperativen) fokussiert, wurde bei der Anpassung nur der landwirtschaftliche Rohranbau berücksichtigt. Indirekte Wirkungen auf die Verarbeitung in den Rohrzuckerfabriken wurden nicht berücksichtigt.

2.2.3 Wirkungsabschätzung

Die Berechnung der sozialen Risikoindikatoren ergibt sich aus der Multiplikation der Arbeitsstunden, die mit der Produktion von 1 Tonne Bio-Rüben- bzw. Bio-FT-Rohrzucker im landwirtschaftlichen Anbau und der Zuckerfabrik verbunden sind, mit dem Gewichtungsfaktor für das entsprechende Sozialrisiko in der jeweiligen Branche und Land. Das Sozialrisiko wird deshalb in sogenannten Mittleren Risikostunden (MRS) ausgedrückt.

Zur Vereinfachung der Darstellung und besseren Lesbarkeit der Resultate wurden in der vorliegenden Studie die errechneten mittleren Risikostunden in eine einfach übersichtliche, fünf-stufige Ordinalskala übertragen (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Ordinalskala für die Sozialrisiken.

MITTLERE RISIKOSTUNDEN (MRS)	ORDINALSKALA	BEZEICHNUNG
0–100	1	Sehr gering
100–300	2	Gering
300–600	3	Mittel
600–1000	4	Kritisch
> 1000	5	Hoch kritisch

3. Resultate & Interpretation

Die Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse in den folgenden Unterkapiteln bezieht sich auf die Methode der ökologischen Knappheit 2013. Die entsprechenden Ergebnisse für die ILCD-Methode und die detaillierten Ergebnisse für beide Bewertungsmethoden sind im Anhang zu finden (vgl. A2).

3.1 Ökobilanz

3.1.1 Umweltfussabdruck von Rüben- und Rohrzucker

Die Resultate der Ökobilanz (d.h. Umweltfussabdruck) des Bio-Rübenzuckers und des Bio-FT-Rohrzuckers aus Paraguay sind einander in Abbildung 2 gegenübergestellt.

Die Resultate zeigen, dass der Bio-Rübenzucker im Vergleich zum importierten Bio-FT-Rohrzucker aus Paraguay einen deutlich geringeren Umweltfussabdruck aufweist bzw. über die Produktionskette weniger Umweltbelastungen anfallen. Dies gilt sowohl für die Resultate ohne Allokation wie auch für die nach verschiedenen Methoden auf den Zucker zugeteilten Resultate zur Umweltbelastung. Ohne Allokation auf die Nebenprodukte beträgt der Unterschied je Tonne Zucker etwa 738'000 UBP (PY: 2'109'383 UBP, CH: 1'371'496 UBP) bzw. 35% weniger Umweltbelastung des Bio-Rübenzuckers gegenüber dem Paraguayischen Bio-FT-Rohrzucker.

Die Höhe des Unterschieds in der Umweltbelastung zwischen den beiden Rübenzuckern variiert je nach Allokationsmethode, welche für die Aufteilung des Umweltfussabdrucks auf den Zucker bzw. die anfallenden und verwerteten Nebenprodukte eingesetzt wurde. Am ausgeprägtesten ist der Unterschied mit 40% bei der Anwendung der ökonomischen Allokation, welche den Umweltfussabdruck aufgrund der jeweiligen Umsatzanteile auf den Zucker und die Nebenprodukte aufteilt. Bei den anderen drei Allokationen beträgt der Umweltvorteil des Bio-Rübenzuckers 32% (Saccharose-Gehalt), 36% (Energieinhalt) und 39% (Vermeidung durch Substitution).

Der Hauptgrund dafür, dass der Unterschied bei der ökonomischen Allokation am höchsten ausfällt, liegt einerseits daran, dass in der Rohrfabrik das mengenmässig klar dominierende Nebenprodukt, die Bagasse, für interne Zwecke verwendet wird und der Bagasse-Überschuss gratis abgegeben wird. Andererseits werden gegenüber der Schweiz für die Melasse im Vergleich zum Zucker in Paraguay geringere Markterträge erzielt. Entsprechend wird beim Rohrzucker nur ein geringer Anteil von 9% des Umweltfussabdrucks auf die Nebenprodukte verlagert (beim Bio-Rübenzucker sind es 16%). Dass die übrigen Allokationsfaktoren – trotz dem hohen internen Verwertungsgrad in Paraguay – vergleichsweise ähnlich sind, ist auf die tiefe Zuckerausbeute der Rohrfabrik bzw. den hohen Zuckertransfer in die Melasse zurückzuführen.

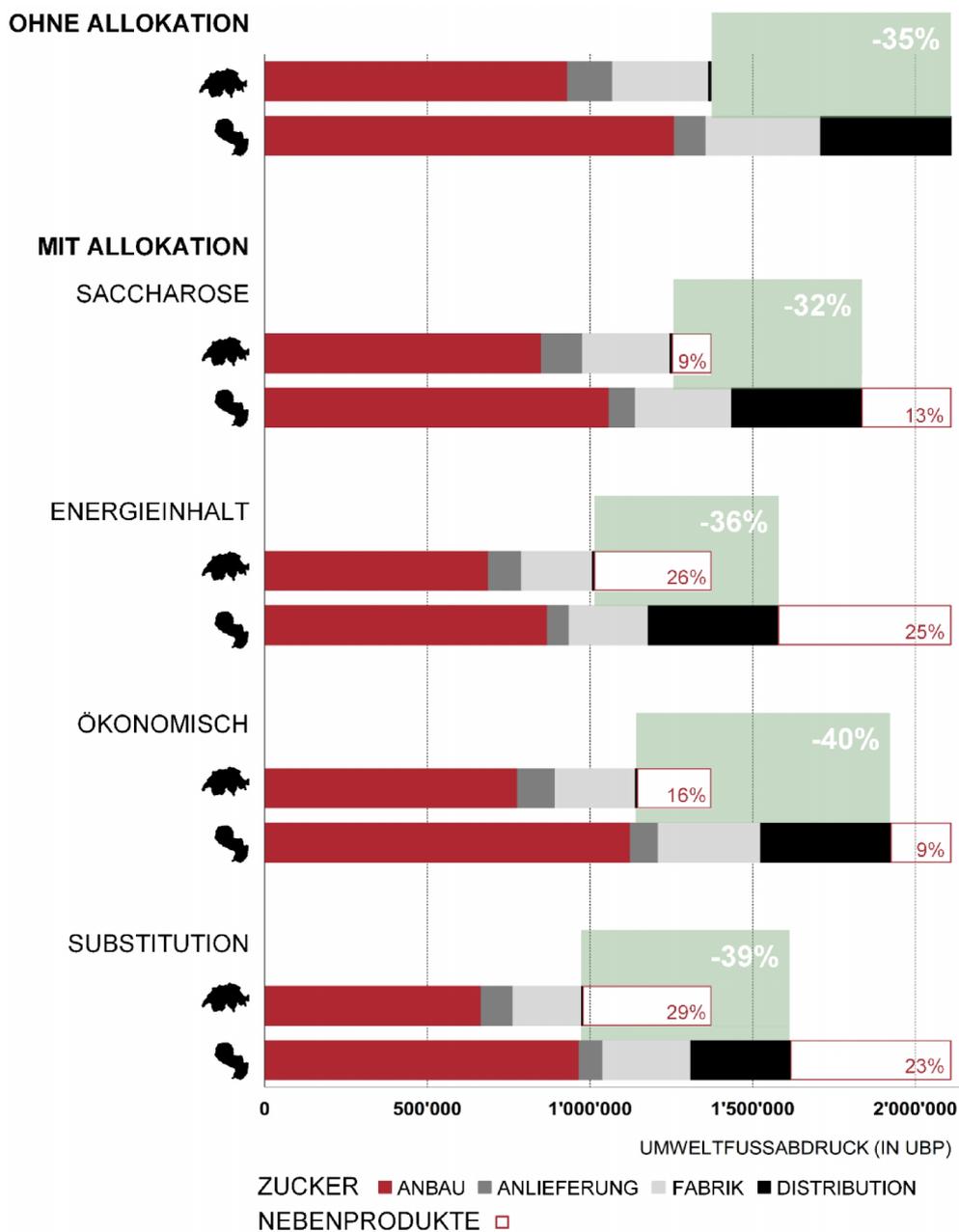


Abbildung 2: Vergleich des Umweltfussabdrucks von Bio-Rübenzucker und Bio-FT-Rohrzucker aus Paraguay ohne Allokation bzw. mit unterschiedlichen Allokationen (UBP gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2013; Prozentangaben in den Balken bezeichnen den auf die Nebenprodukte allozierten Anteil des gesamten Umweltfussabdrucks; Prozentangaben in grünen Flächen zeigen den Umweltvorteil des Bio-Rübenzuckers gegenüber dem Rohrzucker aus Paraguay).

Die Ergebnisse zeigen auch, dass der Umweltfussabdruck in beiden Fällen klar von der landwirtschaftlichen Anbauphase dominiert wird, d.h. entlang der Produktionskette fallen die meisten Umweltbeeinträchtigungen im biologischen Rüben- bzw. Rohranbau an. Der Anteil beim biologischen Rübenanbau zum Umweltfussabdruck liegt bei knapp 68%, beim biologischen Rohranbau in Paraguay bei knapp 60%. Ebenfalls bedeutend sind in beiden Fällen die Umweltbelastungen der Zuckerfabrik (CH: 22%, PY: 16%). Bei den Transporten fällt einerseits die Rübenanlieferung zu den Schweizer Fabriken

aus Süddeutschland vergleichsweise stark ins Gewicht (10%), während beim Rohrzucker der Import von Paraguay zum Schweizer Kunden mit rund 20% sogar noch mehr zum Umweltfussabdruck als die Rohrzuckerfabrik beisteuert.

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich wird, rührt der vorteilhafte Umweltfussabdruck des Bio-Rübenzuckers praktisch vollumfänglich aus deutlich geringeren Umweltbelastungen im landwirtschaftlichen Rübenanbau (CH: 0.93 Mio. UBP, PY: 1.26 Mio. UBP), der Zuckerfabrik (CH: 0.30 Mio. UBP, PY: 0.35 Mio. UBP) und natürlich der Distribution des Zuckers zum Kunden (CH: 0.006 Mio. UBP, PY: 0.4 Mio. UBP) her. Dies ist grundsätzlich auf die folgenden Sachverhalte zurückzuführen:

- Flächenertrag im Rübenanbau: Die geerntete Menge Rüben pro Anbaufläche (t pro Hektar) ist in Süddeutschland/Schweiz mit etwa 58 t/ha höher als die geerntete Rohrmenge in Paraguay (55.5 t/ha). Da entsprechend für dieselbe Erntemenge weniger landwirtschaftliche Anbaufläche bewirtschaftet werden muss und die Anbauphase den Umweltfussabdruck im Vergleich zu den anderen Hauptprozessen eindeutig am stärksten bestimmt, hat dies einen signifikanten Einfluss auf den ökologischen Produktvergleich.
- Zuckerausbeute in der Fabrik: Die erforderliche Menge Zuckerrüben für die Produktion von einer Tonne Rübenzucker ist in der Schweiz mit rund 6.60 Tonnen deutlich geringer als in der Paraguayischen Fabrik, welche rund 11.36 t Rohr für die Produktion von einer Tonne Rohrzucker benötigt. (rund 6.81 Tonnen). Die höhere Zuckerausbeute hat zur Folge, dass für die Produktion von einer Tonne Zucker weniger Rüben erforderlich sind und wiederum weniger Anbaufläche bewirtschaftet werden muss (vgl. Ausführungen zum Flächenertrag im Rübenanbau).
- Mengen und Typen von Produktionsmitteln: Weitere Unterschiede sind in den Mengen und Typen der eingesetzten Rohstoffe und Energieträger bzw. den daraus resultierenden Umweltemissionen zu finden (z.B. Dünger im Rübenanbau, Prozesswärme für Fabrik).
- Zuckerdistribution: Während die Distribution des Bio-Rübenzuckers zum Kunden über kurze Distanzen erfolgt, muss der Bio-FT-Rohrzucker über sehr grosse Distanzen aus Übersee importiert werden. Dies umfasst

Aufgrund der Bedeutung des landwirtschaftlichen Anbaus und der Zuckerfabrik für den Umweltfussabdruck bzw. die Aussagen der vorliegenden Studie wird auf die Umweltbelastungen bzw. unterschiedlichen Beiträge der diese verursachenden Subprozesse im folgenden Unterkapitel noch näher eingegangen.

3.1.2 Beitrag der Hauptprozesse im Detail

Rüben- bzw. Rohranbau

Die Aufteilung des Umweltfussabdrucks vom Rübenanbau auf die verschiedenen Subprozesse ist in Abbildung 3 für beide Produktionssysteme dargestellt.

Es wird einerseits offensichtlich, dass der bedeutende Anteil am Umweltfussabdruck grundlegend von denselben Subprozessen herrührt. Dabei handelt es sich um die Landnutzung bzw. Flächenverbrauch, die Feldarbeiten, die Produktion der Mineraldünger sowie die Emissionen in die Umweltkompartimente (Luft, Boden, Wasser). Andererseits zeigen sich aber auch bedeutende Unterschiede in den einzelnen Beiträgen der genannten Subprozesse. Von stark untergeordneter Bedeutung für den Umweltfussabdruck im Rübenanbau sind die Herstellung des Saatguts bzw. der Pflanzenschutzmittel und die nur in der EU zum Einsatz kommende künstliche Bewässerung.

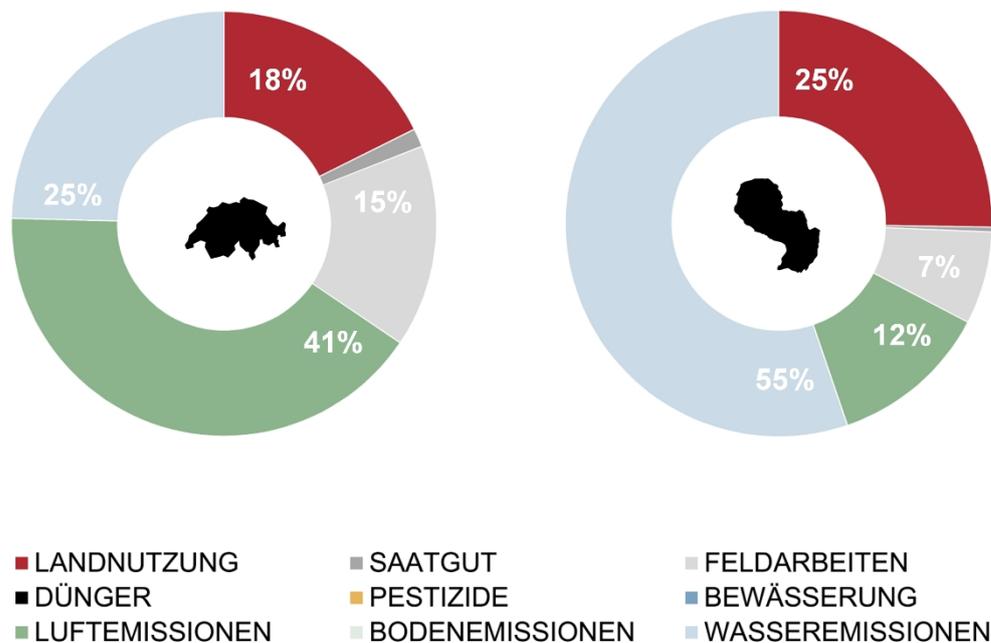


Abbildung 3: Beiträge der Subprozesse zum Umweltfussabdruck vom Rüben- bzw. Rohranbau in (UBP gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013).

Die Feldemissionen in die Umwelt steuern sowohl beim Rübenanbau in Süddeutschland und in der Schweiz wie auch beim Rohranbau in Paraguay den bedeutendsten Beitrag zum Umweltfussabdruck bei (CH: 66%, PY: 67%). Während beim Rübenanbau die Feldemissionen in die Luft, v.a. Ammoniakverflüchtigung beim Ausbringen der Gülle und Lachgas-Emissionen aus der Umwandlung von Stickstoff im Boden, relevant sind (41%), sind in Paraguay die Emissionen in die Gewässer absolut zentral (55%). Die Umweltrelevanz der Wasseremissionen steht – in Paraguay wie auch in Süddeutschland und in der Schweiz – hauptsächlich mit der Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser im Zusammenhang. Ebenfalls bedeutend sind im Falle von Paraguay die Schwermetalle, welche über die Nebenprodukte zurück aufs Feld geführt

werden. Auch die Landnutzung leistet in beiden Fällen einen gewichtigen Beitrag zum Umweltfussabdruck im Rüben- bzw. Rohranbau (CH/DE: 18%, PY: 25%). In Süddeutschland und in der Schweiz ist der Beitrag trotz tieferem Gesamtfussabdruck im Anbau geringer, was auf den höheren Flächenertrag und insbesondere die höhere Zuckerausbeute in der Fabrik zurückzuführen ist.

Ebenfalls erwähnenswert sind die Feldarbeiten, die während der Kultivierung der Zuckerrüben bzw. -rohrs durchgeführt werden, insbesondere die Ernte und Pflügen. Beim Anbau der Rüben ist der Beitrag mit 15% höher als in Paraguay (7%), was mit einer aufwändigeren Bewirtschaftung in Verbindung steht. Dies liegt vermutlich in der vergleichsweise höheren Anfälligkeit der Zuckerrübe begründet. Die Herstellung des Saatguts ist von stark untergeordneter Bedeutung. Pestizide und Mineraldünger kommen im Biolandbau nicht zum Einsatz und in beiden Fällen reicht die natürliche Bewässerung im Normalfall aus.

Zuckerfabrik

Abbildung 4 stellt dar, wie sich der Umweltfussabdruck der Zuckerfabrik in der Schweiz und in Paraguay im Detail zusammensetzt.

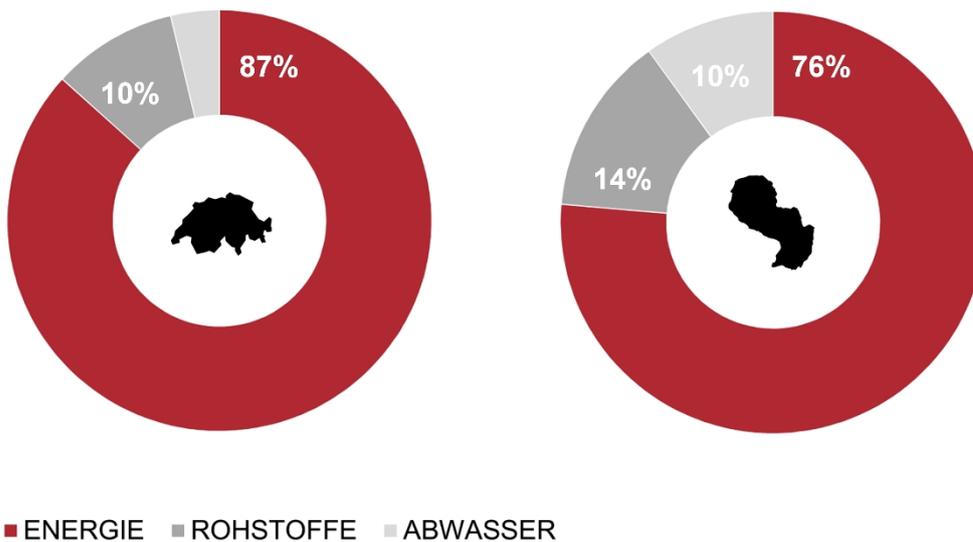


Abbildung 4: Beiträge der Subprozesse zum Umweltfussabdruck von der Zuckerfabrik in der Schweiz und in Paraguay (UBP gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013).

In beiden Fällen wird der klar grösste Anteil am Umweltfussabdruck von der Bereitstellung der erforderlichen Prozesswärme verursacht (CH: 87%, PY: 76%). Die Produktion der Rohstoffe und die Behandlung des Fabrikabwassers sind im Vergleich dazu klar weniger relevant (CH: 10% bzw. 4%, EU: 14% bzw. 10%).

Dass die Schweizer Zuckerfabriken insgesamt den besseren Umweltfussabdruck aufweisen, ist auf den ersten Blick darum verwunderlich, weil in Paraguay die gesamte Prozessenergie (Wärme, Strom) über das Nebenprodukt Bagasse erfolgt und daher erneuerbar ist. Bei genauerer Betrachtung der

Resultate zeigt sich, dass die grossen Beiträge in denjenigen Umweltwirkungskategorien zu finden sind, welche vor allem lokal wirkende Luftschadstoffe erfassen (z.B. Feinstaub/Partikel, karzinogene Emissionen in die Luft).

Der bedeutende Unterschied im zwar eher untergeordneten Beitrag der Abwasserbehandlung ist auf unterschiedlich fortgeschrittene Reinigungstechniken zurückzuführen.

3.1.3 Unsicherheitsanalyse

Die Resultate aus der Unsicherheitsanalyse sind in Tabelle 14 dargestellt. Die Ergebnisse sind auf dem 95%-Konfidenzintervall ausgewiesen. Die ausgewiesenen Konfidenzintervalle bilden ausschliesslich Datenunsicherheiten ab.

Tabelle 14: Resultate der Unsicherheitsanalyse für den Bio-Rübenzucker und den Bio-FT-Rohrzucker aus Paraguay (gemäss Methode der ökologischen Knappheit, ohne Allokation): Erwartungswerte, prozentuale und absolute Unsicherheitsbereiche (95%-Konfidenzintervall).

PRODUKT	UBP MITTELWERT	FEHLER %	UBP MINIMUM	UBP MAXIMUM
Bio-Rübenzucker	1.37 Mio.	17%	1.14 Mio.	1.60 Mio.
Bio-FT-Rohrzucker	2.11 Mio.	18%	1.73 Mio.	2.49 Mio.

Die aus den Datenunsicherheiten resultierende Streuung des Umweltfussabdrucks liegt bei beiden bilanzierten Zuckern zwischen 17% und 18% um den Mittelwert. Das 95%-Konfidenzintervall bzw. der Unsicherheitsbereich bewegt sich beim Bio-Rübenzucker zwischen 1.14 Mio. und 1.60 Mio. UB, im Fall importierten Bio-FT-Rohrzuckers aus Paraguay zwischen 1.73 Mio. und 2.49 Mio. UB. Entsprechend bleibt die zuvor getroffene Aussage, dass der Bio-Rübenzucker gegenüber dem Europäischen Zucker ökologisch vorteilhaft ist, auch unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten gültig.

3.2 Soziale Analyse

3.2.1 Soziale Risiken von Rüben- und Rohrzucker

Die Resultate der sozialen Lebenszyklusanalyse für die beiden Bio-Zucker sind einander in Abbildung 5 gegenübergestellt.

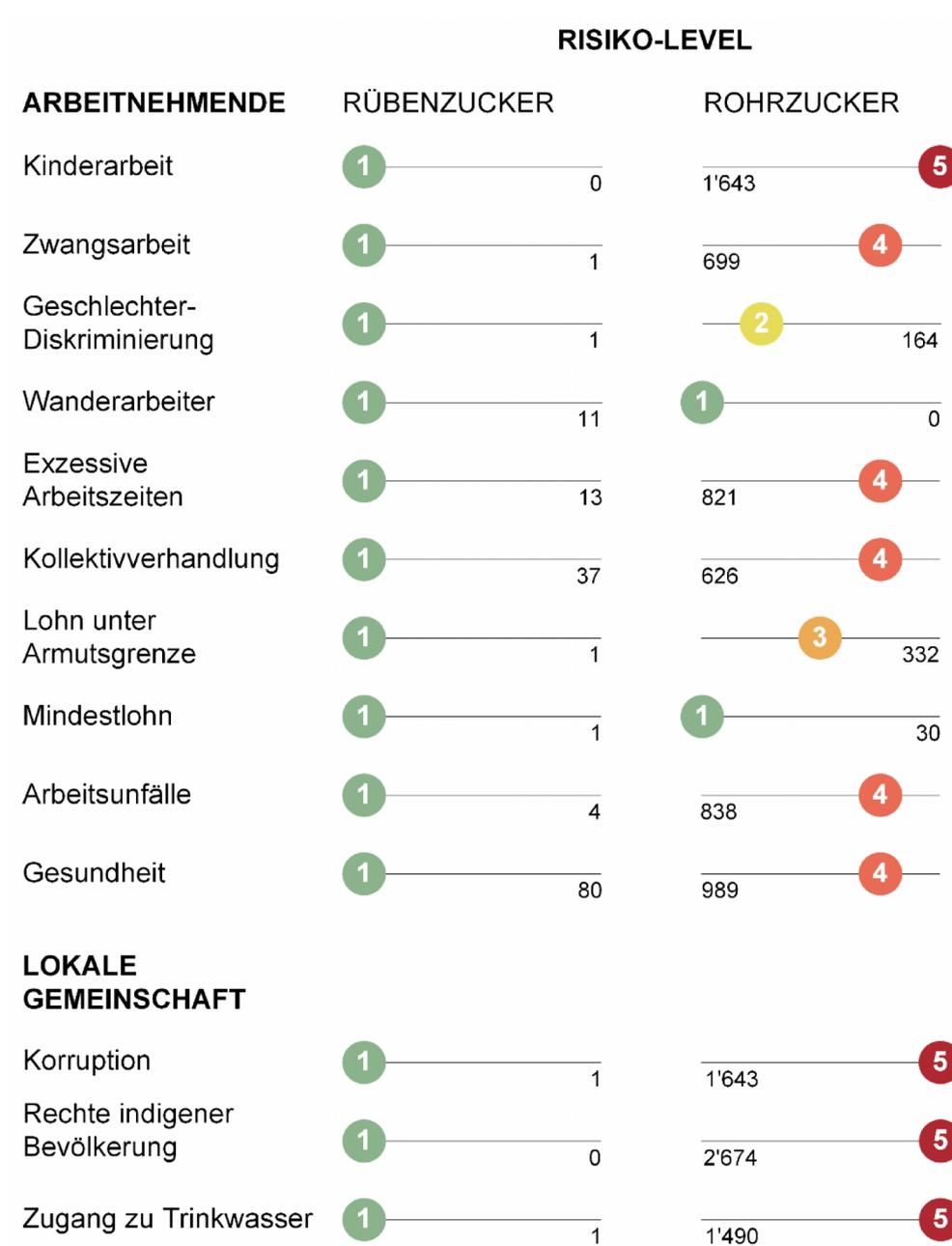


Abbildung 5: Vergleich des sozialen Fussabdrucks von Bio-Rübenzucker und Bio-FT-Rohrzucker aus Paraguay (Risiko-Levels in eingefärbten Kreisen; die Zahlen zeigen die berechneten mittleren Risikostunden pro Tonne Zucker).

Die Resultate zu den sozialen Risiken in den beiden Produktionsketten zeigt ein eindeutiges Bild zugunsten des Bio-Rübenzuckers. Gleichgewichtet aggregiert offenbart sich ein eklatanter Unterschied im sozialen Fussabdruck zwischen dem Bio-Rübenzucker und dem Bio-FT-Rohrzucker.

Während dieser beim Rübenzucker über alle 13 berücksichtigten Sozialthemen zusammen bei 151 Mittleren Risikostunden (MRS) liegt, liegt er beim Rohrzucker bei 11'949 MRS. Das heisst, dass die Wahrscheinlichkeit für soziale Verstösse beim Rohrzucker um beinahe 80 Mal höher ist, wenn Rohranbau und Rohrfabrik zusammen betrachtet werden.

Bei der Betrachtung der Bewertungsprofile sieht man, dass beim Rübenzucker die Risiken in allen Sozialthemen als sehr gering (1) eingestuft sind. Bei neun von 13 Themen ist das Risiko sogar als nicht vorhanden einzustufen ($MRS \leq 4$). Beim Paraguayanischen Rohrzucker aus Paraguay sind demgegenüber vier Sozialthemen als hoch kritisch und weitere fünf als kritisch bewertet. Nur in Bezug auf zwei bzw. drei Themen (Wanderarbeiter, Mindestlohn bzw. Geschlechter-Diskriminierung) ist das Risiko für Verstösse als sehr gering bzw. gering eingestuft worden.

Die sozialen Hotspots liegen laut den Modellergebnissen in den Problemen der Kinderarbeit, Korruption, dem Zugang zu sauberem Trinkwasser sowie dem ungenügenden Schutz von Rechten von indigenen Bevölkerungsschichten. Weitere Hotspots sind die Themen Zwangsarbeit, zu lange Arbeitszeiten, das Recht auf Kollektivverhandlungen sowie ungenügender Arbeits- und Gesundheitsschutz. Die Entlohnung der Arbeitnehmenden ist als mittel kritisch bewertet.

3.2.2 Beiträge der Hauptprozesse in Paraguay

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich wird, sind die Arbeitsbedingungen und Aspekte der Lokalen Gemeinschaft beim Anbau des Zuckerrohrs ausschlaggebend für den stark nachteiligen sozialen Fussabdruck. Das Profil korreliert in etwa mit den Resultaten der Gesamtbilanz.

Die einzige Ausnahme, in welchen die Zuckerrohrfabrik die Gesamtbilanz dominiert, ist bei der Entlohnung der Arbeitnehmenden. Dies ist auf den Einfluss des Fairtrade-Standards zurückzuführen, welcher den Zuckerrohranbauenden (Klein-)Bauern einen fairen Mindestlohn garantiert. Ebenfalls als mittel kritisch beurteilt, ist das Thema der Kinderarbeit und die Korruption.

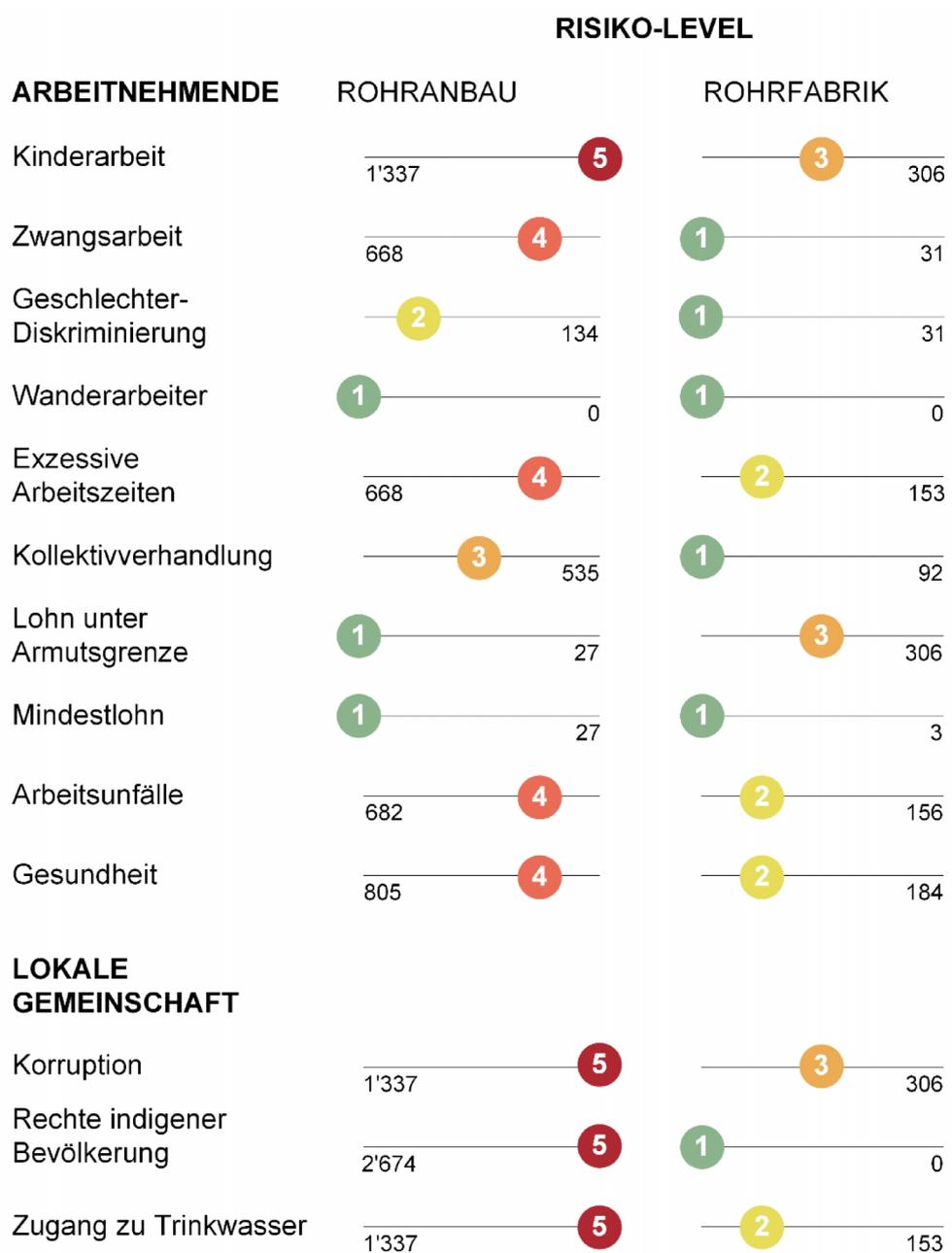


Abbildung 6: Sozialer Fussabdruck von Bio-FT-Rohrzucker aus PY aufgeteilt nach den Hauptprozessen Rohranbau und Rohrfabrik (Risiko-Levels in eingefärbten Kreisen; die Zahlen zeigen die berechneten mittleren Risikostunden pro Tonne Zucker).

4. Schlussfolgerungen

Wie eingangs erwähnt, bestand das Ziel der Studie in einer vergleichenden Analyse der ökologischen und sozialen Auswirkungen von in der Schweiz produziertem Bio-Rübenzucker mit importiertem Bio-Fairtrade-Rohrzucker aus Paraguay.

Dazu wurden für die Ökobilanz beide Produktionssysteme über aktuelle und repräsentative Daten zu den vier Hauptprozessen (Rübenanbau, Rübenanlieferung, Zuckerfabrik, Zuckerdistribution) abgebildet und modelliert. Mit diesen Datengrundlagen wurde dann der Umweltfussabdruck anhand zwei gängiger Methoden zur Wirkungsabschätzung für die beiden Rübenzucker bilanziert, wobei sowohl verschiedene Allokationsansätze zum Umgang mit Nebenprodukten wie auch der Einfluss von Datenunsicherheiten auf die Ergebnisse berücksichtigt wurden.

Die Analyse des sozialen Fussabdrucks basierte auf der Social Hotspots Database (SHDB), welche die Bewertung von sozialen Risiken differenziert nach Branchen und Ländern auf gesamtheitliche Art ermöglicht. Dabei wurden auf den Einfluss des Fairtrade-Standards abgestimmte Anpassungen an den Risiko-Faktoren vorgenommen.

Die Resultate der durchgeführten Ökobilanz zeigen, dass der Bio-Rübenzucker einen besseren Umweltfussabdruck aufweist als der Bio-Fairtrade-Rohrzucker aus Paraguay. bzw. dass die Produktion von Bio-Rübenzucker mit 37% weniger Umweltbelastungen einhergeht als dies beim Rohrzucker aus Paraguay der Fall ist. In beiden Fällen trägt der landwirtschaftliche Anbau mit knapp 70 bis knapp 60% den bedeutenden Beitrag zum Umweltfussabdruck bei (in Paraguay weniger, weil dort die Distribution stärker ins Gewicht fällt). Neben dem Rüben- bzw. Rohranbau sind auch die Umweltauswirkungen aus der Verarbeitung zum Zucker in den Fabriken von Bedeutung (+/- 20%). Die Transporte für die Rübenanlieferung vom Hof zur Fabrik (10%) und für die Distribution des Rohrzuckers zum Kunden (20%) sind ebenfalls relevant für den Umweltfussabdruck.

Weiter offenbart die Studie, dass der Umweltfussabdruck der beiden Zucker und entsprechend der Unterschied zwischen den beiden Zuckern abhängig ist vom gewählten Allokationsansatz sowie von der Wahl der Methode zur Wirkungsabschätzung. Trotz des Einfluss von methodischen Annahmen bzw. der Methodenwahl auf die Ergebnisse schneidet der Bio-Rübenzucker bei allen Allokationsansätzen und bei beiden Methoden zur Wirkungsabschätzung bedeutend besser ab als der Bio-Fairtrade-Rohrzucker aus Paraguay. Zusammen mit den Ergebnissen der Unsicherheitsanalyse und der Tatsache, dass die beiden Produktsysteme über eine sehr gute Datenqualität abgebildet sind, kann die Aussage zum ökologischen Vorteil des Bio-Rübenzuckers daher als robust und aussagekräftig eingeordnet werden.

Was den sozialen Fussabdruck angeht, so zeichnen die Resultate ein eindeutiges Bild zu Gunsten des Bio-Rübenzuckers. Die sozialen Risiken sind in allen Belangen bedeutend tiefer. Insgesamt sind die Risiken für sozi-

ale Verstösse in Paraguay um knapp 80 Mal höher als beim Bio-Rübenzuckers. Entscheidend sind die sozialen Missstände beim Anbau des Zuckerrohrs, obwohl sich der Fairtrade-Standard durchaus positiv auf die Resultate niedergeschlagen hat. Die sozialen Hotspots liegen in den Themen Kinderarbeit, Korruption oder der Schutz von Rechte von indigenen Bevölkerungsschichten. Weiter sind Probleme mit Zwangsarbeit, exzessiven Arbeitszeiten sowie Arbeits- und Gesundheitsschutz für die Arbeitnehmenden.

Insgesamt kann dem Bio-Rübenzucker nach ökologischen und sozialen Gesichtspunkten ein klarer Nachhaltigkeitsvorteil attestiert werden.

5. Literatur

Barthel, M., Fava, J., James, K., Hardwick, A. & Khan, S. (2017). Hotspots Analysis: An overarching methodological framework and guidance for product and sector level application. Paris. United Nations Environment Programme (UNEP).

Benoit, C., Traverso, M., Valdivia, S., Vickery-Niederman, G., Franze, J. et al. (2013). The methodological sheets for sub-categories in social life cycle assessment (S-LCA). Paris: United Nations Environment Programme (UNEP).

Benoit, C. & Mazijn, B. (2009). Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Paris: United Nations Environment Programme (UNEP).

Ciroth, A., Muller, S., Weidema, B. & Lesage, P. (2016). Empirically based uncertainty factors for the PEDIGREE matrix in ecoinvent. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1338-1348.

Corong, E.L., Hertel, T.W., McDougall, R., Tsigas, M.E. & van der Mensbrughe, D. (2017). The Standard GTAP Model, Version 7. Indiana: Center for Global Trade Analysis.

COSA (2013). The COSA measuring sustainability report: Coffee and Cocoa in 12 countries. Philadelphia: The Committee on Sustainability Assessment.

DLG e.V. (2014). Datenbank Futtermittel (Database feedstuff). Retrieved from: [www.http://datenbank.futtermittel.net/](http://datenbank.futtermittel.net/). Frankfurt am Main: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft.

ecoinvent (2010). ecoinvent data v.3.3. St.Gallen: Swiss Center for Life Cycle Inventories.

European Commission (2014). Normalisation method and data for environmental footprints. Deliverable 2 of the AA Environmental Footprint and Material Efficiency Support for Product Policy (No. 70307/2012/ENV.c.1/635340). JRC Technical Report, European Commission.

European Commission (2011). International reference life cycle data system (ILCD) handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Fairtrade Labelling Organization International (2015). Fairtrade standard for cane sugar. V1.1. Bonn: Fairtrade Labelling Organization International.

Faist Emmenegger M., Reinhard J. & Zah R. (2009). Sustainability Quick-Check for Biofuels: intermediate report. Duebendorf: Agroscope Reckenholz-Tänikon.

FiBL (2016). Persönliche Mitteilungen von Hansueli Dierauer. Frick: Forschungsinstitut für biologischen Landbau.

FiBL (2012). Merkblatt Biozuckerrüben. Frick: Forschungsinstitut für biologischen Landbau.

Frischknecht, R. & Büsser Knöpfel, S. (2013). Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Hersener J.L., Meier U. & Dinkel F. (2002). Ammoniakemissionen aus Gülle und deren Minderungsmaßnahmen. Final report. Luzern: Amt für Umweltschutz Kanton Luzern.

Huppes, G. & van Oers, L. (2011). Evaluation of weighting methods for measuring the EU-27 overall environmental impact. Brussels: Scientific and Technical Reports of the Joint Research Center of the European Commission, Institute for Environment and Sustainability.

ISO 14040 (2006). Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. Brussels: European Committee for Standardization (CEN).

ISO 14044 (2006). Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. Brussels. European Committee for Standardization (CEN).

Kägi, T. & Wettstein, D. (2008). Bilanzierung klimawirksamer Emissionen von Zucker. Zürich: Stiftung Myclimate . The Climate Protection Partnership.

Nemecek T. & Kägi T. (2007). Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. Zurich and Duebendorf: Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Oya, C., Schaefer, F., Skolidou, D., McCosker, C. & Langer, L. (2017). Effects of certification schemes for agricultural production on socio-economic outcomes in low- and middle-income countries: A systematic review. Systematic Review 34. London: International Initiative for Impact Evaluation.

SHDB (2017). Social hotspots database (SHDB) project. www.socialhotspot.org. York: New Earth.

Schwippert (2016). Transportmittel und -Distanzen für die Rohranlieferung vom Hof zur Zuckerfabrik. Winterthur: PRONATEC AG.

Spoerri, A. & Bianchetti, R. (2017). Nachhaltigkeit von Schweizer Zucker: Vergleichende Umweltbilanz zwischen Schweizer und importiertem Rübenzucker aus Europa. Zollikon: EBP Schweiz AG.

Sustainable Food Lab & The Ford Foundation (2013). Assessing the sustainability of smallholder sugar in Paraguay. Abgerufen von http://www.sustainablefoodlab.org/wp-content/uploads/2016/04/Assesing_Smallholder_Sugar_in_Paraguay.pdf.

SZU (2016). Angaben zu Erntemengen im biologischen Zuckerrübenanbau in Bayern und Baden-Württemberg. Aarberg: Schweizer Zucker AG.

SZU (2016). Transportmittel und -Distanzen für die Rübenanlieferung vom Hof zur Zuckerfabrik. Aarberg: Schweizer Zucker AG.

Tomas J., Arvay J. & Toth T. (2012). Heavy metals in productive parts of agricultural plants. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 1, p. 817-827.

Vagneron, I. & Roquigny, S. (2010). What do we really know about the impact of fairtrade? A synthesis. Paris: PFCE.

A1 Lebenszyklusinventare

A1.1 Bio-Rübenzucker

A1.1.1 Zuckerrübenanbau und –Anlieferung

Tabelle 15: Lebenszyklusinventar (Dateninventar) für den landwirtschaftlichen biologischen Anbau von Zuckerrüben in Süddeutschland und in der Schweiz (alle Mengenangaben beziehen sich auf einen Hektar Rübenanbaufläche).

WAS	EINHEIT	MENGE
Rübenertrag	t/ha	58.0
INPUT		
Landnutzung		
Landbedarf (urbar, nicht-bewässert, intensiv bewirtschaftet)	m2a	1.0E+04
Feldarbeiten		
Aussaat	ha	1.0E+00
Ausbringung Gülle	m3	3.0E+01
Ernte (mit Rüben-Vollernter)	ha	1.0E+00
Pflügen	ha	1.0E+00
Hacken	ha	3.0E+00
Eggen	ha	2.0E+00
Traktor-Transport (Feld – Hof)	tkm	5.8E+01
Bewässerung		
Bewässerung	m3	0.0E+00
Saatgut (Samen)		
Samen Zuckerrüben	kg	2.1E+00
Fertilizers		
... Organische Dünger		
Gründüngung	ha	1.0E+00
Organischer Handelsdünger (12% N)	m3	1.3E+01
Rindergülle	m3	22.5E+00
Schweinegülle	m3	7.5E+00
OUTPUT		
Direkte Feldemissionen		
... in die Luf		
Ammoniak	kg	4.8E+01
Kohlendioxid (fossil)	kg	0.0E+00
Lachgas	kg	1.7E+00
Stickoxide	kg	3.5E-01
... ins Wasser (Grund- und Oberflächengewässer)		
Nitrate (Grundwasser GW)	kg	5.0E+01

Phosphor (GW)	kg	8.0E-02
Phosphor (Oberflächengewässer OFG)	kg	8.3E-01
Cadmium (OFG)	kg	5.6E-09
Kupfer (OFG)	kg	6.4E-05
Zink (OFG)	kg	1.0E-04
Blei (OFG)	kg	2.2E-08
Chrom (OFG)	kg	1.5E-05
Nickel (OFG)	kg	8.6E-09
Mercury (OFG)	kg	7.8E-09
... in den Boden		
Cadmium	kg	0.0E+00
Kupfer	kg	0.0E+00
Zink	kg	0.0E+00
Blei	kg	0.0E+00
Nickel	kg	0.0E+00
Chrom	kg	0.0E+00
Quecksilber	kg	0.0E+00

Tabelle 16: Lebenszyklusinventar (Dateninventar) für die Anlieferungstransporte der Bio-Zuckerrüben vom Hof zur Fabrik (alle Mengenangaben beziehen sich auf 6.60 Tonnen Zuckerrüben, welche für die Produktion von 1 Tonne Bio-Zucker im Werk Frauenfeld erforderlich sind).

WAS	EINHEIT	MENGE
LKW	tkm	7.6E+02
Bahn	tkm	1.6E+03

A1.1.2 Zuckerfabrik und –Distribution

Tabelle 17: Lebenszyklusinventar (Dateninventar) für die Zuckerfabrik in der Schweiz (alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 Tonne Zucker).

WAS	EINHEIT	MENGE
Zuckerausbeute	t Rüben	6.60
INPUT		
Energie		
Strom (eingekauft)	kWh	0.93
Erdgas	MJ	3950.9
Heizöl EL	MJ	5.16
Schweröl	MJ	0.00
Steinkohlenkoks	MJ	256.59
Rohstoffe		
Kalkstein	kg	125.20
Natriumkarbonat	kg	1.25
Natriumhydroxid	kg	0.00
Schwefelsäure	kg	0.32
Natronlauge	kg	0.16
Weitere organische Chemikalien	kg	0.89
Weitere anorganische Chemikalien	kg	4.94
Leitungswasser	kg	0.13

Tabelle 18: Lebenszyklusinventar (Dateninventar) für die Distribution des Zuckers von der Fabrik ins Zentrallager der Kunden (alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 Tonne Zucker).

WAS	EINHEIT	MENGE
LKW (16-32t, EURO 5)	tkm	5.7E+01
Bahn	tkm	7.1E+00

A1.2 Bio-Fairtrade-Rohrzucker

A1.2.1 Zuckerrohranbau- und –Anlieferung

Tabelle 19: Lebenszyklusinventar (Dateninventar) für den landwirtschaftlichen Bio-FT-Anbau von Zuckerrohr in Paraguay (alle Mengenangaben beziehen sich auf einen Hektar Rohranbaufläche).

WAS	EINHEIT	MENGE
Sugar cane yield	t beet	55.5
INPUT		
Land area		
Arable land occupation ^(*)	m2a	1.0E+04
Field work activities		
Ploughing	ha	9.2E-01
Harrowing	ha	1.52E+00
Organic fertilizer application	ha	2.0E-01
Harvesting	ha	2.0E-01
Irrigation		
Irrigation water	m ³	0.00E+00
Fertilizers		
... Other mineral fertilizers		
Lime	kg	4.0E+00
... Organic fertilizers		
Manure, cattle	kg	4.80E+03
Bagasse ash	kg	8.00E+02
Filter cake	kg	2.40E+03
OUTPUT		
Direct field emissions		
... Emissions to air		
Ammonia (NH ₃)	kg	8.1E+00
Carbon dioxide (CO ₂) from urea	kg	0.00E+00
Dinitrogen monoxide (N ₂ O)	kg	1.2E+00
Nitrogen oxides (NO _x)	kg	2.0E-01
... Emissions to water (heavy metals from fertilizers)		
Nitrat (Grundwasser GW)	kg	8.6E+00
Phosphor (GW)	kg	7.0E-02
Phosphor (Oberflächengewässer OFG)	kg	7.5E-01
Cadmium (OFG)	kg	9.1E-06
Kupfer (OFG)	kg	3.3E-03
Zink (OFG)	kg	1.7E-02
Blei (OFG)	kg	8.8E-05

Chrom (OFG)	kg	1.0E-02
Nickel (OFG)	kg	6.3E-06
Quecksilber (OFG)	kg	1.2E-06

Tabelle 20: Lebenszyklusinventar (Dateninventar) für die Anlieferungstransporte des Zuckerrohrs vom Hof zur Fabrik (alle Mengenangaben beziehen sich auf 11.36 Tonnen Zuckerrohr, welche für die Produktion von 1 Tonne Zucker in Paraguay erforderlich sind).

WAS	EINHEIT	MENGE
Camioneta (LKW < 3.5t)	tkm	4.54E+00
LKW (< 16t, EURO 4)	tkm	3.24E+02

A1.2.2 Zuckerfabrik und –Distribution

Tabelle 21: Lebenszyklusinventar für die Zuckerfabrik in Paraguay (alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 Tonne Rohrzucker).

WAS	EINHEIT	MENGE
Sugar yield	t cane	11.36
INPUT		
Energy		
Coke	MJ	13.8
Auxiliary materials		
Limestone crushed	kg	228.3
Sodium chloride	kg	0.07
Sulfuric acid	kg	5.35
Sulfur dioxide	kg	3.62
Ammonium sulfate	kg	0.77
Chlorine, gaseous	kg/t	0.006
Soda ash	kg/t	2.60
Ammonia, liquid	kg/t	0.0001
Unspecified organic chemicals	kg/t	0.80
Unspecified inorganic chemicals	kg/t	1.01
Tap water	m3/t	10.4
Water, decarbonised	kg/t	13.4
Lubricating oil	kg/t	0.18
OUTPUT		
Emissions to air		
Cadmium	kg/t	1.19E-05
Acetaldehyde	kg/t	1.04E-03
Manganese	kg/t	2.92E-03
Sodium	kg/t	2.22E-02
Mercury	kg/t	5.12E-06
Phenol, pentachloro-	kg/t	1.24E-07
Carbon dioxide, fossil	kg/t	1.01E+00
Chromium	kg/t	6.75E-05
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	kg/t	4.74E-10
Magnesium	kg/t	6.16E-03
Copper	kg/t	3.75E-04
Benzene, ethyl-	kg/t	4.59E-04
Formaldehyde	kg/t	1.99E-03
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg/t	1.68E-04
Ammonia	kg/t	2.97E-02

WAS	EINHEIT	MENGE
Chromium VI	kg/t	6.82E-07
Zinc	kg/t	5.12E-03
m-Xylene	kg/t	1.83E-03
Arsenic	kg/t	1.71E-05
Calcium	kg/t	9.97E-02
Carbon dioxide, biogenic	kg/t	2.40E+03
Benzene	kg/t	1.39E-02
Particulates, < 2.5 um	kg/t	6.87E-01
Sulfur dioxide	kg/t	4.25E-02
Fluorine	kg/t	8.53E-04
Methane, biogenic	kg/t	6.64E-03
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	kg/t	4.74E-02
Benzo(a)pyrene	kg/t	7.65E-06
Nickel	kg/t	1.02E-04
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	kg/t	1.39E-02
Toluene	kg/t	4.59E-03
Carbon monoxide, biogenic	kg/t	1.07E-01
Chlorine	kg/t	3.07E-03
Phosphorus	kg/t	5.12E-03
Lead	kg/t	4.25E-04
Water/m3	kg/t	8.59E-03
Bromine	kg/t	1.02E-03
Nitrogen oxides	kg/t	1.50E+00
Potassium	kg/t	3.99E-01
Benzene, hexachloro-	kg/t	1.10E-10
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg/t	9.33E-03
Dinitrogen monoxide	kg/t	3.92E-02

Tabelle 22: Lebenszyklusinventar (Dateninventar) für die Distribution des Bio-FT-Rohrzuckers von der Zuckerfabrik in Paraguay ins Zentrallager der Kunden (alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 Tonne Rohrzucker).

WAS	EINHEIT	MENGE
LKW (> 32t; EURO 4)	tkm	7.5E+01
Inland water vessel	tkm	1.6E+03
Bulk carrier	tkm	1.14E+04
Inland water vessel	tkm	8.2E+02
Freight train	Tkm	4.0E+01

A2 Wirkungsabschätzung

A2.1 Methode der ökologischen Knappheit

A2.1.1 Bio-Rübenzucker

Tabelle 23: Umweltfussabdruck von Bio-Rübenzucker nach einzelnen Umweltwirkungen (ohne Allokation gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013).

UMWELTWIRKUNG	EINHEIT	TOTAL	ANBAU	ANLIE- FERUNG	FABRIK	DISTRI- BUTION
Water resources*	UBP	6.0E+01	5.1E+01	4.7E+01	-4.0E+01	1.4E+00
Energy resources	UBP	3.2E+04	4.7E+03	7.4E+03	1.9E+04	3.2E+02
Mineral resources	UBP	2.0E+04	6.9E+03	8.9E+03	3.9E+03	3.8E+02
Land use	UBP	1.7E+05	1.7E+05	2.8E+03	3.6E+02	1.5E+02
Global warming	UBP	2.7E+05	7.1E+04	4.1E+04	1.5E+05	2.3E+03
Ozone layer depletion	UBP	5.6E+02	1.0E+02	1.5E+02	3.0E+02	7.4E+00
Main air pollutants and PM	UBP	4.9E+05	4.2E+05	3.4E+04	4.1E+04	1.6E+03
Carcinogenic substances into air	UBP	4.8E+04	6.1E+03	5.5E+03	3.6E+04	1.2E+02
Heavy metals into air	UBP	2.3E+04	7.0E+03	1.0E+04	4.9E+03	5.3E+02
Water pollutants	UBP	2.5E+05	2.4E+05	4.2E+03	1.1E+04	2.8E+02
POP into water	UBP	5.6E+03	2.4E+03	2.5E+03	5.0E+02	1.7E+02
Heavy metals into water	UBP	2.1E+04	3.0E+03	4.8E+03	1.3E+04	1.5E+02
Pesticides into soil	UBP	1.5E+02	9.2E+01	5.4E+00	5.1E+01	1.6E-01
Heavy metals into soil	UBP	1.5E+04	9.7E+03	3.0E+03	2.0E+03	2.2E+02
Radioactive substances into air	UBP	3.0E-03	4.0E-04	1.3E-03	1.3E-03	3.5E-05
Radioactive substances into water	UBP	2.8E+02	8.5E+00	1.5E+02	1.2E+02	1.3E+00
Non radioactive waste to deposit	UBP	1.9E+02	3.8E+01	3.3E+01	1.2E+02	1.1E+00
Radioactive waste to deposit	UBP	2.5E+04	7.7E+02	1.3E+04	1.1E+04	1.1E+02
TOTAL	UBP	1.4E+06	9.3E+05	1.4E+05	3.0E+05	6.4E+03

* negative Werte rühren aus Rundungseffekten in den Wasserbilanzen von vorgelagerten Produktionsketten ab (keinen Einfluss auf die Resultate bzw. Aussagen der Studie).

A2.1.2 Bio-Fairtrade-Rohrzucker

Tabelle 24: Umweltfussabdruck von Bio-FT-Rohrzucker nach einzelnen Umweltwirkungen und Produktionsphasen (ohne Allokation gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013).

UMWELTWIRKUNG	EINHEIT	TOTAL	ANBAU	ANLIE- FERUNG	FABRIK	DISTRI- BUTION
Water resources	UBP	3.9E+02	1.2E+01	8.7E+00	4.2E+02	-5.2E+01
Energy resources	UBP	2.3E+04	2.9E+03	4.4E+03	1.6E+03	1.4E+04
Mineral resources	UBP	2.0E+04	3.8E+03	4.7E+03	5.1E+03	6.3E+03
Land use	UBP	3.2E+05	3.2E+05	9.7E+02	2.3E+02	3.0E+03
Global warming	UBP	2.4E+05	6.3E+04	3.6E+04	1.9E+04	1.3E+05
Ozone layer depletion	UBP	6.7E+02	6.3E+01	1.0E+02	1.9E+02	3.2E+02
Main air pollutants and PM	UBP	5.7E+05	1.6E+05	3.1E+04	1.8E+05	2.0E+05
Carcinogenic substances into air	UBP	7.3E+04	3.7E+03	2.2E+03	5.6E+04	1.1E+04
Heavy metals into air	UBP	6.8E+04	4.1E+03	6.3E+03	4.9E+04	8.4E+03
Water pollutants	UBP	6.8E+05	6.4E+05	4.0E+03	2.3E+04	1.3E+04
POP into water	UBP	1.2E+04	1.5E+03	2.5E+03	3.8E+02	7.5E+03
Heavy metals into water	UBP	7.9E+04	6.2E+04	2.5E+03	7.8E+03	7.5E+03
Pesticides into soil	UBP	1.9E+02	3.4E+00	3.4E+00	1.5E+02	3.2E+01
Heavy metals into soil	UBP	1.3E+04	4.6E+03	1.7E+03	5.8E+03	1.3E+03
Radioactive substances into air	UBP	2.2E-03	2.5E-04	4.2E-04	1.0E-04	1.4E-03
Radioactive substances into water	UBP	6.3E+01	5.0E+00	7.4E+00	8.0E+00	4.3E+01
Non radioactive waste to deposit	UBP	1.8E+02	2.2E+01	7.6E+01	1.6E+01	6.7E+01
Radioactive waste to deposit	UBP	5.7E+03	4.5E+02	6.8E+02	7.2E+02	3.9E+03
TOTAL	UBP	2.1E+06	1.3E+06	9.7E+04	3.5E+05	4.0E+05

A2.2 ILCD-Methode

A2.2.1 Bio-Rübenzucker

Tabelle 25: Umweltfussabdruck von Bio-Rübenzucker nach einzelnen Umweltwirkungen auf Ebene «Single Score» (inkl. Normalisierung und Gewichtung; ohne Allokation gemäss der ILCD-Methode).

UMWELTWIRKUNG	EINHEIT	TOTAL	ANBAU	ANLIE- FERUNG	FABRIK	DISTRI- BUTION
Climate change	Pt.	1.5E-02	8.8E-02	1.7E-02	2.1E-02	8.5E-04
Ozone depletion	Pt.	1.4E-04	3.9E-03	2.3E-03	8.3E-03	1.3E-04
Human toxicity, non-cancer effects	Pt.	2.0E-02	2.3E-05	3.3E-05	8.1E-05	1.7E-06
Human toxicity, cancer effects	Pt.	6.2E-03	1.6E-02	2.2E-03	2.1E-03	1.2E-04
Particulate matter	Pt.	1.0E-02	1.7E-03	2.8E-03	1.6E-03	4.6E-05
Ionizing radiation HH	Pt.	1.1E-03	7.4E-03	9.9E-04	1.7E-03	4.9E-05
Photochemical ozone formation	Pt.	3.3E-03	1.7E-03	7.2E-04	8.3E-04	3.8E-05
Acidification	Pt.	1.6E-02	1.5E-02	4.0E-04	7.6E-04	1.9E-05
Terrestrial eutrophication	Pt.	1.0E-02	1.0E-02	1.8E-04	1.5E-04	9.3E-06
Freshwater eutrophication	Pt.	1.8E-03	1.6E-03	4.8E-05	1.4E-04	1.1E-06
Marine eutrophication	Pt.	3.3E-03	2.9E-03	1.7E-04	2.2E-04	8.8E-06
Freshwater ecotoxicity	Pt.	5.3E-03	1.2E-03	3.2E-03	7.0E-04	2.2E-04
Land use	Pt.	1.7E-02	1.6E-02	6.0E-04	2.9E-04	3.5E-05
Water resource depletion	Pt.	1.2E-04	7.2E-05	5.2E-05	-6.9E-06	8.0E-07
Mineral, fossil & renew. resource depletion	Pt.	1.7E-02	1.0E-02	3.1E-03	3.6E-03	1.7E-04
TOTAL	Pt.	1.3E-01	8.8E-02	1.7E-02	2.1E-02	8.5E-04

Tabelle 26: Umweltfussabdruck von Bio-Rübenzucker nach einzelnen Umweltwirkungen auf Ebene «Midpoint» (ohne Normalisierung und Gewichtung; ohne Allokation gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013).

UMWELTWIRKUNG	EINHEIT	TOTAL	ANBAU	ANLIE- FERUNG	FABRIK	DISTRI- BUTION
Climate change	kg CO2 eq	5.7E+02	1.5E+02	8.9E+01	3.3E+02	5.1E+00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	8.2E-05	1.4E-05	1.9E-05	4.8E-05	1.0E-06
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	1.7E-04	1.3E-04	1.8E-05	1.7E-05	9.5E-07
Human toxicity, cancer effects	CTUh	5.6E-06	1.5E-06	2.5E-06	1.5E-06	4.2E-08
Particulate matter	kg PM2.5 eq	5.9E-01	4.3E-01	5.7E-02	9.6E-02	2.8E-03
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	3.8E+01	5.0E+00	1.6E+01	1.6E+01	4.4E-01
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	2.9E-04	3.6E-05	1.2E-04	1.2E-04	3.2E-06
Photochemical ozone formation	kg NM-VOC eq	2.0E+00	1.0E+00	4.3E-01	4.9E-01	2.2E-02
Acidification	molc H+ eq	1.8E+01	1.7E+01	4.5E-01	8.6E-01	2.2E-02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	7.8E+01	7.6E+01	1.4E+00	1.1E+00	7.0E-02
Freshwater eutrophication	kg P eq	1.2E-01	1.0E-01	3.0E-03	8.9E-03	6.8E-05
Marine eutrophication	kg N eq	2.4E+00	2.1E+00	1.2E-01	1.6E-01	6.3E-03
Freshwater ecotoxicity	CTUe	4.3E+02	9.6E+01	2.6E+02	5.6E+01	1.7E+01
Land use	kg C deficit	1.3E+04	1.2E+04	4.4E+02	2.1E+02	2.6E+01
Water resource depletion	m3 water eq	1.9E-01	1.1E-01	8.3E-02	-1.1E-02	1.3E-03
Mineral, fossil & renew. resource depletion	kg Sb eq	2.5E-02	1.5E-02	4.5E-03	5.3E-03	2.5E-04

A2.2.2 Bio-Fairtrade-Rohrzucker

Tabelle 27: Umweltfussabdruck von Bio-FT-Rohrzucker aus Paraguay nach einzelnen Umweltwirkungen auf Ebene «Single Score» (inkl. Normalisierung und Gewichtung; ohne Allokation gemäss ILCD-Methode).

UMWELTWIRKUNG	EINHEIT	TOTAL	ANBAU	ANLIEFERUNG	FABRIK	DISTRIBUTION
Climate change	Pt.	1.3E-02	3.4E-03	2.0E-03	1.0E-03	7.0E-03
Ozone depletion	Pt.	1.2E-04	1.4E-05	2.4E-05	4.9E-06	7.4E-05
Human toxicity, non-cancer effects	Pt.	2.6E-02	8.5E-03	1.2E-03	1.5E-02	1.7E-03
Human toxicity, cancer effects	Pt.	2.0E-02	1.4E-02	8.1E-04	2.1E-03	2.4E-03
Particulate matter	Pt.	4.9E-02	2.8E-03	7.8E-04	4.2E-02	3.8E-03
Ionizing radiation HH	Pt.	7.8E-04	8.9E-05	1.5E-04	3.7E-05	5.0E-04
Photochemical ozone formation	Pt.	1.1E-02	1.1E-03	9.4E-04	2.9E-03	5.8E-03
Acidification	Pt.	1.1E-02	5.2E-03	4.5E-04	1.6E-03	4.1E-03
Terrestrial eutrophication	Pt.	6.4E-03	3.4E-03	2.7E-04	1.0E-03	1.7E-03
Freshwater eutrophication	Pt.	3.1E-03	2.8E-03	2.6E-05	1.8E-04	7.5E-05
Marine eutrophication	Pt.	9.3E-03	6.3E-03	2.5E-04	1.2E-03	1.6E-03
Freshwater ecotoxicity	Pt.	1.0E-02	4.3E-03	1.8E-03	2.1E-03	1.9E-03
Land use	Pt.	3.0E-02	2.9E-02	3.7E-04	1.1E-04	1.1E-03
Water resource depletion	Pt.	9.1E-04	2.4E-05	2.9E-06	8.8E-04	1.7E-06
Mineral, fossil & renew. resource depletion	Pt.	2.1E-02	5.5E-03	5.1E-03	8.2E-03	2.1E-03
TOTAL	Pt.	2.1E-01	w	1.4E-02	7.8E-02	3.4E-02

Tabelle 28: Umweltfussabdruck von Bio-FT-Rohrzucker aus Paraguay nach einzelnen Umweltwirkungen auf Ebene «Midpoint» (ohne Normalisierung und Gewichtung; ohne Allokation gemäss ILCD-Methode).

UMWELTWIRKUNG	EINHEIT	TOTAL	ANBAU	ANLIEFERUNG	FABRIK	DISTRIBUTION
Climate change	kg CO2 eq	5.3E+02	1.3E+02	7.7E+01	4.1E+01	2.8E+02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	6.9E-05	8.4E-06	1.4E-05	2.9E-06	4.4E-05
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	2.2E-04	7.0E-05	1.0E-05	1.2E-04	1.4E-05
Human toxicity, cancer effects	CTUh	1.8E-05	1.3E-05	7.3E-07	1.9E-06	2.2E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	2.9E+00	1.6E-01	4.5E-02	2.4E+00	2.2E-01
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	2.7E+01	3.1E+00	5.3E+00	1.3E+00	1.8E+01
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	2.0E-04	2.3E-05	3.8E-05	1.0E-05	1.3E-04
Photochemical ozone formation	kg NM-VOC eq	6.4E+00	6.8E-01	5.6E-01	1.7E+00	3.4E+00
Acidification	molc H+ eq	1.3E+01	5.8E+00	5.1E-01	1.8E+00	4.6E+00
Terrestrial eutrophication	molc N eq	4.9E+01	2.6E+01	2.0E+00	7.5E+00	1.3E+01
Freshwater eutrophication	kg P eq	1.9E-01	1.8E-01	1.7E-03	1.2E-02	4.8E-03
Marine eutrophication	kg N eq	6.7E+00	4.5E+00	1.8E-01	8.5E-01	1.2E+00
Freshwater ecotoxicity	CTUe	8.1E+02	3.5E+02	1.4E+02	1.7E+02	1.5E+02
Land use	kg C deficit	2.2E+04	2.1E+04	2.7E+02	8.2E+01	7.8E+02
Water resource depletion	m3 water eq	1.5E+00	3.9E-02	4.6E-03	1.4E+00	2.7E-03
Mineral, fossil & rene. resource depletion	kg Sb eq	3.1E-02	8.1E-03	7.5E-03	1.2E-02	3.1E-03