



universität
wien

DIPLOMARBEIT

CO₂-Bilanz der Tomatenproduktion:
Analyse acht verschiedener Produktionssysteme in Österreich,
Spanien und Italien

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.a. rer.nat.)

Verfasserin:

Michaela Clarissa Theurl

Matrikel-Nummer:

0208225

Studienzweig (lt. Studienblatt):

Biologie, Studienzweig Ökologie

Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. Dr. Helmut Haberl

unter Mitwirkung von Univ.-Doz. Dr. Karl-Heinz Erb

Wien, im November 2008

...Wissenschaft ist.

DANKSAGUNG

Allen WissenschaftlerInnen und ExpertInnen diverser Disziplinen, die mir via E-mail, Telefon und in persönlichen Gesprächen Frage und Antwort standen und deren spezifische Fachkenntnisse in diese Arbeit einfließen konnten.

Dr. Rod Thompson, der mir durch seinen Einsatz eine Recherche in Almería überhaupt erst möglich machte.

Ein besonderer Dank gilt Dr. Karl-Heinz Erb, der mich bei der Themenfindung und in heiklen Phasen meiner Diplomarbeit bereitwillig unterstützt hat.

Meinem Betreuer Dr. Helmut Haberl für seine Geduld und Unterstützung.

Dem Institut für Soziale Ökologie (IFF Wien) für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes.

Meiner Familie und Freunden.

Abstract

This thesis presents a study of the environmental impacts of eight different tomato production systems in Austria, Spain and Italy based on a life cycle analysis (LCA) approach. The purpose was to identify the environmental impacts of tomatoes produced in different locations - Vienna and Burgenland in Austria, Almería in Spain and Puglia in Italy, which are sold in supermarkets in Vienna. Own research and data available in the computer model GEMIS were used to evaluate the CO₂-emissions during cultivation and distribution of tomatoes. The ecological footprint for the functional unit (1 kg tomatoes at the point of sale) was also calculated.

I analyzed tomato production under the following production systems: (1) soil-less cultures with active heating systems in modern greenhouses (Venlo-houses) in Vienna, (2) soil-less cultures with active heating systems in commonly used glasshouses in Vienna, (3) unheated conventional production systems in plastic greenhouses in Burgenland, (4) unheated organic tomatoes in plastic greenhouses in Burgenland; (5) conventional tomatoes from greenhouses in Almería and (6) canned tomatoes grown in open fields in Puglia. Two hypothetical systems to suggest possible future trends were outlined: (7) a heated plastic greenhouse in Burgenland and (8) a heated greenhouse in Almería.

Heated greenhouse systems in Austria have a higher environmental impact than packaged open field tomatoes from Puglia as well as greenhouse-grown tomatoes from Almería even though the latter were transported by road over a distance of 2700 km. Organic and conventional tomatoes from plastic greenhouses in Burgenland without active heating systems have the lowest emissions.

The results show that transport has less environmental impact than heating. Heating may account for up to 80% of the total CO₂-emissions per kg of tomatoes. Further, short distance transport is found to have a higher environmental impact than long distance transportation.

The CO₂-emissions per kg of tomato from the eight different production systems are: (1) 1,1 kg CO₂ per kg of tomatoes from Austrian Venlo-houses (2) 1,4 kg CO₂ per kg of tomatoes from commonly used Austrian glasshouses (3) 0,1 kg CO₂ per kg of tomatoes in conventionally grown plastic tunnels in Burgenland (4) 0,1 kg CO₂ per kg of organic tomatoes from plastic tunnels in Burgenland (5) 0,4 kg CO₂ per kg of tomatoes from Almería and (6) 0,7 kg CO₂ per kg of canned field tomatoes from Puglia. The CO₂-emissions from the hypothetical systems are: (7) 0,6 kg CO₂ per kg of tomatoes from heated organic cultures in Burgenland and (8) 1,5 kg CO₂ per kg of tomatoes heated with propane gas in Almería.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.1.1	Zieldefinition	1
1.1.2	LCA Studien von Tomaten und Tomatenprodukten	2
1.2	Umweltfaktor Kohlendioxid - CO ₂	3
1.3	Der Ökologische Fußabdruck	4
1.3.1	Komponentenbasierte Ansatz	5
1.3.2	Verbundansatz	5
1.3.3	Eine kritische Betrachtung	6
2	Allgemeine Informationen zum Tomatenanbau	9
2.1	Die Tomatenproduktion	9
2.1.1	Weltproduktion im Überblick	9
2.1.2	Europäische Produktion	10
2.2	Kulturverfahren im gärtnerischen Pflanzenbau	14
2.2.1	Erdelose Kultur	14
2.2.2	Bodenkultur	16
2.2.3	Biologischer Anbau	18
2.2.4	Allgemeine Kulturmaßnahmen	18
3	Methodik	21
3.1	Methodischer Ablauf	21
3.1.1	Recherche und Datenqualität	23
3.1.2	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme	23
3.1.3	Aufbau des Methodikteils	24
3.2	Der Untersuchungsrahmen	25
3.2.1	Flussdiagramm	25
3.2.2	Funktionelle Einheit	26
3.2.3	Definition der Produktionssysteme	27
3.3	Allgemeine Annahmen und Beschränkungen	29
3.3.1	Kulturführung	29
3.3.2	Gewächshausstruktur	33
3.3.3	Gewächshausmanagement	34
3.3.4	Agrochemie	34
3.3.5	Kulturarbeiten	35
3.3.6	Verpackung/Lagerung	35
3.3.7	Transport	36
3.4	Österreich	38
3.4.1	Anbauflächen	38
3.4.2	Ertragslage	39
3.4.3	Gewächshausstruktur	42
3.4.4	Gewächshausmanagement	44
3.4.5	Agrochemie	49
3.4.6	Kulturarbeiten	51
3.5	Spanien	54
3.5.1	Anbauflächen	54
3.5.2	Boden- und Substratkulturen	55
3.5.3	Ertragslage	56
3.5.4	Gewächshausstruktur	57
3.5.5	Gewächshausmanagement	60
3.5.6	Agrochemie	62
3.5.7	Kulturarbeiten	64
3.5.8	Hypothetisches Produktionssystem in Almería	64

3.6	Italien.....	65
3.6.1	Konventioneller Freilandanbau.....	65
3.6.2	Anbaufläche und Ertrag.....	66
3.6.3	Management.....	66
3.6.4	Agrochemie	66
3.6.5	Kulturarbeiten	67
3.7	Analyse und Datendokumentation - GEMIS Österreich 4.4	69
3.7.1	Struktur von GEMIS.....	69
3.7.2	Gewächshausstruktur	69
3.7.3	Gewächshausmanagement.....	72
3.7.4	Agrochemie	77
3.7.5	Kulturarbeiten	79
3.7.6	Verpackung/Lagerung	80
3.7.7	Transport	81
3.8	Der Ökologische Fußabdruck - Kalkulation	83
3.9	Flächenbeanspruchung von 1 kg Tomaten	85
4	Ergebnisse / Interpretation	88
4.1	Fläche/Ertrag	88
4.2	Gewächshausstruktur	90
4.3	Gewächshausmanagement	92
4.4	Agrochemie	97
4.5	Kulturarbeiten.....	98
4.6	Verarbeitung/Lagerung	100
4.7	Transport.....	101
4.8	Kumulierte Ergebnisse.....	102
4.8.1	Absolute Zusammensetzung der CO ₂ -Emissionen von 1 kg Tomaten	102
4.8.2	Prozentuelle Zusammensetzung der CO ₂ -Emissionen von 1 kg Tomaten	103
4.8.3	CO ₂ -Emissionen von 1 kg Tomaten in einem Wiener Supermarkt	105
4.9	Der Ökologische Fußabdruck	107
5	Schlussbetrachtung	110
5.1	Welche Faktoren bestimmen die Emissionsbilanz?	110
5.2	Nicht quantifizierte Faktoren	113
6	Anhang I	I

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Äquivalenzfaktoren zur Berechnung des Treibhausgaspotenzials	3
Tabelle 2: Top-10 Nationen der Tomatenproduktion im Jahr 2005 nach Produktion, Fläche und Prozent.....	9
Tabelle 3: Nomenklatur der acht Tomatenproduktions-Systeme	27
Tabelle 4: Kulturdaten der acht Tomatenproduktions-Systeme – Übersicht	33
Tabelle 5: Berechnung der Transportstrecken für Spanien, Italien und Österreich	37
Tabelle 6: Kalkulation der gemittelten Produktionsflächen für Tomatenkulturen in Österreich für die Jahre 2005–07.	38
Tabelle 7: Übersicht der berechneten Produktionsflächen für unterschiedliche Tomatenproduktionssysteme in Österreich 2005 – 07	39
Tabelle 8: Ertragslage der unterschiedlichen Tomatenproduktionssysteme in Österreich	41
Tabelle 9: Struktur eines Venloer Gewächshauses für das österreichische Venlo-Haus-System ..	42
Tabelle 10: Struktur eines Glashauses für das österreichische Produktionssystem Glashaus	43
Tabelle 11: Struktur eines Folientunnels für das konventionelle und das biologische System in Österreich.....	43
Tabelle 12: Heizgradtage in Simmering zur zweiten Energiebedarfsrechnung für die Produktionssysteme in Österreich	46
Tabelle 13: Heizenergiebedarf der Gewächshäuser in Österreich, Ergebnisse zweier unterschiedlicher Energiebedarfsrechnungen.	47
Tabelle 14: Wasserbedarf in m3 pro ha und Jahr der erdelosen Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus	48
Tabelle 15: Düngemengen in kg pro ha und Jahr in Substratkulturen für die Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus	49
Tabelle 16: Düngemengen für Bodenkulturen in kg pro ha und Jahr im konventionellen Folientunnel in Österreich	50
Tabelle 17: Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr in der erdelosen Langkultur in Österreich	52
Tabelle 18: Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr der konventionellen Kurzkultur im Folientunnel in Österreich.....	52
Tabelle 19: Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr der biologischen Kurzkultur im Folientunnel in Österreich.....	53
Tabelle 20: Maschinenstunden pro ha und Jahr in der erdelosen Langkultur in Österreich	53
Tabelle 21: Maschinenstunden pro ha und Jahr im konventionellen Folientunnel in Österreich	54
Tabelle 22: Anteil erdeloser Tomatenkulturen in Almería im Jahr 2005, Spanien	55
Tabelle 23: Produktionsfläche und Ertragslage der Tomatenkulturen in Almería, Spanien.....	56
Tabelle 24: Struktur des Foliengewächshauses "parral" (typ. Almería) der spanischen Produktionssysteme.....	60
Tabelle 25: Wasserbedarf von Tomaten in Lang- und Kurzkulturen in enarenado und Substrat in m3 pro ha und Jahr in Almería, Spanien	61

Tabelle 26: Düngemengen in kg pro ha und Jahr in Tomatenkulturen unterschiedlicher Standorte in Almería, Spanien	62
Tabelle 27: Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in kg Wirkstoff pro ha und Jahr in Tomatenkulturen in Spanien und den Niederlanden	63
Tabelle 28: Heizenergiebedarf in GJ pro ha und Jahr eines Gewächshauses in Almería, Spanien	65
Tabelle 29: Düngemengen der Freilandkulturen in kg pro ha und Jahr in Italien	67
Tabelle 30: Arbeitskraftstunden der Freilandkulturen pro ha und Jahr in Italien	67
Tabelle 31: Maschinenstunden der Freilandkulturen pro ha und Jahr in Italien	68
Tabelle 32: CO ₂ Emissionen verschiedener Prozesse zur Stahlproduktion	71
Tabelle 33: Unsicherheiten in GEMIS am Beispiel unterschiedlicher Heizformen	73
Tabelle 34: Energiemix der Obst- und Gemüseverarbeitung für Deutschland im Jahr 2000	80
Tabelle 35: Transportleistung und Tonnenkilometer	82
Tabelle 36: Produktivität in der Kalkulation des Ökologischen Fußabdrucks, Methode nach Wackernagel.....	84
Tabelle 37: Ertrag in [kg/ha/a] und Flächenbedarf der acht Produktionssysteme nach a) Jahresdurchschnitt [ha/a] und b) spezifischer Nutzung pro Anbauzeit [ha/a]	85
Tabelle 38: Einsatz Arbeitskraftstunden pro ha und in [min/kg Tomaten] und Maschinenstunden pro ha und in [kg CO ₂ /kg Tomaten] der acht Produktionssysteme	99
Tabelle 39: Der Ökologische Fußabdruck der acht Produktionssysteme in gha und gm ²	109
Tabelle 40: Aufgliederung der CO ₂ -Emissionen nach Sparten: Agrochemie, Gewächshausstruktur, - management, Kulturarbeiten, Verpackung/Lagerung, Transport in kg CO ₂ /kg Tomaten	I
Tabelle 41: Dokumentation der Datensätze der CO ₂ -Berechnungen in kg CO ₂ /kg Prozessoutput... I	
Tabelle 42: Sachbilanzen der acht Produktionssysteme mit Angabe aller Systeminputparameter in kg/ha, m ³ /ha, GJ/ha, Mh/ha, Akh/ha, km	II
Tabelle 43: CO ₂ -Bilanzen der acht Tomatenproduktionssysteme mit den Einzelwerten aller Inputparameter in kg CO ₂ /kg Tomaten.....	III

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Tomatenimporte nach Österreich im Jahr 2006 Ländern in Prozent.....	11
Abbildung 2: Tomatenexporte aus Almería, Spanien im Jahr 2005 nach Ländern in Tonnen und Prozent	13
Abbildung 3: Steinwollpflanzwürfel, Steinwollkultur aufgenommen in Simmering, Österreich	15
Abbildung 4: Aufbau eines "enarenado" (Beispiel) in Almería, Spanien.....	17
Abbildung 5: Schema einer produktbezogenen Ökobilanz	21
Abbildung 6: Überblicksschema des methodischen Ablaufes der vorliegenden Arbeit.....	22
Abbildung 7: Überblick der Tomatenproduktionssysteme- Flussdiagramm.....	25
Abbildung 8: Venlo-Haus mit CO ₂ -Tank in Simmering, Österreich.....	28

Abbildung 9: Typischer Folientunnel im Burgenland, Österreich.	28
Abbildung 10: Langer Anbauzyklus - „ciclo largo“ - von Tomaten in Almería, Spanien	32
Abbildung 11: Gewächshaustypen „parra!“ und „raspa y amagado“ – Almería, Spanien	58
Abbildung 12: Fundament eines typischen Gewächshauses in Almería, Spanien	58
Abbildung 13: Innenansicht eines Gewächshauses mit Gelb- und Blautafeln zur Schädlings- bekämpfung in Almería, Spanien.....	59
Abbildung 14: Prozesskette zur Herstellung von Kunststoffen mit dem Modul LDPE-Folie 1999.	69
Abbildung 15: Prozesskette zur Stahlproduktion mit dem Modul Metall/Stahl-A-WarmWalz Österreich 1990.....	70
Abbildung 16: Prozesskette zur Bereitstellung von Energie durch Fernwärme, Wien 2005.....	74
Abbildung 17: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme aus einer Gasheizung, 2005 Österreich.....	75
Abbildung 18: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme durch eine Ölheizung, Österreich 2007.....	75
Abbildung 19: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme aus einer Hackschnitzelheizung, Österreich 2005.....	76
Abbildung 20: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme durch eine Propangasheizung, Tschechien 2000.....	76
Abbildung 21: Prozesskette zur Bewertung von Vinasse am Beispiel des Moduls Beiprodukt der Alkoholgärung aus Zuckerrüben	78
Abbildung 22: Vergleich der Produktionsfläche nach a) durchschnittlicher und b) spezifischer jährlicher Nutzung in ha mit dem Ökologischen Fußabdruck gha anhand von 1 kg Freilandtomaten aus Italien.....	87
Abbildung 23: Illustration des Flächenbedarfs für 1 kg Tomaten aus erdelosen Produktionssystemen in Österreich.	89
Abbildung 24: Flächenbedarf von 1 kg Tomaten der acht Produktionssysteme, Normal- und Maximalertrag in ha	90
Abbildung 25: CO ₂ -Emissionen der unterschiedlichen Komponenten der Gewächshausstruktur der acht Produktionssysteme in kg CO ₂ pro kg Tomaten.....	91
Abbildung 26: CO ₂ -Emissionen unterschiedlicher Heizformen in den österreichischen Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus in kg CO ₂ pro kg Tomaten.....	93
Abbildung 27: CO ₂ -Emissionen unterschiedlicher Heizformen im biologischen Folientunnel in Österreich in kg CO ₂ pro kg Tomaten.....	94
Abbildung 28: Überblick der CO ₂ -Emissionen unterschiedlicher Heizformen in den beheizten Produktionssystemen in Österreich und Spanien in kg CO ₂ pro kg Tomaten	95
Abbildung 29: CO ₂ -Emissionen des Gewächshausmanagements der acht Produktionssysteme. Aufwand für Steinwolle, Heizbedarf und Entsalzung in kg CO ₂ pro kg Tomaten	96
Abbildung 30: CO ₂ -Emissionen der Agrochemie in den acht Produktionssystemen betreffend Düngemittel-, Pestizideinsatz, CO ₂ -düngung in kg CO ₂ pro kg Tomaten.....	98

Abbildung 31: CO ₂ -Emissionen der Verarbeitung/Lagerung frischer Tomaten und verarbeiteter Tomaten in Konservendosen in kg CO ₂ pro kg Tomaten.....	100
Abbildung 32: CO ₂ -Emissionen durch Transporte per Lkw und Bahn der acht Produktionssysteme in kg CO ₂ pro kg Tomaten, Unterscheidung von Nah- und Ferntransport	101
Abbildung 33: Zusammensetzung der CO ₂ -Emissionen von 1 kg Tomaten der acht Produktionssysteme in Absolutwerten [kg CO ₂ /kg Tomaten].....	103
Abbildung 34: Prozentuelle Zusammensetzung der CO ₂ -Emissionen von 1 kg Tomaten der acht Produktionssysteme	105
Abbildung 35: CO ₂ -Emissionen von 1 kg Tomaten acht unterschiedlicher Produktionssysteme in einem Wiener Supermarkt und mögliche CO ₂ -Reduktionspotenziale durch Bahntransport in kg CO ₂ pro kg Tomaten.....	107
Abbildung 36: Der Ökologischer Fußabdruck der acht Produktionssysteme in globalen ha/kg Tomaten.....	108

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
aa	active ingredient, aktive Substanz
Akh	Arbeitskraftstunden
bio	biologischer Anbau
Bqm	Bruttoquadratmeter
d	Tage
d.h.	das heißt
E	Erde
etc.	et cetera
FG	Frischgewicht
Freil.	Freiland
g	Gramm
GH	Gewächshaus
gha	Global Hektar
GJ	Gigajoule
GWP	Global Warming Potential
ha	Hektar
HGT	Heizgradtage
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
K	Kelvin
K	Kalium
Kd	Kelvintage
kg	Kilogramm
km	Kilometer
konv.	Konventioneller Anbau
kW	Kilowatt
KW	Kalenderwoche
kWh	Kilowattstunden
LCA	Life Cycle Assessment
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Mh	Maschinenstunden
Mio.	Millionen
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
N	Stickstoff
n.B.	nicht berücksichtigt
o.A.	ohne Angabe
P	Phosphor
S	Substrat
t	Tonnen
tkm	Tonnenkilometer
TS	Trockensubstanz
v.a.	vor allem
W	Watt
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der Gartenbau ist neben dem Ackerbau ein Zweig der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Die gartenbauliche Pflanzenproduktion reicht von Obst und Gemüse über Zierpflanzen und Schnittblumen hin zu Baumschulen (vgl. Baldenhofer 1999). Der Gartenbau stellt auch Dienstleistungen zur Verfügung, wie z.B. die landschaftliche Gestaltung und Pflege von Hausgärten und öffentlichen Räumen (vgl. Adams 2004). Zu den wichtigen Gebieten des Gartenbaus zählen die pflanzliche Produktion, die Saatgutproduktion, die Züchtung neuer Sorten und die Veredelung (vgl. Adams 2004).

Viele gärtnerisch kultivierte Pflanzenarten stammen aus anderen Vegetationszonen der Erde und können unter unseren klimatischen Bedingungen nur im geschützten Anbau, das heißt unter Glas und Folie bzw. in klimatisierten Räumen gedeihen. Die Tomate ist eine dieser Pflanzenarten. Sie stammt ursprünglich aus Südamerika und konnte sich in den Ländern der Nordhemisphäre nur langsam etablieren, nachdem sie von Christoph Kolumbus 1492 nach Europa gebracht wurde. Erst nach dem 1. Weltkrieg erlebte das früher als Giftpflanze berüchtigte Nachtschattengewächs auch in Deutschland und Österreich einen starken Aufschwung und gilt heutzutage, vor Gurken, Paprika und Melanzani, als das wichtigste Fruchtgemüse (vgl. Krug 1991).

Im Jahr 2005 wurden weltweit mehr als 127 Mio. Tonnen Tomaten erzeugt. Gleichzeitig war die Tomate mit einem Verbrauch von 24 kg pro Kopf und Jahr, das beliebteste Gemüse der ÖsterreicherInnen. Die österreichischen Erzeuger können 16 % des inländischen Verzehrs abdecken, der Rest wird aus südlicheren Ländern importiert – allem voran aus Spanien und Italien.

Die Lebensmittelindustrie ist der landwirtschaftlichen Produktion nachgelagert und bringt mit ihrem hohen Energiebedarf viele negative Umweltauswirkungen mit sich. Damit eng verbunden ist das steigende globale Transportaufkommen, das zu einem Anstieg transportbedingter Emissionen führt. Dieses Umweltproblem veranlasst Regierungen zur Bewerbung einheimischer Produkte und fußt auf dem Argument, dass kürzere Transportstrecken zum Klimaschutz beitragen.

1.1.1 Zieldefinition

Für die Bewertung von ökologischen Auswirkungen bei der Bereitstellung von Lebensmitteln wird idealerweise die gesamte Lebenszeit des Produktes berücksichtigt. Eine Lebenszyklusanalyse (LCA) oder Ökobilanzierung wird durchgeführt, die möglichst umfassend die landwirtschaftliche Produktion, sowie Verarbeitung, Verpackung, Lagerung, Konsum und Abfallbehandlung inkludiert. Bei der Ökobilanzierung entsteht ein

sehr komplexes Gefüge, das für manche Autoren als eine Art Reflektion der Komplexität unserer Welt steht (Baumann and Tillmann 2004).

Ziel dieser Arbeit ist, die CO₂-Emissionen vorgelagerter Fertigungsketten der Tomatenproduktion in Anlehnung an das Instrument der Ökobilanzierung zu ermitteln. Die Absicht besteht darin, unterschiedliche, in der Praxis weitgehend übliche Produktionssysteme in Österreich, Spanien und Italien zu identifizieren und entsprechende Lebenszyklen zu definieren. Grundlegende Differenzen zwischen verschiedenen Produktionstechnologien und -orten sollen herausgearbeitet und zukünftige Tendenzen dargestellt werden.

Die intensiven Produktionssysteme im beheizten Glashaus sowie die Produktion von Bio-Tomaten im kalten Folientunnel werden der intensiven Produktion im spanischen Folientunnel gegenübergestellt. Italien, Europas führendes Erzeugerland von Verarbeitungstomaten, wird durch ein Produktionssystem für „geschälte Tomaten in der Dose“ dargestellt. Weiters werden zwei „alternative“ (hypothetische) Produktionssysteme analysiert, die zukünftig an Bedeutung gewinnen könnten.

Die gewonnenen Daten aus der Lebenszyklusanalyse dienen als Grundlage einer CO₂-Bilanz. Zudem wird der Ökologische Fußabdruck als bewusstseinsbildendes Kommunikationsmittel ökologischer Nachhaltigkeit zum Zeitpunkt des Kaufes in einem Wiener Supermarkt kalkuliert.

1.1.2 LCA Studien von Tomaten und Tomatenprodukten

Die Tomatenproduktion wurde immer wieder mit Hilfe von Lebenszyklusanalysen anhand ausgewählter Beispiele ökologisch bewertet. Bereits im Jahr 1980 macht Stanhill auf signifikante Unterschiede im Energieaufwand von Tomatenproduktionssystemen in verschiedenen Ländern im Freiland und Gewächshaus aufmerksam (Stanhill 1980). Ferner analysieren zahlreiche Studien unterschiedliche Anbauformen (offene, geschlossene Substrat- bzw. Hydrokulturen etc.), Verteilungsfragen, Energieaufwand, Nachhaltigkeit, Umweltbelastungen und Ressourcenverbrauch (Wada 1993; Jolliet 1993; Andersson et al. 1998; Lagerberg and Brown 1999; Antón et al. 2005; Williams et al. 2006; Roy et al. 2008).

Die Ergebnisse aus diesen Studien sind jedoch schlecht untereinander vergleichbar und variieren beträchtlich, was auf unterschiedliche Methodiken und Datenlagen zurückgeführt werden kann (vgl. Roy et al. 2008). Eine Zusammenfassung von LCA-Studien verschiedenster Nahrungsmittel bietet ein britischer Bericht (Foster et al. 2006).

1.2 Umweltfaktor Kohlendioxid - CO₂

Die Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe, die den steigenden Energiebedarf der Menschheit vorwiegend decken, ist die Hauptursache des anthropogenen Treibhauseffektes. Bei der Verbrennung von Fossilenergieträgern wie Kohle, Öl und Erdgas wird der in ihnen enthaltene Kohlenstoff in CO₂ umgewandelt und in die Atmosphäre freigesetzt. Durch den weltweit ansteigenden Verbrauch von Fossilenergie kommt es zu einem globalen Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre.

Dadurch verändert sich die Erdatmosphäre und es kommt zu einer Anreicherung von Treibhausgasen. Diese vermindern die Abstrahlung von Infrarot (Wärmestrahlung) und führen so zu einer globalen Erwärmung (vgl. <http://www.ji-cdm-austria.at/>). CO₂ hatte im Jahr 2004 einen Anteil von 77 % am globalen anthropogenen Treibhauseffekt (IPCC 2007b). Weitere wichtige Gase im Zusammenhang mit dem anthropogenen Treibhauseffekt sind: Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und Fluorkohlenwasserstoffe (FKWs), sowie Ozon (O₃). Das Kohlendioxid hat eine wichtige Bedeutung im Zusammenhang mit dem relativen Treibhauspotenzial, engl. Global Warming Potential, GWP. Die Klimawirksamkeit der unterschiedlichen Treibhausgase wird durch die Angabe als CO₂-Äquivalent und meist mit einem Bezug auf 100 Jahre beurteilt (siehe Kyoto-Protokoll). Das Treibhausgaspotenzial der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Äquivalenzfaktoren zur Berechnung des Treibhausgaspotenzials. Q: IPCC 2007a

<i>Name</i>	<i>GWP über 100 Jahre</i>
Kohlendioxid (CO ₂)	1
Methan (CH ₄)	25
Lachgas (N ₂ O)	310

Die weltweiten Treibhausgas-Emissionen stiegen von 1970 bis 2004 im größten Maße durch den Energiesektor, der in diesem Zeitraum einen globalen Zuwachs von 145 % verzeichnet (IPCC 2007b). Im selben Zeitraum war ein Anstieg der weltweiten Emissionen durch Verkehr (120 %), Industrie (65 %) und Land- und Bodennutzung (40 %) zu registrieren (IPCC 2007b). In der Zeit von 1970 bis 1990 stiegen die internationalen direkten Emissionen aus dem Agrarsektor um 27 % und aus den bebauten Flächen (Siedlungsflächen) um 26 % (IPCC 2007b).

Obwohl die Energieintensität im Betrachtungszeitraum 1970 – 2004 im Weltdurchschnitt einen Rückgang aufzeigt (-33 %), stiegen die globalen Emissionen, was auf das weltweite Bevölkerungs- (+ 69 %) und Einkommenswachstum (+ 77 %) zurückgeführt wird und die

die entscheidenden Faktoren in Bezug auf den Energieverbrauch sind (IPCC 2007b). Die Energieintensität ist eine Kennzahl für den Energieeinsatz eines Landes und berechnet sich aus dem Primärenergieeinsatz (z.B. Kohle, Erdöl, Erdgas) dividiert durch das nationale Bruttoinlandsprodukt (BIP).

1.3 Der Ökologische Fußabdruck

Anfang der 1990er Jahre entwickelten Mathis Wackernagel und William Rees das Konzept des Ökologischen Fußabdrucks. Dieser Indikator versucht einen Vergleich zwischen der Ressourceninanspruchnahme durch den Menschen und der Regenerationsfähigkeit der Biosphäre zu ermöglichen.

Der Ökologische Fußabdruck repräsentiert

„[...] the biologically productive area required to produce the food and wood people consume, to give room, for infrastructure, and to absorb the CO₂ emitted from burning fossil fuels, which is the primary cause of climate change [...]” (Loh et al. 2000, p. 10)

und wird in einer globalen Durchschnittsfläche, dem “global hectare” (gha), ausgedrückt. Ein „globaler Hektar“ ist

„[...] equivalent to one hectare of biologically productive space with world average productivity.” (Loh et al. 2000, p. 12)

Bei einer Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks wird die Inanspruchnahme produktiver Landflächen in unterschiedlichen Landnutzungsklassen berücksichtigt: Ackerland, Weideland, Fischgründe, Wälder, Siedlungsflächen und Energieland. Landflächen werden zudem unterschiedlich gewichtet und Areale höherer Produktivität (z.B. Wald) weisen dementsprechend größere globale Hektar auf, als Flächen mit einer niedrigeren Produktivität (z.B. Weideland).

Bei der Umrechnung in globale Hektar berücksichtigen Ertragsfaktoren, „yield factors“, „[...] um wie viel produktiver eine bestimmte Fläche (z.B. Weidefläche) im Vergleich zum Weltdurchschnitt an Produktivität der gleichen Fläche ist“ (Umweltbundesamt 2007, p. 14). Äquivalenzfaktoren, „equivalence factors“, übersetzen „[...] spezifische Landkategorien, wie Weiden oder Ernteflächen, in eine universell normierte Flächeneinheit bioproduktiven Gebietes“ (Wackernagel et al. 2005 in: Umweltbundesamt 2007, p. 13).

Der Vorteil dieser Transformation in globale Hektar ist, dass es unmaßgeblich wird, wo sich diese Fläche auf der Erde befindet (vgl. Loh et al. 2000; Wackernagel et al. 2002; Wackernagel et al. 2005; Kitzes et al. 2007).

Das Konzept des Ökologischen Fußabdrucks findet auch auf Produktebene Anwendung. Wada vergleicht bereits 1993 Freiland- und Gewächshaustomaten in British Columbia und stellt den Ökologischen Fußabdruck der biologisch verfügbaren Fläche gegenüber (Wada 1993). Grundsätzlich lassen sich zwei Ansätze bei der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks verfolgen (Europäisches Parlament 2001b):

- komponentenbasierter Ansatz und
- Verbundansatz

1.3.1 Komponentenbasierte Ansatz

Dieser Ansatz, engl. component based approach, wurde von dem britischen Unternehmen Best Foot Forward entwickelt und wird bei der Analyse einer Bevölkerungsgruppe (sub-nationale Ebene, Firmen, Haushalte) oder eines Produktes verwendet (Europäisches Parlament 2001a). Die sehr selektive Datenerhebung (mit Hilfe von Lebenszyklusanalysen) basiert auf einer „bottom-up“-Analyse und ist grundsätzlich detaillierter als der Verbundansatz, in dem einheitliche nationale Statistiken verwendet werden (vgl. Europäisches Parlament 2001a). Der komponentenbasierte Ansatz inkludiert z.B. den Wasserbedarf über die benötigte Energie zur Förderung des Wassers oder die festen Abfälle über den Transport zur Deponie in der Fußabdruckberechnung (Europäisches Parlament 2001b). Im Wesentlichen wird daher der Energiebedarf analysiert. Der resultierende Ökologische Fußabdruck besteht damit zu einem großen Anteil aus den Leistungen für den Verbrauch fossiler Brennstoffe (Europäisches Parlament 2001b).

1.3.2 Verbundansatz

Der Verbundansatz, engl. compound approach, wurde von den Erfindern des Ökologischen Fußabdrucks Mathis Wackernagel und William Riss als „top-down“-Methode entwickelt. Die Kalkulation basiert auf nationalen ökonomischen standardisierten Datensätzen, die relativ leicht zugänglich und außerdem für einen Vergleich mit anderen Nationen verwendbar sind (siehe WWF 2004; Europäisches Parlament 2001a). Damit werden Unsicherheiten und Mängel umgangen, die bei der Erhebung von detaillierten Einzeldaten der komponentenbasierten Methode auftreten (Umweltbundesamt 2007). Die heute durchgeführten nationalen Berechnungen werden bevorzugt nach dem Verbundansatz gerechnet (Umweltbundesamt 2007).

1.3.3 Eine kritische Betrachtung

Der Ökologische Fußabdruck ist ein aggregierter eindimensionaler Faktor und aufgrund seiner Anschaulichkeit ein leicht verständlicher Indikator, der in den letzten Jahren sehr erfolgreich dazu beigetragen hat, einer breiten Öffentlichkeit die Endlichkeit an Ressourcen und Landflächen (den „overshoot“ durch menschliche Übernutzung) zu vermitteln und zukünftige Tendenzen aufzuzeigen.

Im Folgenden werden ausgewählte Kritikpunkte des Konzeptes erörtert. Auf eine ergänzende Betrachtung hinsichtlich methodischer Stärken und Schwächen sei auf weiterführende Literatur verwiesen (van den Bergh and Verbruggen 1999; Ayres 2000; Opshoor 2000; Haberl et al. 2001; Europäisches Parlament 2001a,b).

CO₂-Absorption

Eine Besonderheit des Ökologischen Fußabdrucks besteht in der Berücksichtigung des hypothetischen Flächenbedarfs für die Absorption des emittierten CO₂. Das CO₂-Land macht in westlichen Industrieländern oft mehr als 50 % des Ökologischen Fußabdrucks aus (Europäisches Parlament 2001a). „CO₂-Land“ bildet eine fiktive Landnutzungs-kategorie und entspricht der hypothetischen Fläche, die bereitgestellt werden müsste, um das direkt und indirekt emittierte CO₂ zu absorbieren. Es gibt grundsätzlich 3 Methoden, um die Fläche für die Nutzung fossiler Energiequellen bereitzustellen (vgl. Umweltbundesamt 2007):

- i) Flächenbedarf, der sich bei Bereitstellung durch alternative Energiequellen (z.B. Ethanol-, Methanolproduktion) ergibt.
- ii) Flächenbedarf, der sich bei der Bereitstellung von Energie durch erneuerbare Energieträger ergibt (vorzugsweise Holz)
- iii) Flächenbedarf, der sich bei der Assimilation von CO₂ durch Wälder ergibt (Sequestrierung).

Die meisten Studien verwenden die dritte Möglichkeit zur Analyse der CO₂-Emissionen und ziehen dabei die Menge an Kohlenstoff ab, die jährlich von den Ozeanen aufgenommen wird (siehe Absatz 3.8).

Die dahinter stehende Idee, dass eine Nation nachhaltig wirtschaftet, wenn die Kohlenstoffassimilation die zur Verfügung stehende Fläche nicht überschreitet, vernachlässigt alternative CO₂-Sequestrierungsmöglichkeiten in ozeanischen Lagerstätten oder unterirdische Lagerung. Die Aufnahme des Kohlenstoffes durch Wälder ist nur eine dieser Möglichkeiten. Vernachlässigt werden Fragen, ob eine Nation über geeignete nationale Flächen verfügt (physisch) bzw. ob deren mögliche Aufforstung entsprechend effektiv ist um das von dieser Nation erzeugte CO₂ aufzunehmen (van den Bergh and Verbruggen 1999; Ayres 2000). Außerdem werden andere Emissionen aus fossilen

Brennstoffen wie z.B. Stickoxide (NO_x) und Schwefeldioxide (SO₂) in der Kalkulation nicht berücksichtigt (van den Bergh and Verbruggen 1999; Europäisches Parlament 2001a).

Die Diskussionen über die Umweltauswirkungen der Kernenergie (Toxizität radioaktiver Substanzen und Abfälle, Unfallrisiken) spricht für eine Berücksichtigung der Kernenergie im Ökologischen Fußabdruck.

Wackernagel und Kollegen entschieden sich dafür, die nukleare Energie in der aktuellsten Kalkulation so zu bewerten, als ob sie aus fossilen Energieträgern stammen würde (Wackernagel et al. 2005).

Biologische Landnutzung, Biodiversität, räumliche Grenzen

Die Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks in durchschnittlichen globalen Flächeneinheiten und eine Einteilung in Landnutzungskategorien ohne Berücksichtigung von ökologischen Wechselwirkungen wird kritisiert. Eine Differenzierung in Landesflächen lässt ökosystemare Zusammenhänge außer Acht, die jedoch im Sinne von Nachhaltigkeit grundlegend sind (vgl. van den Bergh and Verbruggen 1999).

Auch eine Unterscheidung zwischen ökologischer und konventioneller Landnutzung wird bei der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks nicht gemacht. Da dieses Konzept als Ressourcenindikator und nicht als Landnutzungsindikator entwickelt wurde, gibt es sachdienlichere Indikatoren, die eine Überbeanspruchung von Böden aufgrund intensiver Landnutzung und ihre Konsequenzen (Erosion, unfruchtbare Böden) darstellen (Umweltbundesamt 2007).

Wasserverbrauch

Der Verbrauch und die Verwendung von Süßwasser finden im Ökologischen Fußabdruck keine direkte Berücksichtigung, da weder Nachfrage noch Nutzung von Wasser in globale Fläche umgerechnet werden kann (Hails et al. 2006). Da Wasser unumgänglich für das menschliche Wohlergehen und die lebenserhaltenden Funktionen der Biosphäre ist, berücksichtigt der Living Planet Report 2006 Frischwasserentnahme in einer eigenen Sektion (Hails et al. 2006, p.14f).

Nationaler und internationaler Handel

Kritiker bemängeln, dass „[...] aufgrund mangelnder Datengenauigkeit [...] die derzeitige Berechnungsmethode keine geografische Zuordnung von Handelsströmen bzw. von Umweltauswirkungen, die durch den Fußabdruck einer Region oder eines Landes verursacht werden [...]“ erlaubt (Umweltbundesamt 2007, p.60). Dadurch ist es nicht möglich, die Umweltbelastungen von Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern zu differenzieren (Umweltbundesamt 2007). Van der Bergh und Verbruggen (1999)

argumentieren, dass die konventionelle Berechnungsmethode „[...] ein negatives Vorurteil gegenüber internationalem und interregionalem Handel besitze“ (Umweltbundesamt 2007, p. 62). Somit sei das Konzept „[...] kein objektiver Indikator [...] da es den Fußabdruck einer bestimmten Bevölkerung mit der in der Region bzw. in dem Land selbst verfügbaren Biokapazität vergleicht [...] und so Grund zur Annahme besteht, dass [...] Autarkie die gewünschte Lösung sei“ (van den Bergh and Verbruggen 1999 übersetzt und zitiert nach Umweltbundesamt 2007).

Gesellschaftliche Parameter

Soziale Fragen wie Einkommensverteilung, Bildung und Kriminalität, sowie ökonomische Probleme wie Inflation oder Arbeitslosigkeit bleiben im Ökologischen Fußabdruck vollständig ausgeklammert (Europäisches Parlament 2001b). Eine Implementierung dieser Parameter würde jedoch zu großer Komplexität führen und es ist die Frage, ob dadurch nicht das Ziel des Ökologischen Fußabdrucks verfehlt würde (Europäisches Parlament 2001b).

Das Konzept des Ökologischen Fußabdrucks unterliegt laufenden Erweiterungen und Verfeinerungen. Weiterführende Information hinsichtlich Methodik, Annahmen, Kritik, Resultaten und Anwendungen des Ökologischen Fußabdrucks sind in der Literatur (Wackernagel and Rees 1997; Wackernagel et al. 2002; van den Bergh and Verbruggen 1999; Ayres 2000; Umweltbundesamt 2007; Europäisches Parlament 2001a; Haberl et al. 2001) und im Internet (<http://www.footprintnetwork.org/>; www.mein-fussabdruck.at/) zu finden.

2 Allgemeine Informationen zum Tomatenanbau

2.1 Die Tomatenproduktion

2.1.1 Weltproduktion im Überblick

Die weltweite Produktion von Tomaten (frisch und verarbeitet) stieg in den letzten vier Jahrzehnten um über 300 %. Im Jahr 2003 lag die weltweite Produktion von Tomaten bei 110 Mio. t mit einer totalen Anbaufläche von 4,2 Mio. ha (Heuvelink 2005). Im Jahr 2005 war die Tomate mit rund 4,6 Mio. ha Anbaufläche und über 120 Mio. t Ertrag (+15 % Zuwachs seit 2000) mit Abstand die weltweit wichtigste Gemüseart.

Diese Zahlen beruhen auf internationalen Statistiken, die die tatsächliche globale Tomatenproduktion unterschätzen. Der kleinräumige private Anbau von Tomaten bleibt in diesen Zahlen unberücksichtigt, darf aber nicht unterschätzt werden, da diese Art der Kultivierung einen wichtigen Beitrag zur Ernährung weiter Teile der Weltbevölkerung leistet.

Eine Zunahme der Produktion kann auch für die Zukunft angenommen werden, da viele Länder im Begriff sind, ihre Billig-Produktionssysteme (nicht klimatisierte Folientunnel oder Freilandformen) zu höher technisierten Anbaumethoden weiter zu entwickeln wodurch ihre Erträge stark ansteigen werden.

Tabelle 2: Top-10 Nationen der Tomatenproduktion im Jahr 2005 nach Produktion, Fläche und Prozent.. Q: FAO, eigene Berechnung

<i>Land</i>	<i>Fläche</i> <i>[ha]</i>	<i>Produktion</i> <i>[t]</i>	<i>in Prozent</i> <i>[%]</i>
China	1.305.053	31.626.329	25
U.S.A.	166.670	11.043.300	9
Türkei	260.000	10.050.000	8
Indien	497.600	8.637.700	7
Ägypten	195.000	7.600.000	6
Italien	138.759	7.187.014	6
Spanien	72.285	4.810.301	4
Iran	138.791	4.781.018	4
Brasilien	60.526	3.452.973	3
Mexiko	118.681	2.800.115	2
Globale Produktion	4.577.729	127.269.346	

China ist mit sehr großem Abstand der weltweit größte Tomatenerzeuger und ist für ein Viertel der Weltproduktion verantwortlich (Tabelle 2). An zweiter und dritter Stelle befinden sich die U.S.A. und die Türkei. Die geschützte Kultur weltweit beträgt weltweit insgesamt 1.612.380 ha. Die größten Flächen gibt es in Asien, allen voran China, das 55 % der globalen Plastikgewächshäuser besitzt (Costa et al. 2000).

Die Kultursysteme in den einzelnen Ländern differieren beträchtlich in Anbaufläche, Anbauart, klimatischen Bedingungen (Lichtintensität, Temperatur), Konstruktionsart und Ausstattung sowie technischer Expertise (Heuvelink 2005). Es wäre falsch anzunehmen, dass Regionen wie Almería (Spanien), mit hohen Lichtintensitäten, automatisch auch höhere Erträge erzielen würden als Länder des Nordens, wie Kanada oder die Niederlande. Der Technisierungsgrad der Kulturen spielt eine sehr wesentliche Rolle, wie die Durchschnittserträge für Spanien (13 kg/m²/a) und die Niederlande (60 kg/m²/a) deutlich machen (Magán 2008, pers. Mitteilung; Heuvelink 2005; Pérez et al. 2002).

Spanien und die Niederlande sind die größten Produzenten frischer Tomaten für den europäischen Markt und werden es vielleicht auch zukünftig bleiben, obwohl sehr starke Konkurrenz von außereuropäischen Nationen zu erwarten ist. Die Produktion in der Türkei wird voraussichtlich ansteigen, ebenso jene der afrikanischen Mittelmeerländer (Heuvelink 2005). Marokko wird ein wichtiger EU-Importeur werden, da sich seine handelspolitischen Beziehungen stetig verbessern und es die geforderte Produktqualität gewährleisten kann (Heuvelink 2005). Nichtsdestotrotz wird Spanien, im Speziellen Almería und Murcia, die aktive Entwicklung zu technisierten Gewächshausssystemen, Qualität, Kontrolle und Marketing beibehalten (Gómez 2002).

2.1.2 Europäische Produktion

Die Tomatenproduktion in Europa und den angrenzenden Mittelmeerstaaten Nordafrikas, von Marokko über Spanien, findet zu 90 % im Glashaus statt. Drei Viertel der Produzenten verwendet das Holland-System, d.h. hohe Räume, vollautomatisiert und erdelose Kulturführung (Jochum 2007, pers. Mitteilung). Der Freilandanbau findet noch großflächig in der Türkei, im Süden generell, sowie in Polen statt. Tomaten aus dem Freilandanbau kommen ausschließlich in verarbeiteter Form, z.B. als geschälte Tomaten in der Dose, in den Handel (Jochum 2007, pers. Mitteilung). Frischware wird fast ausschließlich unter Glas und Platten produziert, da die heutigen Anforderungen an Qualität und eine kontinuierliche Marktbeflieferung im Freilandanbau nicht zu erfüllen sind (Jochum 2007, pers. Mitteilung). In Deutschland ging der Freilandanbau von 190 ha im Jahr 1992 auf 28 ha im Jahr 2002 zurück (Pelzmann 2004).

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick der nationalen Tomatenproduktion in Österreich, Spanien und Italien, da die Produktionssysteme dieser Länder in der vorliegenden Arbeit analysiert werden. Nähere Informationen zu Ertragslage und Produktionsflächen können dem 2. Abschnitt des Methodikkapitels (Seite. 38 ff) entnommen werden.

Österreich

Im Jahr 2006 wurden laut Gemüseernte (2007) auf 189 ha insgesamt 39.105 t Tomaten erzeugt (Statistik Austria 2007). Der Anteil an Freilandfläche betrug 11 % (gemittelter Wert für den Zeitraum 2005-07), und der Rest der Fläche entfiel auf Glashäuser und Folientunnel (siehe Methodik, p. 38 ff. für eine detaillierte Darstellung).

Österreichische Tomaten kommen zu 98,8 % aus Glashäusern oder Folientunneln. Freilandtomaten spielen gesamtwirtschaftlich gesehen keine Rolle mehr (1,2 % im Jahr 2006). In Anbaujahr 2007 waren die Freiland- und Netzkulturen kaum noch in Verwendung und betreffende Erträge fielen auf rund 700 t zurück (-11 % im Vergleich zu 2006). Zwischen Ende Juni und Anfang Oktober kann der hiesige Anbau den heimischen Markt versorgen. Da die Tomatenpflanze wärmeliebend und frostempfindlich ist, wird sie jetzt auch in Österreich in großem Stil in Folientunneln kultiviert. Das erfolgt in den milden Regionen des Landes in Wien, Steiermark oder Burgenland. Seit dem EU-Beitritt 1995 wurde die Produktion von Rispen Tomaten (als komplette Rispe mit 3-6 Früchten) von der Wiener Erzeugergemeinschaft LGV auf das bodenunabhängige System umgestellt, womit Wien die bundesweite Vorreiterstellung im erdelosen Anbau einnimmt (Jochum 2007, pers. Mitteilung). Der Anbau in Erde passiert noch in den Bundesländern Kärnten und Steiermark und dort überwiegend unter Glas.

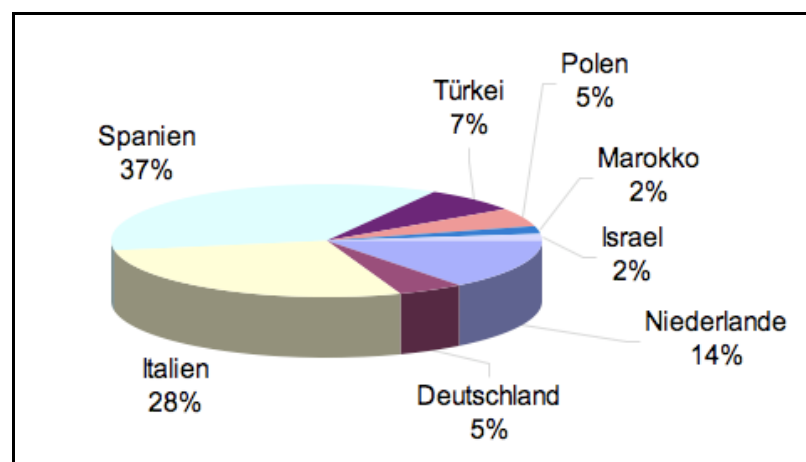


Abbildung 1: Tomatenimporte nach Österreich im Jahr 2006 Ländern in Prozent. Q: Statistik Austria 2006a

Laut Statistik Austria (2006) beträgt der österreichische Selbstversorgungsgrad bei Tomaten 16 %, weshalb Österreich sehr exportabhängig ist. Die Hauptimportländer Österreichs bei Tomatenprodukten sind Spanien, Italien, die Niederlande, gefolgt von der Türkei und Polen (Abbildung 1).

Spanien

Tomaten sind das Basisprodukt des spanischen Gartenbaus. Landesweit wurden auf 14 % der gartenbaulichen Flächen Tomaten angebaut (Tello 2002). 23 % des Marktwertes im Gemüsebau stammt aus der Tomatenproduktion (Tello 2002). Im Jahr 2001 konnten 25 % der in Spanien erzeugten frischen Tomaten und 50 % der verarbeiteten Tomaten (z.B. als Konserven) exportiert werden (Tello 2002). Entwicklungen seit 1980 zeigen einen Anstieg in der Tomatenproduktion, speziell im Bereich der frischen Tomaten, mit gleichzeitiger Abnahme der kultivierten Flächen (Tello 2002).

Extremadura im Westen Spaniens und das Ebro-Tal produzieren 80 % der landesweit zur Verarbeitung kommenden Tomaten zu Saucen, Paste oder Tomaten in der Dose. Mechanisierung und neue Sorten tragen zu einer durchschnittlichen Ernte von 60 t/ha bei (AMITOM 2006b). Die südöstlichen Regionen des Landes, Almería und Murcia, entwickelten sich zu den bedeutendsten und wettbewerbsfähigsten Provinzen hinsichtlich Produktion und Export von frischen Tomaten. 52,9 % der spanischen Gewächshäuser befinden sich in der Region Almería (Pérez et al. 2002).

Almería

In den mediterranen Küstengebieten im südöstlichen Spanien gibt es auf einer Fläche von geschätzten 26.958 ha Gewächshäuser (Castilla and Hernandez 2005). Es ist die größte Konzentration an Gewächshäusern für die Produktion von Gemüse in Europa. Während der Herbst- und Wintermonate werden dort die wichtigsten Gemüsesorten für den europäischen Markt erzeugt. Die wichtigsten Exportländer Almerías und deren Exportvolumina im Jahr 2005 sind in Abbildung 2 dargestellt.

Obwohl in den letzten Jahren ein Trend zu modernen, hochtechnisierten Gewächshäusern und damit Anbausystemen (Substratkultur) zu verzeichnen ist, dominieren derzeit mit mehr als 80 % wenig kostenintensive Folientunnel, die „parrales“ (Pérez et al. 2002; Körner 2000, Cuadrado Gomez 2001). Aufgrund der ausgedehnten Anbauflächen wird in diesem Zusammenhang auch von „mar de plástico“ - dem Plastikmeer gesprochen.

Es kann ein kontinuierlicher Anstieg im Produktionsvolumen Almerías festgestellt werden, das 2006/07 bei 933.000 t lag (+5 % im Vergleich zur Ernte 2005/06, Fundación Cajamar 2005). Die wichtigsten Exportländer für Tomaten waren im Jahr 2005 Deutschland,

Frankreich, Italien und die Niederlande (Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía Delegación de Almería in Andrés et al. 2005):

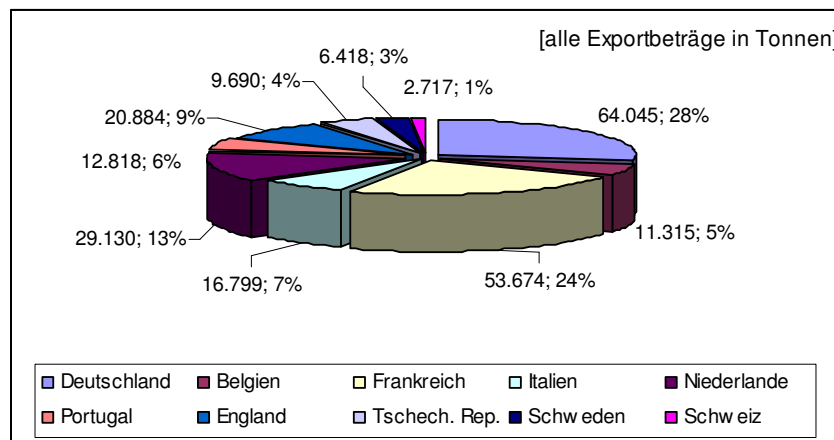


Abbildung 2: Tomatenexporte aus Almería, Spanien im Jahr 2005 nach Ländern in Tonnen und Prozent.
Q: Andrés et al. 2005

Italien

Italien produziert 50 % der gesamten in Europa angebauten Tomaten und ist mit einer Produktion von 7,1 Mio. Tonnen das führende Land innerhalb der EU (EUROSTAT, FAOstat 2007). 6 % der Weltproduktion entfällt auf Italien (Tabelle 2).

Die süditalienische Provinz Apulien mit ihrer Hauptstadt Foggia ist sehr bekannt für den Anbau von Verarbeitungstomaten. Das wichtigste Anbaugebiet Apuliens ist die Region „La Capitanata“. Im Jahr 2001 wurden in „La Capitanata“ auf 32.000 ha rund 50 % der italienischen Tomaten produziert (Rinaldi et al. 2003).

Der Anbau unter Glas und Platten nimmt auch in Ländern mit mildem Klima stetig zu. Die Vorteile liegen in der einfacheren Kultivierung wie Bewässerung, Unkrautkontrolle, Schädlingsbekämpfung und Ernte, weniger Ernteverlust aufgrund ökologischer Faktoren, Arbeiten unter allen Wetterbedingungen, im Anstieg der vermarktbaren Früchte, in gleichmäßig hohen Erträgen und am wichtigsten in der Verfrühung und somit in höherer Wirtschaftlichkeit (vgl. Campiglia et al. 2007).

Es gibt drei Hauptanbaugebiete, in denen Freilandanbau (Verarbeitungstomaten) betrieben wird (AMITOM 2006a): i) Puglia, ca. 40 %, ii) Emilia-Romana, mehr als 40 % und iii) Kampanien, mehr als 10 % des Gesamtanbaus.

Die geschälten Tomaten aus der Dose sind ausschließlich Hybridsorten und werden bereits veredelt gesetzt (AMITOM 2006a).

2.2 Kulturverfahren im gärtnerischen Pflanzenbau

Der geschützte Anbau von Kulturen bedeutet (i) eine Verlängerung der Anbauperiode und dadurch den potenziellen höheren Ertrag und (ii) die vollständige Kontrolle des Innenklimas und somit die Gewährleistung hoher Qualität der Produkte (vgl. Baille 1997). Im geschützten Anbau wird generell zwischen erdelosen Kulturen (Substratkulturen) und Bodenkulturen unterschieden.

2.2.1 Erdelose Kultur

Als übergeordneter Begriff wird „erdelose Kultur“, engl. „soil-less culture“, verwendet. Darunter werden alle Methoden des Anbaus höherer Pflanzen ohne Böden oder Erden mittels Nährlösungen verstanden. Dabei wird unterschieden in (vgl. Göhler and Molitor 2002):

1. Hydrokultur

Zur Hydrokultur werden alle Verfahren gezählt, bei denen die Pflanzenproduktion, abgesehen von den Anzuchtsubstraten, nur in Nährlösungen ohne Substrat erfolgt, z.B. Aeroponik, verschiedene Formen der Tank- oder Wasserkultur oder Plant Plane Hydroponic (PPH).

2. Substratkultur

Bei den Verfahren der Substratkultur stehen verschiedene Substrate zur Auswahl, z.B. Torf, Sägespäne, Steinwolle, Kies, Blähton oder Schaumstoffe. Es kann zwischen natürlichen organischen Substraten (z.B. Sägespäne) und inerten (inaktiven) Substraten (z.B. Steinwolle) unterschieden werden (vgl. Göhler and Molitor 2002).

Steinwollkultur

Die am weitesten verbreitete Form der Substratkultur mit Tropfbewässerung ist die Steinwollkultur. Sie wurde 1969 von Bovre & Knoblauch in der dänischen Versuchstation Hornum erstmalig erprobt und seit Mitte der 70er Jahre wurde sie in ständig steigendem Umfang, zunächst vorwiegend als offenes Verfahren angewendet. Die derzeitigen Anbauflächen konzentrieren sich besonders auf die Beneluxstaaten mit etwa 3.500 ha. Weltweit werden auf etwa 5.000 ha Fläche hauptsächlich Gemüse und Schnittblumen angebaut (Göhler and Molitor 2002). Der Anbau von Tomaten erfolgt in Steinwollmatten, die vollständig mit Nährlösung gefüllt sind. Die Jungpflanzen befinden sich in einem Steinwollwürfel und werden erst dann in die Matten aufgesetzt. Zur besseren Vorstellung zeigt Abbildung 3 einen Tomatenstängel im Pflanzwürfel und den Ausschnitt einer Steinwollkultur in Wien, Simmering.



Abbildung 3: Steinwollpflanzwürfel, Steinwollkultur aufgenommen in Simmering, Österreich. Foto: Michaela C Theurl

Steinwollabfall

Mit zunehmendem Steinwolleinsatz wuchsen die Abfallberge. Inzwischen fallen allein in den Niederlanden jährlich etwa 200.000 m³ Steinwollreste an, die entsorgt werden müssen. Die Reste werden auf zentralen Sammelplätzen gesammelt, zerkleinert, von der Umhüllungsfolie getrennt und gepresst. Das Material wird in der Industrie zu Steinklinker gebrannt und anschließend wieder dem Produktionsprozess für Steinwolle zugeführt (vgl. Göhler and Molitor 2002). Eine Steinwollmatte wird in der Regel jedes Jahr ausgetauscht, um die Übertragung von Krankheitserregern und Schädlingen in die nächste Kultur zu vermeiden. In den letzten Jahren überwiegen die Vorteile gegenüber Bodensystemen durch eine effizientere Wassernutzung und die Reduzierung von Nährstoff- und Pestizidauswaschungen in die Umwelt. Die traditionellen Systeme wurden durch geschlossene ersetzt, die Nährlösung wird rezykliert und den Pflanzen wieder zu geführt, was auch ökonomische Vorteile hat (vgl. Os 1995).

Nährstoffversorgung

Entsprechend der Nährlösungsversorgung werden zwei Systeme unterschieden (vgl. Göhler and Molitor 2002):

Offene Verfahren: bei denen die überschüssige Nährlösung abläuft, verloren geht und damit die Umwelt belastet. Typisch ist die frühere Substratkultur mit Steinwolle und die Tropfbewässerung ohne Rezirkulation und

Geschlossene Verfahren: bei denen überschüssige Nährlösung im Kreislauf zurückgeführt und wieder verwendet wird. Nährlösungsverluste treten nur in Ausnahmefällen auf und eine Umweltbelastung ist weitgehend ausgeschlossen.

CO₂-Düngung (Begasung)

Pflanzen nehmen Kohlenstoff in Form von CO₂ aus der Atmosphäre auf und assimilieren den Kohlenstoff über die Photosynthese. Bei erdelosen Kulturen entfällt die Bodenatmung fast vollständig und die niedrigen CO₂-Werte reichen für eine optimale Photosynthese nicht mehr aus. CO₂ wird zum limitierenden Faktor und eine zusätzliche CO₂-Versorgung ist besonders bei den erdelosen Verfahren notwendig, um hohe Erträge zu erreichen (Göhler and Molitor 2002). Durch die fehlende Bodenatmung sinkt der CO₂-Gehalt an hellen Tagen bei geschlossener Lüftung auf etwa 200 ppm (Sächsische Landesanstalt 2004). Dadurch wird das CO₂ zum ernstzunehmenden Mangelfaktor. Eine CO₂-Düngung führt zu gesicherten Mehrerträgen (+ 20 %) und wird nur während des Tages durchgeführt (Sächsische Landesanstalt 2004). Da bei der Zersetzung von organischer Substanz große Mengen an CO₂ entstehen, können in Gewächshäusern mit Erdkultur wesentlich höhere Werte an CO₂ als im Freiland erreicht werden (vgl. Göhler and Molitor 2002; Demerci 2001).

2.2.2 Bodenkultur

Die Bodenkultur nimmt in den letzten Jahren im Erwerbsgartenbau kontinuierlich ab, da im erdelosen Anbau eine bessere Nutzung technischen Wissens zur Ertragssteigerung und für umweltverträglicheren Anbau (erhöhte Energieeffizienz) möglich ist (Göhler and Molitor 2002). Beim Intensivgartenbau ist eine Spezialisierung auf wenige Kulturen seitens der Erzeugerbetriebe üblich und bodenbürtige Krankheiten und Schädlinge bereiten Probleme, die in Substratkulturen nicht auftreten. Dieses Problem wird heutzutage durch den Einsatz veredelter Jungpflanzen verhindert. Bei der Veredelung dienen resistente Sorten als Unterlage, die im Boden wurzelt und auf die Hochleistungssorten gepfropft werden (Binder 2008, Joch 2008; pers. Mitteilungen).

„enarenado“ – artifizieller Boden in Almería

In Almería wird auf ungefähr 90 % der Gewächshausfläche das Gemüse auf einem artifiziellen Boden, dem so genannten „enarenado“ angebaut. Der „enarenado“ wird in der Literatur nicht einheitlich definiert, besteht i.d.R. aber aus drei Bodenschichten. Abbildung 4 zeigt das Beispiel eines „enarenado“ aus Versuchen der Forschungsstation „Las Palmerillas“. Drei aufeinander liegenden Schichten werden die auf den ursprünglichen Boden aufgetragen: i) 20-30 cm hoher neuer Boden, teilweise aus Lehm ii) 1-2 cm Kompost/Dünger und iii) 6-10 cm Sand/Kiesel (Gázquez 2007) Die Höhe der Horizonte variiert in der Praxis je nach Standort erheblich und eine Restauration („retranqueo“) des Bodens ist nach 3–5 Jahren unerlässlich (Thompson 2008, pers. Mitteilung; Gázquez 2007). Früher wurde die gesamte Fläche unter Plastik erneuert, seit einigen Jahren wird

aus Kostengründen lediglich der Abschnitt erneuert, in dem die Pflanzen wurzeln. Der Dünger kommt üblicherweise von Rindern oder Pferden und wird in einem Ausmaß von 5–10 kg m² aufgetragen (Gázquez 2007). Dieser Mix wurde speziell für die Region mit ihren ursprünglich extrem armen karstigen Böden entwickelt (Cantliffe and Vansickle 2003).

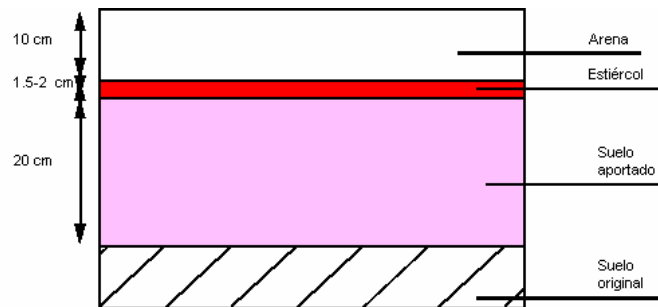


Abbildung 4: Aufbau eines "enarenado" (Beispiel) in Almería, Spanien. Q: Homepage Cajamar 2001

„solarización“ - Bodenentseuchung

Die Desinfektion des Bodens durch Sonnenlicht wird als „solarización“ bezeichnet und wird in den Sommermonaten durchgeführt, wenn das Gewächshaus leer steht. Der Gewächshausboden wird dabei mit speziellen Plastikfolien abgedeckt, damit die Temperatur des Bodens durch die eingestrahlte Sonnenenergie ansteigt, und dadurch bodenbürtige Keimlinge abgetötet werden. Außer Sonnenenergie werden für eine gründliche Entseuchung noch zusätzlich Chemikalien eingesetzt (siehe Absatz 3.5.6).

Fruchtfolge

Die Tomatenpflanze ist nicht selbstverträglich, d.h. Tomatenpflanzen sind bei einem nochmaligen Anbau auf der gleichen Fläche sehr empfindlich gegenüber auftretenden Krankheiten, den so genannten Fruchtfolgekrankheiten. Auftretende Schäden durch Fruchtfolgekrankheiten müssen äußerlich nicht erkennbar sein, sind aber durch Ertragsbeobachtungen (Ertragsminderungen bis Ertragsverminderungen) und Bodenanalysen nachweisbar (Hornischer et al. 2005). Deshalb sollte eine optimale Fruchtfolge die vierjährige Anbaupause nach Solanaceen (Familie der Nachschattengewächse) mit einschließen (vgl. Hornischer et al. 2005). Da dies im Intensivgartenbau selten möglich ist, wird dies praktisch auch in der biologischen Kulturführung nie eingehalten. Um Fruchtfolgekrankheiten zu vermindern werden ausschließlich veredelte Jungpflanzen eingesetzt und alle 4-5 Jahre wird der Folientunnel verstellt (Binder 2008, pers. Mitteilung), damit sich die Anbauflächen wieder regenerieren können.

2.2.3 Biologischer Anbau

Die Produktionsrichtlinien für den biologischen Anbau sehen ausschließlich den Anbau als Erdkultur vor. Nicht zugelassen ist der Anbau auf Steinwolle, Hydrokultur, die Nährfilmtechnik u.ä. Verfahren. Der Einsatz von Torf zur Anreicherung der Böden mit organischer Substanz ist verboten (BIO AUSTRIA 2006).

Beheizung der biologischen Tomatenkulturen

Im Winter (Dezember bis Februar) dürfen die Kulturflächen im Ökolandbau lediglich frostfrei (höchstens 10°C) gehalten werden. Jung- und Topfpflanzenproduktion bzw. die ausschließliche Beheizung mit nachweislich erneuerbarer Energie (nachwachsende Rohstoffe, Hackschnitzel, Sonnenenergie) und Abwärmenutzung (Biogasanlagen etc.) sind davon ausgenommen. Auf eine gute Wärmedämmung der Glashäuser ist zu achten. Künstliches Licht ist (mit Ausnahme zur Jungpflanzenanzucht) verboten. (BIO AUSTRIA 2006). Da der Aufwand für eine Hackschnitzelheizung oder Biogasanlage beträchtlich ist, wird in der Praxis oft nur 1,5 Monate im Jahr (Übergangszeit) beheizt (Binder 2008, pers. Mitteilung).

Düngung

Die Düngung im biologischen Anbau erfolgt i.d.R. durch organisches Material (Mist oder Kompost) und für eine zusätzliche Nachdüngung (infolge Stickstoffbedarfs) werden i.d.R. flüssige Düngemittel verwendet (detaillierte Informationen in Hornischer et al. 2005). In Österreich ist das überwiegend Vinasse, ein Nebenprodukt der Zuckerherstellung (Zuckerrohr- und Zuckerrübenmelasse), die über die Bewässerung, mittels Gießkanne oder Tropfbewässerung zugegeben wird (Ambrosch 2008, pers. Mitteilung).

2.2.4 Allgemeine Kulturmaßnahmen

Temperatur

Die Keimtemperatur der Tomatensamen liegt bei 23-25°C (vgl. George and Eghbal 2003). Sobald die dicht gesäten Sämlinge gekeimt sind, werden sie pikiert, d.h. die winzigen Pflänzchen werden einzeln in einen größeren Pflanztopf gegeben. Durch diesen Vorgang haben die Pflanzen mehr Platz zum Wachsen und können sich bei einer Temperatur von 22°C zu einer „fertigen“ Jungpflanze entwickeln (vgl. George and Eghbal 2003). Diese Jungpflanzen werden in weiterer Folge von den Produktionsbetrieben zugekauft und in ein neues Medium gepflanzt (Substrat oder Erde). Die Tagestemperaturen sollen ab diesem Zeitpunkt bei 16-18°C und die Nachttemperatur um die 14-16°C betragen (vgl. George and Eghbal 2003). Eine Höchsttemperatur von 27°C sollte nicht erreicht werden,

da die Pflanze ab dieser Temperatur nicht mehr assimilieren kann (George and Eghbal 2003).

Fertigation

Das Wort Fertigation setzt sich zusammen aus „fertilize“ und „irrigate“ und bedeutet, dass die Düngung der Pflanzen, die Nährstoffzufuhr, über die Bewässerung erfolgt. Ein wichtiger Aspekt der Fertigation ist die Aufnahmerate der Pflanze und somit die Möglichkeit einer höheren Effizienz der Stickstoffaufnahme.

Fertigation findet allgemeine Verwendung, sowohl im konventionellen als auch im biologischen Anbau. Das Gießwasser wird über ein Tropfsystem zugeführt und muss immer einen Überschuss an Wasser, so genanntes Drainwasser (ca. 25 %) führen, welches bei offenen Verfahren ungefiltert in die Umwelt abfließt (Jochum 2007, pers. Mitteilung).

Pflanzenschutzmittel

In Österreich werden konventionelle Pflanzenschutzmaßnahmen möglichst weitgehend vermieden sodass von integrierter Produktion (IP) gesprochen werden kann (Zambra 2008b, pers. Mitteilung). Üblich und weit verbreitet ist der Einsatz von Nützlingen, wie z.B. Erzwespen (*Encarsia formosa*) oder Raubwanzen (*Macrolophus caliginosus*) gegen Weiße Fliege (*Trialeurodes vaporariorum*) (vgl. www.biohelp.at 2008).

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass auch die so genannten „nützlingsschonenden“ Pflanzenschutzmittel, wenn auch in geringerem Maß, Nutztiere hemmen oder schädigen können. Ein vorbeugender oder frühzeitiger Nützlingseinsatz ist in jedem Fall zu befürworten.

Bestäubung

Bei der Tomate handelt es sich um eine selbstbestäubende Pflanze (Autogamie), d.h. Pollenkörner derselben Blüte können die Narbe befruchten.

Früher war es üblich die Drahtgestelle zu rütteln, damit genügend Pollen auf die Narbe rieseln. Später fand der batteriebetriebene Vibrationsstab (ein so genannter Triller) Verwendung, mit dem die Blütenstände mechanisch geschüttelt wurden (Vogel 1996). Das war sehr zeit- und kostenaufwändig. Heute übernehmen Hummeln (*Bombus terrestris*) diese sehr arbeitsintensive Aufgabe. Die Hummelkästen (mit den Völkern) werden direkt im Tomatenbestand aufgestellt und alle 4-12 Wochen (je nach Typ) ausgetauscht (vgl. www.biohelp.at 2008). Diese Nützlinge werden sowohl in erdelosen konventionellen Kulturen, als auch in biologischen Kulturen eingesetzt.

Kulturarbeiten

Nach dem Pflanzen geschieht das Hochleiten der Tomatentriebe an Schnüren - bei dichter Bepflanzung im Kurzzeitanbau auch an Stäben (heutzutage eher selten). Im Langzeitanbau werden die Tomatenpflanzen von Dezember/Januar bis November durchkultiviert und das Absenk-Leitsystem am 3 m hohen Spanndraht bevorzugt (vgl. George and Eghbal 2003). Dieses System wird auch Layerkultur genannt. Die Tomatenpflanze wird bei Erreichen des Spanndrahtes um etwa 30 bis 50 cm abgesenkt und der Pflanzenstängel in Längsrichtung auf dem Grundbeet abgelegt (George and Eghbal 2003). Unten liegende Stängel müssen abgeerntet und entblättert sein und sollten nicht direkt auf dem Boden aufliegen (George and Eghbal 2003). Durch diese Technik kann eine Tomatenpflanze eine Länge von bis zu 12 m erreichen (George and Eghbal 2003; siehe Abbildung 3). In der biologischen Kulturführung gibt es bereits positive Erfahrung mit der Layerkultur, die auch für niedrigere Gewächshäuser (von 2,2 m Höhe) Anwendung finden kann (vgl. George and Eghbal 2003).

Wichtig für einen rentablen Tomatenertrag ist neben dem Strahlungsangebot das optimale Gleichgewicht zwischen vegetativem und generativem Wachstum (Vogel 1996). Außer exakter Klimaführung, Düngung und Wasserversorgung müssen Pflanzenwachstum und Fruchtbehang bzw. -ausbildung im richtigen Gleichgewicht stehen. Das rechtzeitige Ausbrechen der Seitentriebe und Entfernen von abgestorbenen, vergilbten Blättern sowie gesunder Blätter (Ausgeizen) ist sehr essentiell (vgl. Vogel 1996; George and Eghbal 2003).

„encalado“ - Tünchen

„Encalado“ bezeichnet das Kalken der Gewächshausfolien, das die Sonneneinstrahlung abschwächt und somit die Innentemperatur des Gewächshauses reduziert. Diese Methode findet in der Region Almería's breite Anwendung und soll die Einstrahlung um 30 % verringern (Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“ 2005).

3 Methodik

3.1 Methodischer Ablauf

Die Struktur dieser Arbeit basiert auf der Methodik zur Erstellung einer Ökobilanz - Life Cycle Assessment – bzw. Lebenszyklusanalyse. In Ökobilanzen werden die Umweltfolgen eines Produktes von der Rohstoffgewinnung (oder Primärenergiegewinnung) bis zur endgültigen Entsorgung (oder Recycling), oder anders ausgedrückt, von der Wiege bis zur Bahre („cradle-to-grave“) erfasst. Das Schema einer Ökobilanz ist in Abbildung 5 dargestellt.

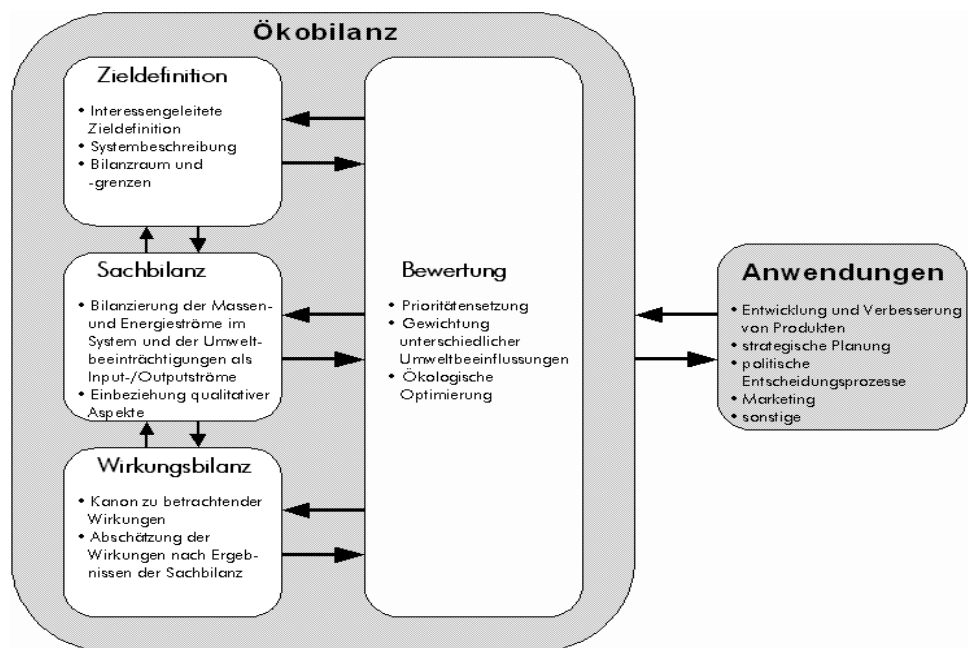


Abbildung 5: Schema einer produktbezogenen Ökobilanz. Q: online, Uni Braunschweig 25.5.2008

Eine Ökobilanz besteht gemäß nach ISO 14040 - 14043 aus vier Arbeitsschritten:

1. Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen (Goal and scope definition)

In dieser ersten Phase wird auch die den Nutzen quantifizierende Größe (Nutzeinheit, engl. functional unit) festgelegt. Das ist eine produktspezifische Einheit, auf die alle Umweltwirkungen bezogen werden. Im landwirtschaftlichen Kontext sind Angaben pro kg Trockenmasse, pro ha Fläche, pro L Milch oder Bruttoerlöse denkbar, da im Rahmen von Ökobilanzierungen die funktionale Einheit mehrfache Funktionen übernehmen kann (vgl. Hayashi et al. 2007). Der Untersuchungsrahmen mit seinen Systemgrenzen wird hier definiert sowie Annahmen und Beschränkungen beschlossen (siehe Methodik, p. 25).

2. Inventarisierung (Sachbilanz, Inventory Analysis)

Im zweiten Schritt werden zunächst die Masse und Energieströme, die den umweltrelevanten Prozessen der Tomatenproduktion zugrunde liegen erhoben und die daraus gewonnenen Daten aufbereitet werden, bevor eine Bewertung durchgeführt werden kann. Das Zwischenergebnis präsentiert sich in Form einer Sachbilanz bzw. Life Cycle Inventory (LCI).

3. Wirkungsabschätzung (LCIA)

Hier erfolgt die Beschreibung der tatsächlichen ökologischen Konsequenzen auf die Umwelt. Das Life Cycle Impact Assessment (LCIA) klassifiziert die Parameter der Sachbilanz in spezifische Umweltauswirkungen, wie z.B. Versauerung, Eutrophierung, Humantoxizität. Zusätzlich erfolgt eine Gewichtung („Charakterisierung“) dieser Wirkungskategorien mit Hilfe von Äquivalenzfaktoren (auch category indicators oder characterisation factors) (vgl. Baumann and Tillmann 2004, NOPonline 2008).

4. Auswertung und Interpretation der Resultate

Dieser vierte Arbeitsschritt fasst die Ergebnisse aus Sach- und Wirkungsbilanz zusammen und bewertet die Ergebnisse im Kontext der Zielsetzung, die im ersten Arbeitsschritt festgelegt wurde.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei der vorliegenden Arbeit jedoch um keine Ökobilanzierung im engeren Sinne handelt. Es werden die Arbeitsschritte 1 und 2 nach dem Ökobilanzierungsschema ausgeführt. Die Wirkungsabschätzung für jedes der acht Produktionssysteme wird mit Hilfe von GEMIS Österreich 4.4 durchgeführt und in Form einer CO₂-Bilanz dargestellt. Aus diesen Werten wird der Ökologische Fußabdruck als aggregierter Faktor kalkuliert.

Das Überblicksschema in Abbildung 6 zeigt einen die methodische Vorgangsweise der vorliegenden Arbeit.

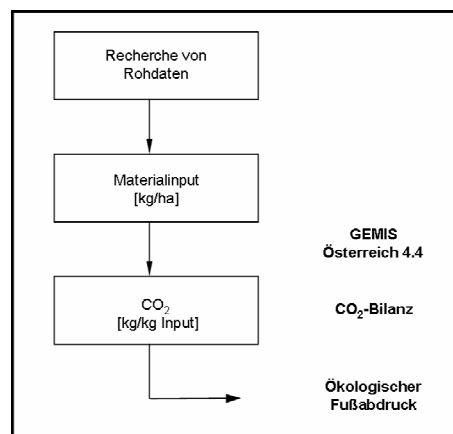


Abbildung 6: Überblicksschema des methodischen Ablaufes der vorliegenden Arbeit. Q: eigene Darstellung

3.1.1 Recherche und Datenqualität

Die Produktion von Tomaten ist gekennzeichnet von einer großen Heterogenität und unterliegt einer hohen Dynamik. Tatsache ist, dass sich die Systeme in einer ständigen und raschen Weiterentwicklung der Technologien befinden.

Die größte Schwierigkeit galt der Ermittlung der Basisdaten (Rohdaten) und der Erstellung der Sachbilanzen für die einzelnen Produktionssysteme. Die genaue Erhebung von betriebsspezifischen Daten würde das Ausmaß einer Diplomarbeit bei weitem übersteigen, wäre aber für eine präzise Analyse von Umweltwirkungen spezifischer Anlagen zur Tomatenproduktion notwendig. Im hier verfolgten vergleichenden Ansatz sind ein datenaufwändiges Verfahren und eine Untersuchung von standortspezifischen Betrieben weder nötig noch möglich. Daten wurden über die STATISTIK AUSTRIA, dem Statistischen Zentralamt in Spanien bzw. Italien (INE bzw. ISTAT), Bundesministerien, aus diversen Sachbüchern des Garten- und Gemüsebaus, Datenblättern des KTBL, Düngerichtlinien oder nationalen Statistiken erhoben und miteinander so plausibel wie möglich kombiniert.

Weiters wurden Interviews mit ExpertInnen des Tomatenbaus (Züchter, Betriebsleiter, Gärtner) bzw. Garten- und Gemüsebaus (Landwirtschaftskammer, Universitäten, Forschungseinrichtungen) geführt und anderweitige Institutionen (Firmen) kontaktiert, sodass viele persönliche Auskünfte in die Daten einfließen. Diese sehr praxisbezogenen Äußerungen sind meist Erfahrungswerte, die dort verwendet wurden, wo offizielle, statistische Daten nicht zur Verfügung standen. Dies beruht teils auf fehlenden Studien, teils auf offensichtlicher Zurückhaltung von Untersuchungsergebnissen.

Die so erhobenen Daten wurden von der Autorin so gut als möglich objektiv betrachtet und nach bestem Wissen und Gewissen als Standardparameter angenommen und kombiniert.

Folglich wird in der vorliegenden Arbeit auch von Systemen mit ihren sozusagen „Modellbetrieben“ in den Ländern Österreich, Spanien und Italien gesprochen. Diese so ermittelten Daten werden in einer Sachbilanz zusammengefasst und bilden die Grundlage für die Analyse mit Hilfe der Datenbank GEMIS.

3.1.2 Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme

Zur Analyse der Inputs in die jeweiligen Anbausysteme wurde die Datenbank von GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) herangezogen. GEMIS wurde vom Öko-Institut Freistadt (Institut für angewandte Ökologie) in Deutschland entwickelt und bietet Bilanzierungs- und Analysemöglichkeiten für Lebenszyklen von Energie-, Stoff- und Transportprozessen sowie ihrer beliebigen Kombination.

In der vorliegenden Arbeit wird mit der aktuellsten Ausführung GEMIS-Österreich 4.4 gerechnet, die vom österreichischen Umweltbundesamt anhand der deutschen Basisversion GEMIS 4.4 mit österreichischen Daten ergänzt und weiterentwickelt wurde. Hingewiesen wird an dieser Stelle auf das Fehlen derartiger Anpassungen an italienische und spanische Bedingungen. In Bezug auf den Energiemix zur Stromerzeugung können erhebliche Differenzen zwischen den einzelnen Ländern auftreten. Eine Adaption der ursprünglichen deutschen Daten wurde mangels Daten nicht durchgeführt und Unterschiede müssen vernachlässigt werden. Die Ergebnisse aus GEMIS werden in der CO₂-Bilanz zusammengefasst.

3.1.3 Aufbau des Methodikteils

Nach dieser ersten Einleitung folgt im nächsten Abschnitt zunächst die Erläuterung der Systemgrenzen der verschiedenen Arten des Tomatenbaus und die Auswahl und Definition der Produktionssysteme mit ihren allgemeinen Annahmen und Beschränkungen.

Der zweite Abschnitt gibt einen Überblick der länderspezifischen Systemanpassungen mit der Reihenfolge Österreich, Spanien und Italien, nach Kriterien allgemeiner Gültigkeit und Näherungen für jedes analysierte Produktionssystem. In diesem Teil der Arbeit werden auch die Hintergrundberechnungen der Sachbilanz ausführlich dokumentiert.

Der letzte Abschnitt dieses Kapitels verfolgt die Dokumentation der Berechnungen in GEMIS Österreich 4.4 mit beispielhaften Erklärungen der Kalkulationen.

3.2 Der Untersuchungsrahmen

3.2.1 Flussdiagramm

Der Untersuchungsrahmen der vorliegenden Arbeit ist anhand eines Flussdiagramms, engl. flow-chart, in Abbildung 7 grafisch dargestellt. Es ist die Darstellung der Transportwege, die frische bzw. konservierte Tomaten von ihrem ursprünglichen Produktionsort (Betrieb) zurücklegen, bis sie der Konsument in einem Wiener Supermarkt erwerben kann und basiert auf persönlichen Mitteilungen (siehe Seite 36).

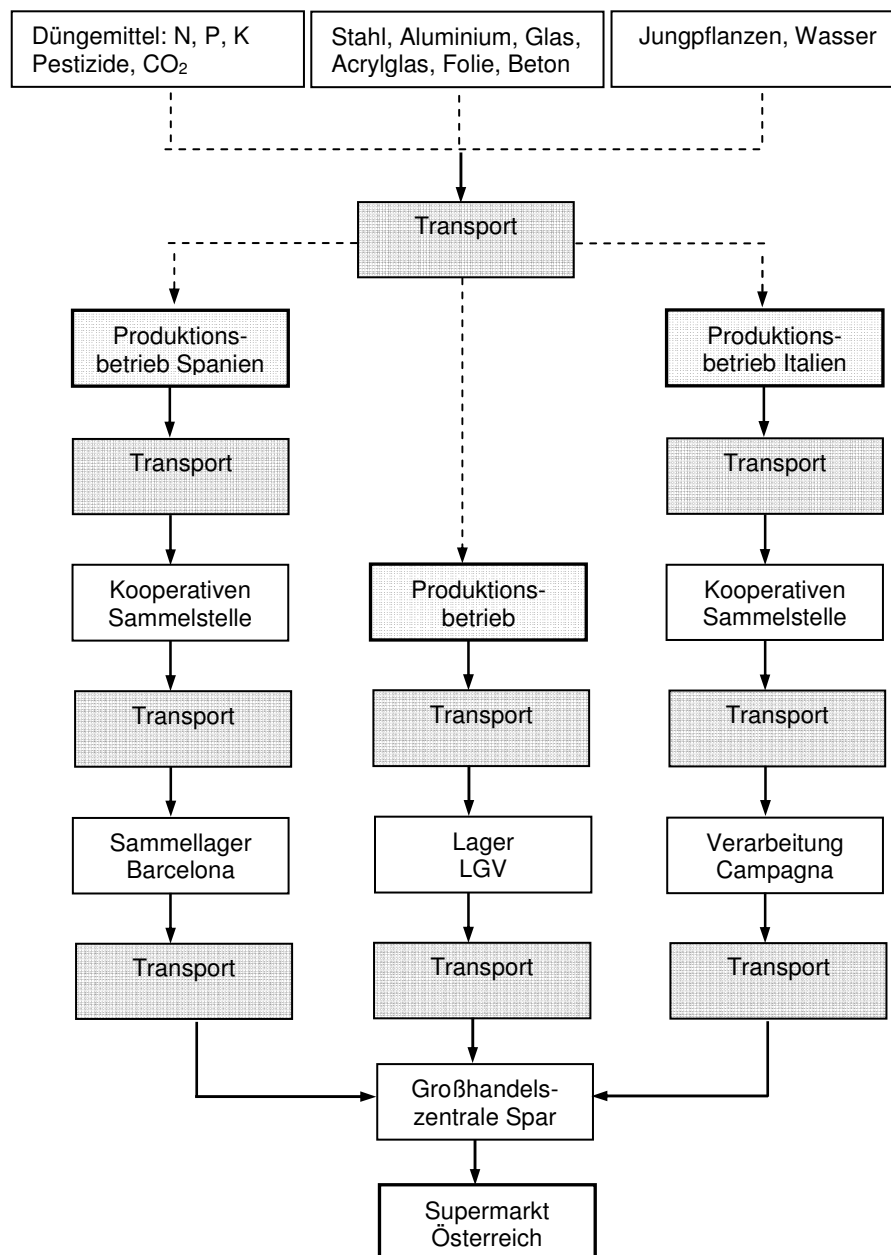


Abbildung 7: Überblick der Tomatenproduktionssysteme- Flussdiagramm. Q: eigene Darstellung nach persönlichen Mitteilungen von Berkmann (2008), Anonym (2008), Pocza (2008), Berger (2008) und Virgilio (2008).

Im hier dargestellten Flow-Chart wird absichtlich die Großhandelszentrale von Spar Österreich erwähnt, da die Informationen bezüglich der Transportwege zum großen Teil von Mitarbeitern der Fa. Spar stammen (siehe unten).

Der hier analysierte Lebensweg von 1 kg Tomaten beginnt bei der Pflanzung der Jungpflanzen im Produktionsbetrieb und endet in einem Wiener Supermarkt. Sieben Sparten fassen die recherchierten Parameter thematisch zusammen, die als System-Inputs die Grundlage der weiteren Kalkulation sind:

1. Fläche und Ertrag
2. Gewächshausstruktur
 - a. Glas, Folie, Plexiglas
3. Gewächshausmanagement
 - a. Heizbedarf
 - b. Steinwolleaufwand
 - c. Entsalzung, Wasserbedarf
4. Agrochemie
 - a. Düngemittelaufwand
 - b. Pestizidaufwand
 - c. CO₂-Begasung
5. Kulturarbeiten
 - a. Maschinenstunden
 - b. Menschliche Arbeit
6. Verarbeitung/Lagerung
7. Transport

Der energetische und materielle Aufwand für die Pflanzenaufzucht inklusive des Transports und der Abfälle bleiben außerhalb der Grenze. Ebenso werden sämtliche Abfälle die auf Betriebsebene anfallen, inklusive der organischen Abfälle der Tomatenkulturen, nicht analysiert.

3.2.2 Funktionelle Einheit

Eine funktionelle Einheit ist der Faktor auf die sich in Ökobilanzierungen alle Umweltauswirkungen beziehen. Die Endergebnisse aus der Analyse mit dem Computermodell GEMIS sind auf 1 kg Tomaten (Frischgewicht) bezogen. Die Multifunktionalität der Landwirtschaft wird bei den Zwischenresultaten der Sachbilanz deutlich. Alle Inputparameter beziehen sich auf 1 ha, z.B. Energie in GJ/ha, Wasserbedarf in m³/ha oder Düngemittel in kg/ha usw. (vgl. Sachbilanzen in Tabelle 42).

3.2.3 Definition der Produktionssysteme

In dieser Arbeit werden acht Produktionssysteme von Tomatenkulturen analysiert, wovon fünf in Österreich, zwei in Spanien und eines in Italien lokalisiert sind. Eine Zusammenfassung der Bezeichnung aller Produktionssysteme und des spezifischen Ortsbezuges, der eine wichtige Rolle bei der Ermittlung der Transportkilometer und des Heizbedarfes einnimmt, kann Tabelle 3 entnommen werden. Der Ortsbezug für Österreich sind das Land Wien (Standort Simmering) und das Burgenland. Die spanische Produktion findet in der autonomen Provinz Almería statt, die wiederum sehr heterogen ist, wie im Folgenden noch zu lesen sein wird. In Italien wird die Provinz Apulien (ital. Puglia) herangezogen, da ihr wirtschaftlich eine große Bedeutung zukommt.

Tabelle 3: Nomenklatur der acht Tomatenproduktions-Systeme. Q: eigene Darstellung

#	Land	Produktionssystem – Charakteristik	Orts- bezug	Abkürzungen
1	Österreich	Substrat, geheizt, Ganzjahr, Venlo-Haus	Wien	AUT Venlo-Haus
2	Österreich	Substrat, geheizt, Ganzjahr, Glashaus	Wien	AUT Glashaus
3	Österreich	Erde, ungeheizt, Folientunnel konventionell	Burgenland	AUT Folie konv.
4	Österreich	Erde, ungeheizt, Folientunnel biologisch.	Burgenland	AUT Folie bio.
5	Spanien	Erde, ungeheizt, Ganzjahr, Folientunnel	Almería	ESP Folie
6	Italien	Erde, Freiland	Apulien	ITA Freiland
7	Österreich	Erde, geheizt Ganzjahr, Folientunnel	Wien	AUT Folie bio.*
8	Spanien	Erde, geheizt, Folientunnel; entsalzt	Almería	ESP Folie*

Die rechte äußere Spalte mit der Überschrift „Abkürzungen“ führt die Nomenklatur der einzelnen Systeme an, die in vorliegender Arbeit bei der Darstellung der Ergebnisse Verwendung finden. Die Definition der verschiedenen Systeme hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

1. Gewächshausstruktur: Glashaus, Venlo-Haus (seitliches Acrylglasswände, Glasdach) oder Folientunnel
2. Kultursystem: Erde oder Substrat
3. Kalt oder beheizt

Der Begriff Venlo-Haus definiert die spezielle leichte Bauart eines Gewächshauses in Blockbauweise (Zabeltitz 1986). Die Stehwandhöhe beträgt rund 4 m und die Nennbreite einer Einheit ist 3,20 m, die durch Gitterunterzüge erweitert werden kann (Zabeltitz, 1986).



Abbildung 8: Venlo-Haus mit CO₂-Tank in Simmering, Österreich. Foto: Michaela C Theurl

Ein typisches Venlo-Haus in Wien Simmering mit einem davor stehenden CO₂-Tank zeigt Abbildung 8. In der vorliegenden Arbeit kommt der Bezeichnung Venlo-Haus noch eine Besonderheit zu, da sie dafür steht, dass die Stehwände des Venloer Gewächshauses aus doppeltem Acrylglas (PMMA oder *Plexiglas*®) bestehen. Dieser Kunststoff stellt aufgrund seiner isolierenden Eigenschaften einen energiesparenden Faktor dar. Im Gegensatz dazu ist mit Glashaus ein Gewächshaus mit Einfachglas für Dach und Stehwände gemeint.

Da in Österreich noch viele „alte“ Glashäuser zu finden sind, sollen diesbezüglich Unterschiede aufgezeigt und die Auswirkung auf den Indikator CO₂ dargestellt werden. Der Anbau in Erde und im kalten Folientunnel ist in Österreich sehr verbreitet (überwiegend im Burgenland und in der Steiermark). Es sind vor allem Mischbetriebe mit einem vielschichtigen Anbauspektrum verschiedener Gemüsearten und Zierpflanzen, die in Erde produzieren (Sächsische Landesanstalt 2004).



Abbildung 9: Typischer Folientunnel im Burgenland, Österreich. Foto: Michaela C Theurl

In biologischen Produktionssystemen ist der Glashausanbau sogar rückläufig, da sehr gute Ergebnisse in der Produktion unter Folie erzielt wurden (Stopper 2007, pers. Mitteilung). Einen typischen unbeheizten Folientunnel zeigt Abbildung 9, der zudem die Kalkulationsgrundlage der Inputfaktoren der Folientunnelsysteme in Österreich bildet.

3.3 Allgemeine Annahmen und Beschränkungen

Die folgenden Absätze geben Auskunft über die Berücksichtigung von Systemkomponenten und die genaue Definition der Systemgrenzen.

3.3.1 Kulturführung

Rispentomaten vs. lose Tomaten

Aufgrund der fehlenden Differenzierung zwischen Rispentomaten, losen Tomaten oder Cocktailtomaten in allen für diese Arbeit relevanten nationalen sowie internationalen Statistiken, kann diesbezüglich keine Unterscheidung vorgenommen werden. Eine signifikante Beeinträchtigung der Ergebnisse wird als nicht wahrscheinlich angenommen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass der Flächenanteil an Rispentomaten in Österreich rund 1/3 der Gesamtproduktion entspricht (50 ha in Jahr 2006) und weitere Flächenzuwächse zu erwarten sind, da einige Betriebe erst mit der Produktion begonnen haben (BMLFUW 2007).

Biomassenutzung

Beim Anbau von landwirtschaftlichen Erzeugnissen gibt es immer Biomasseverluste zu verzeichnen, daher ist eine stoffliche Nutzung von 100 % nicht möglich. Auch beim Anbau von Tomaten gibt es einen Ausschuss, wenn z.B. die Früchte zu klein oder faulig sind und gleich kompostiert werden oder am Feld bleiben. Der nicht nutzbare Anteil der Tomatenpflanzen sowie dessen Verbleib sind außerhalb der Systemgrenze. In punkto Arbeitskraft und Maschinenstunden, werden Aufwände z.B. für das Abräumen der Kultur jedoch berücksichtigt.

Kohlenstoffgehalt von 1 kg Tomaten

Der Trockensubstanzanteil von 1 kg Tomaten beträgt 5,8 % (Herrmann 2001). Diese 0,058 kg Trockensubstanz beinhalten 0,0273 kg Kohlenstoff (0,47 t C/t Trockenmasse, Standardwert nach McGroddy et al. 2004 in IPCC 2006, p. 48). Weiters sind 0,0273 kg Kohlenstoff rund 0,1 kg CO₂. Das heißt, dass ein 1 kg Tomaten während seines Wachstums 0,1 kg CO₂ aufnimmt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die CO₂-Emissionen die durch den Verzehr von 1 kg Tomaten entstehen in der Lebenszyklusanalyse nicht berücksichtigt werden.

Bruttobetriebsquadratmeter

In gartenbaulichen Berechnungen werden die unterschiedlichen Parameter, wie z.B. Maschinenstunden, Heizkosten- oder Düngemittelaufwand, meist auf 1.000 Bruttoquadratmeter bezogen. In dieser Bruttofläche ist die Wegefläche inkludiert und je nach Betrieb entspricht dies Beetflächen von 700-900 m² (Mithöfer 2003). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich in der vorliegenden Arbeit sämtliche Inputfaktoren auf 10.000 Bruttoquadratmeter beziehen, auch wenn dies in weiterer Folge nicht mehr explizit angegeben wird.

Fruchtfolge

Bei der Untersuchung agrarischer Produktionssysteme ist die Betrachtung der Fruchtfolge ein übliches Problem, da der Fruchtwechsel als ein untrennbarer Prozess gesehen werden sollte und alle zugehörigen Feldfrüchte Co-Produkte dieses Prozesses sind (vgl. Andersson et al. 1994). Aus Gründen der Besonderheit der Gewächshauskultur sowie aus Gründen einer jährlichen kontinuierlichen Marktbelieferung ist eine ordnungsgemäße Fruchtfolge-gestaltung im Gewächshaus praktisch unmöglich. Beim Anbau auf Substrat stehen der hohe technische Ausstattungsgrad der Häuser sowie die Produktbindung am Markt (hoher Spezialisierungsgrad) dem Kulturwechsel entgegen. In der Praxis sind in den österreichischen Systemen in Erde und im Freilandssystem Italiens der Einsatz von Vor- und Nachfrüchten (Kopfsalat, Radies, Winterroggen bzw. Brokkoli, Kohl etc.) üblich. Vor- und Nachfrüchte werden z.B. bei der Betrachtung der Gewächshauskonstruktion berücksichtigt. Direkte Inputs der Vor- und Nachfrüchte, wie z.B. Düngemittel oder Arbeitskraftstunden bleiben unberücksichtigt, da diese Parameter im Lebenszyklus der Tomate keine Bedeutung haben.

Als Beispiel einer möglichen Fruchtfolge dient folgender Fruchtfolgeplan aus dem konventionellen Folientunnel im Raum Graz, Österreich. Im Februar wird sehr häufig Grazer Krauthäuptel (ein Feldsalat, *Lactuca sativa* var. *capitata*) als Vorkultur und als Hauptkultur, von Ende April bis Ende Oktober, Tomaten kultiviert. In einigen wenigen Betrieben wird die Tomatenkultur schon früher geräumt und Ende Oktober noch Feldsalat (auch Vogerlsalat, Rapunzel, *Valerianella locusta*) angebaut. Der Markt sei aber klein und der Absatz daher nicht gesichert, weshalb der Großteil der Betriebe keine dritte Kultur pro Jahr mehr betreibt (Weber 2008, pers. Mitteilung). Falls die Nachkultur entfällt, kann Winterroggen angebaut werden, der als Gründüngung im System bleibt.

Die Dauer der Kulturführung

In der Praxis variieren die Produktionssysteme beachtlich in Abhängigkeit von der Gewächshausstruktur (geheizte Venlo-Häuser, ungeheizte Folientunnel) und der

Marktsituation. Daher war es schwierig ideale Produktionssysteme zu modellieren, wenn berücksichtigt wird, dass sich sehr rasch eine Umgestaltung der Fruchtfolgen (Folientunnel) ergeben kann. Zu beachten gilt auch, dass der Zeitraum der Kulturführung mit der Ertragshöhe, dem Einsatz menschlicher Arbeit, Maschinenstunden etc. zusammenhängt.

Österreich

Die in Tabelle 4 angeführten österreichischen Produktionssysteme wurden von der Autorin anhand von mündlichen Mitteilungen von Experten (BOKU Wien, Züchter, Landwirtschaftskammer), Fachbüchern (Vogel 1996; Storck 1994) und einschlägigen Publikationen (BIO AUSTRIA, Sächsische Landesanstalt, Hornischer et al. 2005; Demerci 2001; Chiappetta 1998) erstellt. Unter Ganzjahresanbau versteht man in Österreich den Zeitraum von Anfang Jänner bis 1. Dezember. Im Dezember wird das Haus gereinigt und desinfiziert und die Kultur abgeräumt. Wie aus Tabelle 4 erkennbar, dauert der Freilandanbau von Ende April bis Mitte Oktober. Für das hypothetische Produktionssystem beheizter biologischer Folientunnel wird angenommen, dass ebenfalls das ganze Jahr über angebaut und beheizt wird.

Spanien

In Almería gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Fruchtzyklen (Thompson et al. 2007) und in der Praxis sind 2 Tomatenzyklen üblich: ein langer von September bis Mai und ein kurzer, von Jänner bis Mai (Castilla and Hernandez 2005).

Die Recherche bei Experten vor Ort brachte keine endgültig und klar definierte Einteilung des Anbaujahres („Las Palmerillas“, Universität Almería), sondern bestätigte die große Variabilität in der Kulturführungsdauer aufgrund unterschiedlicher klimatischer Bedingungen innerhalb der Provinz. So sind in bestimmten Teilen Almerías (z.B. Las Norias) sehr niedrige Temperaturen bis Fröste im Winter möglich, während andere Teile (z.B. La Cañada) das ganze Jahr über ideale klimatische Bedingungen aufweisen (Magán 2008, pers. Mitteilung).

Die Entscheidung des Betriebsleiters, ob ein langer oder kurzer Zyklus geführt wird, hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab: i) Marktpreise, ii) Gewächshausstruktur, iii) Fruchtqualität und iv) der persönlichen Einstellung des Betriebsleiters (Diánez 2008, pers. Mitteilung).

Da almeriensische Tomaten vorwiegend in die nördlichen Länder der EU exportiert werden, gibt es grundsätzlich gute Preise vor Weihnachten, mit sinkenden Preisen während der Feiertage und recht niedrigen Preisen im Jänner und Februar, da nun in der gesamten Region große Mengen geerntet werden (Magán 2008, pers. Mitteilung).

Im Jänner bis Februar kann auch entschieden werden, die bestehende Tomatenkultur zu beenden und mit einer neuen zu beginnen bzw. eine andere Gemüseart (z.B. Melone) anzubauen (Magán 2008, pers. Mitteilung). Da im zweiten Zyklus („ciclo de primavera“) die Qualität der Früchte in der Regel besser ist als im langen Zyklus, wird im Frühling der spanische und italienische Markt für Salattomaten interessant, wobei weiters der Preis März/Anfang April noch einen Aufschwung erlebt, bevor die spanischen Tomaten mit den eigenen Tomaten der Exportländer in Konkurrenz treten und der Preis zu sinken beginnt (Magán 2008, pers. Mitteilung). Vom Preis abhängig ist folglich auch das Ende der Kultur und kann bis Ende Juni ausgeweitet werden. Die Pflanzung der Jungpflanzen kann bereits Anfang/Mitte August erfolgen, jedoch bis spätestens Ende September, wenn Krankheiten auftreten, wie z.B. der von Weißen Fliegen (Mottenschildlaus) übertragene Virus TYLCV, engl. tomato yellow leaf curl virus (Diánez 2008, pers. Mitteilung).

Aus der aktuellsten großflächig angelegten Studie der Estación Experimental de la Fundación „Las Palmerillas“ 2005/06, geht hervor, dass 86,4 % der Tomaten Almerías im „ciclo largo“ geführt werden (Céspedes 2008 pers. Mitteilung; die Studie wird voraussichtlich im November 2008 veröffentlicht). Flächenmäßig sind das 7.737 ha (genauere Kalkulation siehe Tabelle 23). Daher wird auch in der vorliegenden Arbeit der Winterzyklus, auch „long cycle“, „ciclo largo“ oder „ciclo unico“ (Cadenas 1999), ausgewählt und berechnet. Abbildung 10 gibt einen graphischen Überblick des Anbauzyklus einer Tomatenkultur im Zeitraum von einem Jahr. Es gibt weder Vor-, noch Nachfrucht (Castilla 2008, pers. Mitteilung) und in den Monaten Juli bis Mitte August steht das Foliengewächshaus leer (Salas 2008, pers. Mitteilung).

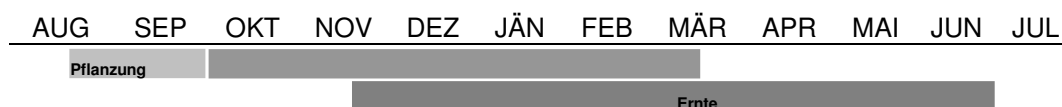


Abbildung 10: Langer Anbauzyklus - „ciclo largo“ - von Tomaten in Almería, Spanien..Q: Cadenas (1999)

Die Jungpflanzen werden ab Mitte August und den ganzen September gesetzt, um mit der Ernte Ende November/Dezember beginnen zu können. Die Produktionsmaxima sind im Jänner und Februar mit Erträgen von 3 bis 4 kg pro m² und Monat. Probleme in den Tomatenbeständen (geringere Fruchtgröße) treten im März und April auf und reduzieren den Ertrag (2 bis 3 kg/m²/Monat). Im Mai erholen sich Qualität und Ertrag und im Juni endet die Kulturführung (Cadenas 1999).

Italien

In der süditalienischen Provinz Apulien hat die Verarbeitungstomate eine sehr große wirtschaftliche Bedeutung. Kultiviert wird die Verarbeitungstomate ausschließlich am Feld.

Die Pflanzung erfolgt Mitte April, mechanisch geerntet wird bereits Mitte Juli und kann je nach Pflanzungstermin bis Ende September andauern (Virgilio 2008, pers. Mitteilung). Das hier skizzierte Produktionssystem berücksichtigt weder Vor- noch Nachfrucht und hat eine Kulturdauer von 6 Monaten im Jahr.

Tabelle 4: Kulturdaten der acht Tomatenproduktions-Systeme – Übersicht. Q: eigene Darstellung

#	Kürzel	Produktionssystem	Kulturbeginn - Pflanzung	Erntedauer	Wochen
1	AUT	Substrat, geheizt, Veno-Haus <i>Ganzjahresanbau</i> Tomate	1. - 6. KW (Anfang Jän.)	Ende März - Anfang Nov. 13./16. - 44./47. KW	47
2	AUT	Substrat, geheizt, Glashaus <i>Ganzjahresanbau</i> Tomate	1. - 6. KW (Anfang Jän.)	Ende März - Anfang Nov. 13./16. - 44./47. KW	47
3	AUT	Erde, ungeheizt, Folientunnel <i>Tomate Hauptkultur konv.</i> Tomate	18. KW (Ende April)	Anfang Juli - Mitte Okt. 27. - 44. KW	28
4	AUT bio	Erde, ungeheizt, Folientunnel <i>Tomate Hauptkultur bio</i> Tomate	18. KW (Ende April)	Anfang Juli - Mitte Okt. 27. - 44. KW	28
5	ESP	Erde, ungeheizt, Folientunnel <i>Ganzjahresanbau</i> "long cycle"	37.KW (Mitte Aug.)	Anfang Nov. - Ende Juni 46. - 27. KW	42
6	ITA	Erde, Freiland <i>Tomate Hauptkultur</i>	13. KW (Anfang April)	Ende Aug. - Ende Sept. 35. - 39. KW	24
hypothetische Systeme					
7	AUT bio	Erde, geheizt, Folientunnel <i>Ganzjahresanbau</i> Tomate	1. - 6. KW (Anfang Jän.)	Ende März - Anfang Nov. 13./16. - 44./47. KW	47
8	ESP	Erde, geheizt, Folientunnel; entsalzt <i>Ganzjahresanbau</i> "long cycle"	33. KW (Mitte Aug.)	Anfang Nov. - Ende Juni 46. - 27. KW	42

3.3.2 Gewächshausstruktur

Zur Vereinfachung wurde die Annahme getätigt, die verschiedenen Kunststoffarten für Bedachungsfolien, Mulchfolien, Plexiglas® für Türen und Stehwände mit dem Prozess Kunststoff/LDPE-Folie-APME-99 (Polyethylen low density) zu berechnen.

Die Lebensdauer der Bedachungsfolien wird wie folgt angenommen: für Österreich 5 Jahre (Fa.Fiala 2008, pers. Mitteilung) und Spanien 1,5 Jahre (Céspedes 2008, pers. Mitteilung) angenommen. Für das Plexiglas werden 20 Jahre veranschlagt (eigene Annahme). Kunststofffolien, die als Mulchfolien, zum Auskleiden des Gewächs-

hausbodens bei erdelosen Verfahren oder bei der Bodenentseuchung Verwendung finden, bleiben in den Berechnungen unberücksichtigt. Die Autorin nimmt mangels Daten an, dass der Verbrauch in allen Systemen gleich hoch ist.

3.3.3 Gewächshausmanagement

Aufgrund der erfolgten Recherche kann angenommen werden, dass alle untersuchten Produktionssysteme ihre Tomatenkulturen mittels Tropfbewässerung versorgen. Obwohl dieser Inputparameter für alle in dieser Arbeit untersuchten Produktionssysteme eine grundlegende Voraussetzung ist, bleiben die Anlagen zur Tropfbewässerung unbewertet. Es wird angenommen, dass in allen Szenarien die gleichen Systeme verwendet und daher auch keine Unterschiede sichtbar werden.

In Bezug auf das Gewächshausmanagement wird weiters angenommen, dass keine künstliche Beleuchtung der Tomatenkultur erfolgt. Mangels Daten bleibt auch der sonstige Strombedarf aus der Kalkulation in allen hier dargestellten Produktionssystemen ausgeschlossen.

3.3.4 Agrochemie

Die Düngemittel, die in die Kalkulation einfließen, beziehen sich ausschließlich auf Mineraldünger und Vinasse. Organische Düngemengen, wie Kompost oder Stallmist konnten aufgrund zu großer Aufwändigkeit nicht inkludiert werden. So sind z.B. die Zusammensetzung und die Herkunft des organischen Materials in den meisten Systemen unklar und ist von dem lokalen Umfeld (z.B. Nähe von tierischen Produktionsbetrieben) des Produktionsstandorts abhängig. Hier soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass sie Anteil an den Treibhausgasemissionen besitzen. Die ermittelten Werte der Sachbilanz sind Durchschnittswerte für die gesamte Anbauperiode um die sich verändernden Nährstoffansprüche der Pflanzen im Laufe ihres Wachstums zu vereinheitlichen. Mögliche Unsicherheiten könnten sich bei der Berechnung der Stickstoff-, Phosphor- und Kalimengen in kg pro ha ergeben, da einige Quellen die Konzentration einer Standardlösung angaben, die mit dem speziell ermittelten Wasserverbrauch des Systems multipliziert werden musste.

Pflanzenschutzmittel

Aufgrund des sehr vielfältigen Angebots an Pflanzenschutzmitteln bleibt eine genaue Unterscheidung in Herbizide, Insektizide, Akarizide oder Nematozide unberücksichtigt. Der Einsatz chemischer Produkte für die Entseuchung des Bodens oder das Ausgasen der Gewächshäuser wird in der Sachbilanz und CO₂-Bilanz ebenfalls unter dem Punkt Pflanzenschutzmittel angeführt und kalkuliert.

3.3.5 Kulturarbeiten

Die Produktion im Folientunnel und am Feld unterscheidet sich hinsichtlich der Produktion im Glashaus durch eine kürzere Erntezeitspanne (vgl. Tabelle 4). Bei kürzeren Anbauzeiten fällt dementsprechend auch weniger Arbeit pro ha an, denn der erforderliche Arbeitszeitbedarf ist wesentlich von den laufenden Kulturarbeiten (Entgeizen der Triebe, Entblättern) und vom Ertrag (Ernte) abhängig (siehe Absatz 2.2.4).

Die Heterogenität des Datenmaterials mit seiner unterschiedlichen Zusammenstellung des Geräteaufwandes veranlasst zu einer Vereinfachung in der Kalkulation. Es wird angenommen, dass ein Traktor mittlerer Größe, mit einer Nennleistung von 60 kW/82 PS in allen Produktionssystemen zum Einsatz kommt. Es wird eine minimale Auslastung des Traktors mit einem Dieserverbrauch von 4 l pro Stunde angenommen (minimale Auslastung, ÖKL 2008 p.4). Der Inputparameter Maschinenstunden birgt ein „Double-counting“, da in den Maschinenstunden jeweils auch der „Markttransport“ inkludiert ist. Um den Fehler auszugleichen werden die für die gesamte Anbauzeit anfallenden Maschinenstunden um etwa 20 % reduziert (Schätzungen der Autorin nach KTBL 2002). In den hier angeführten Produktionssystemen wäre dies der Transport zum Zentrallager der Gemüse-LGV in Österreich bzw. zu den lokalen Sammelstellen der Kooperativen in Almería und Foggia.

3.3.6 Verpackung/Lagerung

Die Verpackung und Waschung frischer Tomaten wird gänzlich aus der Kalkulation ausgeschlossen, da angenommen wird, dass in Österreich und Spanien dieselben Verpackungen verwendet werden und daher keine Unterschiede entstehen. Der Arbeitskraftaufwand für das Waschen und Sortieren, sowie Verpacken ist allerdings im Parameter „menschliche Arbeit“ inkludiert. Diese Grenze kann mangels besserer Daten nicht konsistent gezogen werden.

Die Auswertung der Ökobilanzierung von Gemüsesorten von Kramer *et al.* zeigte, dass die Art der Verpackung einen relativ geringen Einfluss auf die Ergebnisse hat, hingegen das Gewicht entscheidender ist (zitiert in Jungbluth 1998). Obwohl die Verpackung dem Konsumenten am auffälligsten erscheint, hat sie einen vergleichsweise geringen Anteil an den gesamten Umweltbelastungen (Jungbluth 2000). Weiters berichtet Jungbluth (2000), dass der Wegfall von Verpackungen bei Gemüse (bezüglich Einkaufsverhalten von KonsumentInnen) eine Reduktion von nur 1 % an den gesamten Umweltbelastungen ergeben würde.

Verpackung als „geschälte Tomaten in der Dose“ gibt es ausschließlich im italienischen Produktionssystem und inkludiert auch den energetischen Aufwand der Verarbeitung. Der Aufwand, der bei der Lagerung frischer Tomaten entsteht, wird ausschließlich durch den

Kühlenergiebedarf des Großhandels berücksichtigt. Dieser setzt sich aus der durchschnittlichen Lagerdauer des Produktes und dem täglichen Strombedarf der Kühlanlage zusammen. Tomatenkonserven werden grundsätzlich nicht gekühlt.

3.3.7 Transport

Die Recherche der Transportwege von Tomaten (Frischgemüse und Dosen) erwies sich als nicht einfach. Die langen Strecken und die Verderblichkeit frischer Tomaten bieten keine guten Voraussetzungen für einen möglichen Transport mit der Bahn. Es gibt zwar Kühlcontainer, doch ist die Koordination von Hin- und Rückfahren scheinbar zu aufwändig und wegen der Kühlunterbrechungen sehr kostenintensiv, weshalb auf die kostengünstigeren und flexibleren LKWs ausgewichen wird (Berger 2008, pers. Mitteilung). Die Firma Spar sammelt die frischen Tomaten aus ganz Spanien in einem Großlager in Barcelona, von wo aus sie per LKW in eine der 6 Großhandelszentralen Österreichs transportiert werden. Von dort aus werden die Supermärkte (Euro-, Interspar, Filialen) beliefert. Wenig relevant für Spar ist der Einkauf beim Großgrünmarkt, wo manchmal die Waren angekauft werden, z.B. wenn unerwartet eine hohe Nachfrage herrscht, die durch die Zentrallager nicht gedeckt werden kann (Berkmann 2008, pers. Mitteilung). Die geschälten Tomaten in der Dose können und werden mit der Bahn transportiert, da keine Kühlung erforderlich ist (Pocza 2008, pers. Mitteilung). Eine ausführliche Nachforschung bei Speditionsunternehmen (AgroFreight, EXPRESS-INTERFRACHT) erbrachte keine eindeutige Aussage darüber, ob das nun in der Praxis überwiegend erfolgt oder nicht. Nach Auskunft der Firma Merkur Österreich, ist die Option „Schiene“ einfach nicht rentabel und vor allem nur möglich, wenn Verarbeitungsfabrik und Zulieferlager einen eigenen Bahnanschluss besitzen. Weitere Einflussfaktoren sind i) Zeit, der Bahntransport dauert zu lange; ii) Kosten, sind zu hoch, steigen außerdem signifikant, wenn einmal umgeladen werden muss (Anonym 2008, pers. Mitteilung).

Aufgrund dieser Resultate werden in der vorliegenden Arbeit ausschließlich LKWs für die Berechnung berücksichtigt. Eine Unterscheidung erfolgt zwischen Nah- und Ferntransport.

Die Berechnung der Transportstrecke erfolgte mit Routenplanern via Internet von ViaMichelin (2008), Google Maps Deutschland (2008), des ÖAMTC (2008) und wurde mit einer Publikation des SERI Wien (Giljum et al. 2007) verglichen.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie die gemittelten Werte für den Langstreckentransport der einzelnen Produktionssysteme sind in Tabelle 5 dargestellt. Ein lokaler, 15 km langer Transport der frischen Tomaten vom Produktionsbetrieb mittels kleineren Lieferwägen zur größeren Verladestelle der Kooperativen wird für Italien und Spanien angenommen (vgl. Abbildung 7). In Spanien dient die Provinz Almería als

Ortbezug, konkret wird aber der Ort El Ejido zur Berechnung der Strecke nach Wien herangezogen. Die zusätzlichen Transportkilometer die bei einer Zwischenlagerung in Barcelona zurückgelegt werden, bleiben in der Berechnung unberücksichtigt.

Weiters ist aus Tabelle 5 ersichtlich, dass die italienischen Tomaten aus Apulien von der Sammelstelle in der Provinzhauptstadt Foggia (Annahme der Autorin) noch 250 km zur Verarbeitungsfabrik nach Kampanien gefahren werden (AMITOM 2006a). In Kampanien dient die Stadt Salerno als Bezugsort, von wo aus die eingedosten Tomaten ihren Weg ins Großhandelslager nach Wien finden (Annahme der Autorin).

Der Transport von Niederösterreich nach Wien wird von Giljum et al. (2007) mit einer Länge von 70 km angegeben. Eine Schätzung der Autorin ergibt, dass 70 km Transportweg auch für eine Produktionsstätte im Burgenland gelten kann. Es wird darauf hingewiesen, dass es für diese Arbeit zweckmäßiger ist, in Tabelle 5 als Überschrift Burgenland anzugeben, da auch der Modellbetrieb des biologischen Systems im Burgenland lokalisiert ist. Der Transport vom Großhandelslager in die Supermarktfiliale wird in allen Produktionssystemen vernachlässigt.

Tabelle 5: Berechnung der Transportstrecken für Spanien, Italien und Österreich. Q: diverse, eigene Berechnungen

<i>Quelle</i>	<i>El Ejido – Wien [km]</i>	<i>Foggia – Salerno – Wien [km]</i>	<i>aus Wien [km]</i>	<i>aus dem Burgenland [km]</i>
Via Michelin	2.663	1.360	-	-
Google Maps Deutschland	2.698	1.362	-	-
Routenplaner ÖAMTC	2.643	1.353	-	-
Mittelwert Langstrecke	2.668	1.358	-	-
Strecke zur Verarbeitungsfabrik ^a	-	250	-	-
Lokaltransport	15 ^c	15 ^c	6	70
Gesamte Strecke	2.683	1.623	6^b	70^b

^a AMITOM, 2006a

^b Giljum et al., 2007

^c eigene Schätzung

3.4 Österreich

Dieser Abschnitt beschreibt die Annahmen und Beschränkungen der untersuchten österreichischen Produktionssysteme. Die Beschreibung der Inputparameter der 5 Produktionssysteme erfolgt nach folgenden Kategorien (siehe auch Punkt 3.2.1 p. 25): Anbauflächen, Ertragslage, Gewächshausstruktur, Gewächshausmanagement, Agrochemie und Kulturarbeiten sowie Biologische Langzeitkultur.

3.4.1 Anbauflächen

Da die ermittelten Daten von STATISTIK AUSTRIA, EUROSTAT und FAO keine Trennung der Anbauflächen von Tomaten in Glashäuser bzw. Folientunnel erfassen, basieren die in dieser Arbeit gebrauchten Flächen auf landesweiten Schätzungen der Landwirtschaftskammern NÖ, OÖ, Burgenland, Steiermark und Wien (Keferböck 2008; Hamedinger 2008; Kovats H. 2008; Achleitner 2008, pers. Mitteilungen).

Die Aufgliederung der Produktionsflächen ist in Tabelle 6 dargestellt und zeigt, dass die Bundesländer Kärnten, Tirol, Salzburg und Vorarlberg auf durchschnittlich jeweils 1 ha Tomaten produzieren (Dreijahresmittel 2005-07). Erkennbar ist weiter, dass die gesamte österreichische Produktionsfläche für Tomatenkulturen nur rund 200 ha beträgt.

Tabelle 6: Kalkulation der gemittelten Produktionsflächen für Tomatenkulturen in Österreich für die Jahre 2005–07. Q: Statistik Austria, eigene Berechnungen, persönliche Mitteilungen

Land	<i>Geschützter Anbau unter Glas und Folie</i>					<i>Freiland</i>	<i>Tomaten Gesamt</i>
	Folie ^{*)} [%]	Glas- haus ^{*)} [%]	Folie [ha]	Glas- haus [ha]	Rispen- tomaten ^{a)} [ha]	Summe 2005-07 [ha]	Summe 2005-07 [ha]
Wien	5	95	2	47	34	49	51
NÖ	10	90	1	12	10	13	16
Burgenland	79	21	46	12	10	58	71
Steiermark	90	10	34	4	4	37	38
Oberösterreich	93	7	6	0	0	6	9
Kärnten	-	-	1	0		1	1
Tirol	-	-	1	0	0	1	1
Salzburg	-	-	0	1	1	1	1
Vorarlberg	-	-	0	1	0	1	1
Österreich gesamt	-	-	91	77	60	169	190

^{*)} Schätzungen lt. LK Bundesländer

^{a)} hier extra ausgewiesen, da hohe wirtschaftliche Bedeutung

Es wird der Dreijahresdurchschnitt von 2005-07 kalkuliert, um zufällige Schwankungen zurück liegender Jahre auszugleichen. Aufgrund ihrer hohen wirtschaftlichen Bedeutung sind Rispaparadeiser in österreichischen Statistiken separat ausgewiesen und werden auf 60 ha, vorwiegend auf Steinwolle, produziert (Jochum 2007, pers. Mitteilung). Die Angaben der STATISTIK AUSTRIA inkludieren bereits die Flächen für die biologische Produktion (Bader 2008, pers. Mitteilung), aber es ist nicht möglich sie präzise herauszulesen. Die Anbauflächen für biologische Tomaten wurden deswegen über BIO AUSTRIA ermittelt: die Mitglieder von BIO AUSTRIA kultivieren auf ca. 25 ha Bio-Tomaten. Der Anbau erfolgt auf 20 ha Folientunnel und max. 5 ha Glashaus (Stopper 2007, pers. Mitteilung). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus Tabelle 6 ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Übersicht der berechneten Produktionsflächen für unterschiedliche Tomatenproduktionssysteme in Österreich 2005 – 07

<i>Produktionssystem</i>	<i>Anbaufläche [ha]</i>
Folientunnel	71
davon biologisch	20
Glashäuser	72
davon biologisch	5
Freiland	21
Summe	190 25

Flächenmäßig hat der biologische Anbau einen Anteil von rund 13 % an der gesamten österreichischen Tomatenproduktion. Die Tabellen 6 und 7 lassen erkennen, dass die österreichische Tomatenproduktion unter Glas (inklusive Venloer Gewächshäuser) flächenmäßig etwa gleichbedeutend ist wie unter Platten (Folientunnel). Die Freilandflächen sind deutlich niedriger, auf denen lediglich 1-2 % aller österreichischen Tomaten erzeugt werden, die fast ausschließlich verarbeitet werden (Jochum 2007; Zambra 2008b, pers. Mitteilungen).

3.4.2 Ertragslage

Die schlecht zu differenzierenden Datenquellen (Statistik Austria 2006; Statistik Austria 2005) für die Produktion von Tomaten in Österreich führen zu absurden Hektarerträgen, weshalb für den biologischen sowie für den konventionellen Anbau obligate Tomatenerträge aus der Literatur herangezogen werden.

Allgemein konnte von der Autorin im Zuge der Recherche festgestellt werden: je höher die Ebene der Betrachtung, desto unpräziser die Hektarerträge und desto größer die Diskrepanz zu den Erträgen in diversen Fachbüchern (Vogel 1996; Storck 1994; Krug 1991, Göhler and Molitor 2002;). Es muss an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass der Ertrag sehr stark von der Kulturdauer und –form bzw. der Bestandsdichte abhängt. Einen wesentlichen Einfluss auf den Ertrag hat auch das Einzelfruchtgewicht der angebauten Sorte.

Eine Übersicht der gesammelten Ertragsdaten und diesbezügliche Referenzen sowie die Auswahl der Berechnungsgrundlage des jeweiligen Produktionssystems für die weitere Methodik ist in Tabelle 8 dargestellt. Auffällig ist die große Heterogenität des Zahlenmaterials.

Tomaten aus hoch technisierten Venloer Gewächshäusern bringen laut Literatur Werte zwischen 50 und 55 kg pro m² und Jahr (Storck 1994) oder 45 bis 60 kg und Jahr (Wonneberger et al. 2004; Heuvelink 2005). Gemäß einer telefonischen Mitteilung der LK Wien liegt der durchschnittliche Ertrag in einem 8 Jahre alten Glashaus um die 49-50 kg Tomaten/m²/a und die durchschnittlichen Erträge von Rispentomaten bei 50-55 kg/m² und Jahr (Referenzen siehe Tabelle 8). Der tatsächliche Ertragswert für Wien im Jahr 2007 lag bei 42 kg Rispentomaten pro m² und Jahr. Die Autorin entschloss sich dennoch, für die hier skizzierten Systeme „Venloer Gewächshaus“ und „Glashaus“ jeweils einen Ertrag von 50 kg pro m² und Jahr zu verwenden (siehe Tabelle 8)

Im Grazer Raum wird im kalten Folientunnel von Ende April bis Ende Oktober produziert. Ein Mindestertrag von 18 kg/m²/ha muss produziert werden, ein Maximalertrag von 30 kg/m²/a ist möglich und der Durchschnitt liegt zwischen 18 und 25 kg/m²/a. Das gilt für runde Paradeiser, bei Cherrytomaten und auch Rispentomaten kommt man gewichtsmäßig keinesfalls auf den Maximalertrag. In der vorliegenden Arbeit wird im unbeheizten konventionellen Folientunnel ein Durchschnittsertrag von 22 kg pro m² und Jahr verwendet.

Laut telefonischer Auskunft von BIO AUSTRIA sind die Erträge in Österreich im Durchschnitt mindestens 10-12 kg/m²/a, sie können jedoch ein jährliches Maximum von 20 kg/m²/a erreichen, das aber nur selten und in optimalen Jahren vorkommt. Ein repräsentativer österreichischer Bio-Betrieb liegt im Burgenland (Jezik 2008; Stopper 2008, pers. Mitteilungen), der einen durchschnittlichen Ertrag von 15-17 kg Rispentomaten pro m² und Jahr erzielt (Binder 2008; pers. Mitteilung). Die Sachbilanz erfasst demgemäß einen Wert von 16 kg pro m² und Jahr für den biologischen unbeheizten Folientunnel.

Tabelle 8: Ertragslage der unterschiedlichen Tomatenproduktionssysteme in Österreich. Q: diverse

<i>Produktionssystem</i>	<i>möglicher Ertrag</i> <i>[kg/m²/a]</i>	<i>Werte in Sachbilanz</i> <i>[kg/m²/a]</i>
Venloer Gewächshaus (Substratkultur)	45 – 60**	
	50 - 55 ^{a,b}	
	42 ^c	50
Glashaus (Substratkultur)	49-50 ^{a*}	50
Folientunnel kalt (konventionell)	18-25 ^d	
	Min 18 ^d	
	Max 30 ^d	22
Folientunnel kalt (biologisch)	7 - 10 ^e	
	10 - 12 ^f	
	15 - 17 ^g	16
Folientunnel beheizt (biologisch)	12-18 ^a	
	Max. 25 ^a	20
Freilandanbau	15 ^c	
	3 ^h	-

^a Zambra 2008b; LK Wien, pers. Mitteilung^b Rockwool Niederlande 2007^c Szigeti 2008; LK Wien, Rispen Tomaten lt Statistik, pers. Mitteilung^d Weber 2008; LK Steiermark, pers. Mitteilung^e Hornischer et al. 2005^f Stopper 2008, BIO Austria^g Binder 2008, pers. Mitteilung^h Stekovics 2008, pers. Mitteilung

*Glashaus, 8 Jahre

**Wonneberger et al. 2004; Heuvelink 2005

Die Ertragslage des österreichischen Freilandanbaus wurde in Tabelle 8 der Vollständigkeit halber angeführt und zeigt mit einem durchschnittlichen Ertrag von 15 kg Tomaten pro m² und Jahr den signifikanten Unterschied zur intensiven Produktion in erdelosen Systemen. Den Minimalertrag von 3 kg pro m² und Jahr erreicht im Mittel der österreichische „Kaiser der Paradeiser“, dessen Betriebsphilosophie der intensiven Tomatenerzeugung grundsätzlich entgegengesetzt ist und auf äußerst extensiver, umweltschonender Kulturführung beruht (Stekovics 2008, pers. Mitteilung).

3.4.3 Gewächshausstruktur

Venloer-Gewächshaus

Die Struktur des Venloer-Gewächshauses wird ausschließlich in der Kalkulation des österreichischen Produktionssystem Venlo-Haus berücksichtigt. Die Art der Konstruktion basiert auf einem Angebot der Fa. Siedenburger (Joch 2007) und wurde nach telefonischer Rücksprache mit einem Mitarbeiter der Fa. Siedenburger (Cattau 2008, pers. Mitteilung) gewichtsmäßig abgeglichen. Die allgemeine Lebensdauer von Stahl- und Alukonstruktion wird mit 20 Jahren und die Glasbedachung mit 15 Jahren angenommen (Annahme der Autorin). Die Plexiglasummantelung wird mit einer Nutzungsdauer von 12 Jahren berechnet (vgl. Antón 2004). Die gewichtsmäßige Erfassung der Konstruktionselemente eines Venloer Gewächshauses sowie der anteilmäßige Aufwand pro Jahr, als Inputparameter des Produktionssystems, kann Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 9: Struktur eines Venloer Gewächshauses für das österreichische Venlo-Haus-System. .Q: Fa. Siedenburger 2007, eigene Berechnungen

Komponente	Gewicht [kg/ha]	hypothetischer jährlicher Materialfluss [kg/ha/a]	Nutzungsdauer [a]
Stahl	110.000	5.500	20
Aluminium	25.000	1.250	20
Glas	100.500	6.700	15
Plexiglas	7.000	583	12
Beton	504.064	25.203	20

Die hypothetischen jährlichen Materialflüsse in kg/ha bilden die Berechnungsgrundlage für die weitere Analyse und sind in der Sachbilanz erfasst.

Glashaus

Die Inputparameter der Glashauskonstruktionen werden ausschließlich im österreichischen erdelosen Glashaus-System bei der Produktion von 1 kg Tomaten berücksichtigt. Die Auflistung der Konstruktionselemente des Glashauses ist in Tabelle 10 dargestellt. Aufgrund mangelnder Datenquellen wurden die Bestandteile des Glashauses Stahl, Aluminium und Beton vom Venlo-Haus der Fa. Siedenburger übernommen (Fa.Siedenburger 2008). Zur Kalkulation der Glasummantelung des Gewächshauses wurde die Fläche aus dem Angebot der Fa. Siedenburger herangezogen und mit dem

kalkulatorischen Wert für das Gewicht von Gartenblankglas - 10 kg/m² - hochgerechnet (Cattau 2008, pers. Mitteilung).

Tabelle 10: Struktur eines Glashauses für das österreichische Produktionssystem Glashaus. Q: Fa. Siedenburger 2007, eigene Berechnungen

<i>Komponente</i>	<i>Gewicht [kg/ha]</i>	<i>hypothetischer jährlicher Materialfluss [kg/ha/a]</i>	<i>Nutzungsdauer [a]</i>
Stahl	110.000	5.500	20
Aluminium	25.000	1.250	20
Glas	130.000	8.667	15
Beton	504.064	25.203	20

Die Sachbilanz erfasst die, unter hypothetischer jährlichen Materialfluss stehenden Werte für Stahl, Aluminium, Glas und Beton in kg/ha und Jahr.

Folientunnel

Der Konstruktionsaufwand des Folientunnels in Tabelle 11 wird in den konventionellen und biologischen Tomatenkulturen aus dem Folientunnel und im hypothetischen beheizten Folientunnel berücksichtigt.

Eine sechsmonatige Recherche bei diversen Produktionsfirmen (Fa. Fiala, Rudolf Schlatter) scheiterte letztendlich aufgrund problematischer Kommunikation. Daher beruhen die verwendeten Zahlen auf Schätzungen (Binder 2008, pers. Mitteilung) und eigenen Berechnungen anhand des Foliengewächshaustyps GS der Fa. Fiala. (Fa.Fiala 2008 laut Homepage). Die berechneten Werte der unterschiedlichen Gewächshauskomponenten sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Struktur eines Folientunnels für das konventionelle und das biologische System in Österreich Q: eigene Berechnungen, Binder (2008)

<i>Komponente</i>	<i>Gewicht [kg/ha]</i>	<i>Nutzungs- dauer [a]</i>	<i>hypothetischer jährlicher Materialfluss [kg/ha/a]</i>	<i>hypothetischer jährlicher Materialfluss [kg/ha/a]</i>
Folie (einfach)	3.386	5	677	406
Folie (doppelt)	6.771	5	1.354	813
Stahl (Einfachfolie)	26.042	20	1.302	781
Stahl (Doppelfolie)	39.063	20	1.953	1.172

Die Berechnung der Hüllfläche zur Heizenergiebedarfsrechnung, mit 36.722 m² doppelter Folie, wurde vom GS Typ gerechnet, während das Gewicht der Folie eine Schätzung von Binder (2008, pers. Mitteilung) darstellt. Bezüglich des Stahlbedarfs, schätzt die Autorin, dass ungefähr 1,5-mal soviel Stahl aufgewendet werden muss als die Schätzung für Einfachfolie von Binder (2008, pers. Mitteilung) betrug. Die fett gedruckten Beträge aus Tabelle 11 sind als hypothetischer jährlicher Materialfluss in der Sachbilanz aufgelistet.

3.4.4 Gewächshausmanagement

Steinwollbedarf der erdelosen Produktionssysteme

Der Abstand zwischen den Reihen soll 1,6 m betragen soll (Lattauschke 2004) und standardisierte Matten sind 120 cm lang, 20 cm breit und 7,5 cm hoch (Grodan[®]). Für 10.000 m² Gewächshausfläche werden rund 4.650 Steinwollmatten benötigt. Hinzu kommen pro Matte drei Steinwollewürfel mit den Maßen 7,5 cm x 7,5 cm x 6,5 cm; Grodan[®]; siehe Abbildung 3):

$$4.650 \text{ Matten} \times (0,018 \text{ m}^3 \times 48 \text{ kg/m}^{3*}) + 0,00109 \text{ m}^3 \times 73 \text{ kg/m}^{3*}) = \underline{4.390 \text{ kg}}$$

^{*)} Rockwool Niederlande 2007

Heizenergiebedarf der österreichischen Produktionssysteme

Das ursprüngliche Ziel bestand darin, den tatsächlichen Heizenergiebedarf österreichischer Gewächshäuser zu ermitteln. Folgende Institutionen wurden im Zuge der Recherche kontaktiert: Landwirtschaftskammer Wien, Fachabteilung Gartenbau, Bundesverband der Österreichischen Gärtner, „Wiener Gärtner – Landesgartenbauvereinigung Wien“, Bundesverband der Österreichischen Gärtner, Universität für Bodenkultur, Institut für Garten-, Obst- und Weinbau, Wien Energie, Energieagentur Österreich, Energieagentur Weststeiermark, Ökologische Betriebsberatung der Wirtschaftskammer Österreich, O.Ö. Energiesparverband, EnergieAgentur NRW. Da sich die monatelangen Recherchen aufgrund der Datenlage aber als nicht zielführend erwiesen, wurde eigenhändig eine Energiebedarfsrechnung durchgeführt.

Da der tatsächliche Heizbedarf sehr vom örtlichen Klima, den Sonnenstunden und von der Beschaffenheit der Gewächshausstruktur (k-Wert, Verglasung) abhängt wurden zum Vergleich zwei verschiedene Kalkulationsmethoden durchgeführt:

In der ersten Methode wird die Faustformel aus Sachweh (2001) anhand der Maße aus dem Angebot für ein Venloer Gewächshaus der Fa. Siedenburger (in Joch 2007) gebraucht. Die zweite Methode basiert auf den Ergebnissen einer 1996/97 durchgeführten Erhebung/Studie des O.Ö. Energiesparverbandes, der Ökologischen Betriebsberatung und der Wirtschaftskammer OÖ (Hg) und wurde für diese Arbeit etwas verändert (Burgholzer 1997).

1. Die erste Methode berechnet nach der Wärmebedarfsformel:

$$Q = k' \times A_G \times \Delta T \times 0,024 \times \text{Anzahl der Tage in [kWh]}$$

(Sachweh 2001 p. 578)

Q = Heizenergiebedarf [kWh]

k' = Wärmeverbrauchskoeffizient (inkl. Wärmedurchgangskoeffizient für Luftwechsel k_L)

[W/m²], $k' = 3,65 \text{ W/m}^2$ (Sachweh 2001, p. 577).

A_G = Summe Fläche Dach, Stehwände, Giebelflächen [m²]

ΔT = Differenz von Innen- und Außentemperatur [C°], $t_i = 18^\circ\text{C}$

0,024 = Faktor zur Umrechnung in kWh

Da die Höhe des Heizenergiebedarfes wesentlich vom Wärmeverbrauchskoeffizienten (k -Wert) abhängig ist, wurde der Wärmeverbrauchskoeffizient gemittelt (Sachweh 2001). Folglich wird in dieser Arbeit ein durchschnittliches Heizungssystem dargestellt. Der k -Wert für Einfachglas (Blankglas) beträgt $k' = 7,3 \text{ W/m}^2$. Das Venlo-Haus ist am neuesten Stand der Technik, mit Plexiglasummantelung und Energieschirm und der Möglichkeit zur optimalen Gewächshaussteuerung. Deswegen wird angenommen, dass dadurch ein Einsparungspotenzial von 50 % erreicht wird. Die Energiebedarfsrechnung für das Venlo-Haus berücksichtigt nach obigen Annahmen einen k -Wert von $3,65 \text{ W/m}^2$.

Die Hüllfläche des Glashauses besteht zur Gänze aus Glas und es wird angenommen, dass auch hier ein Energieschirm angebracht ist. Der realistische Einsparwert des angebrachten Energieschirms maximal 35 - 40 % (Indega 2005), mindestens aber 20 % beträgt (ÖKOBERATUNG 2008). Daher wird für die Wärmebedarfsrechnung des Glashauses ein Sparpotenzial von 30 % angenommen und mit einem k' -Wert von $5,1 \text{ W/m}^2$ kalkuliert. Der Folientunnel hat einen gemittelten Wärmeverbrauchskoeffizienten für Doppelfolie von $k' = 4,6 \text{ W/m}^2$ (Stahnhill 1999). In den Monaten Juni bis August wird nicht geheizt, da die durchschnittliche monatliche Außentemperatur über der angenommenen Innentemperatur von 18°C liegt (Warmhaus). In den restlichen Monaten wird mit der durchschnittlichen monatlichen Außentemperatur gerechnet.

Es gilt zu erwähnen, dass die Heizenergieberechnung für die Systeme Venloer Gewächshaus und Glashaus den gesamten Dezember unberücksichtigt lässt, da die Gewächshäuser leer stehen (siehe Punkt Kulturdaten p. 33). Für die –hypothetisch-beheizten biologischen Kulturen wird das auch angenommen. Die verwendeten Klimadaten stammen von der Station Raasdorf für das Jahr 2005 (IPP Boku 2008) und für einen Vergleich auch von der Hohen Warte Wien (Jahresdurchschnittswerte ohne Angabe von Jahren auf der Homepage www.klimadiagramme.de).

2. Die zweite Methode kalkuliert den Wärmebedarf in [kWh] aus:

$$\text{Heizgradtage [Kd]} \times \text{Wärmekennzahl [W/m}^2\text{K]} \times \text{Gewächshausgrundfläche [m}^2\text{]} \times 0,024$$

(Burgholzer 1997)

Burgholzer (1997) spricht von Gradtagsumme, einer anderen Bezeichnung für Heizgradtage. Heizgradtage (HGT) bilden sich aus der Summe der täglich ermittelten Differenz zwischen der Raumlufthtemperatur und der Tagesmitteltemperatur der Außenluft aller Heiztage einer spezifischen Periode. Die Heizgradtage für Simmering wurden aufgrund fehlender Daten mit Hilfe des Ortes Kollerschlag ($\text{HGT}_{12/20}$) berechnet (OIB 1999a,b) und berichtet. Die berechneten Heizgradtage für die Kalkulation sind in Tabelle 12 dargestellt. Die detaillierten Monatsdaten für diesen Ort stellte Bogner zur Verfügung und dienten zur Abgleichung für den Standort Simmering (Bogner 2008, pers. Mitteilung).

Tabelle 12: Heizgradtage in Simmering zur zweiten Energiebedarfsrechnung für die Produktionssysteme in Österreich. Q: eigene Berechnung

<i>Heizperiode</i>	<i>HGT_{12/18} [Kd]</i>
Simmering Jänner – November	2507
Simmering Mitte März bis Mitte November	1146

Die Kalkulation des Wärmebedarfes wird für das ganze Jahr, d.h. für die Heizperiode ohne Dezember und für das Produktionssystem Folientunnel Bio zusätzlich für den Zeitraum Mitte März bis Mitte November durchgeführt. Als Wärmekennzahlen werden aus der 1. Methode herangezogen. Die Wärmekennzahl nennt sich auch U-Wert (früherer k-Wert) und gilt als Maß für die Güte der Gewächshäuser, d.h. je effizienter das Glashaus (z.B. durch geringere Wärmeverluste), desto kleiner die Wärmekennzahl. In vorliegender Arbeit wird eine mittlere Wärmekennzahl für das Glashaussystem gewählt (schlechtere Isolierung als das Plexiglas des Venlos-Hauses). Der Folientunnel ist üblicherweise mit Doppelfolie eingedeckt und hat einen Koeffizienten von 4,4 - 5,2 [W/m² K] (Stahnhill 1999, p. 51), der in vorliegender Kalkulation mit $k = 4,6$ [W/m² K] belegt wird.

Die Ergebnisse der 1. und 2. Methode der Heizenergiebedarfsrechnungen sind in Tabelle 13 dargestellt. Ein Vergleich der Methoden 1 und 2 zeigt, dass die auf Simmering korrigierten Werte der 2. Methode generell einen niedrigeren Wärmebedarf ergeben als die 1. Methode. Beim Folientunnel ist die Differenz besonders hoch, da in der 1. Methode

mit der Hüllfläche des Gewächshauses multipliziert wird, welche beim Folientunnel um rund 5.000 m² höher war als die Hüllfläche des Venloer Gewächshauses.

Tabelle 13: Heizenergiebedarf der Gewächshäuser in Österreich, Ergebnisse zweier unterschiedlicher Energiebedarfsrechnungen. Q: eigene Berechnungen.

<i>Methode</i>	<i>Standort</i>	<i>Venlo- Bauweise [GJ/ha/a]</i>	<i>Glas- haus [GJ/ha/a]</i>	<i>Folien- tunnel [GJ/ha/a]</i>	<i>Heizzeitraum</i>
1.	Station Raasdorf 2005	10.407	14.542	15.290	Jän. – Nov.
	Hohe Warte k.A.	10.278	14.923	15.386	Jän. – Nov.
	Mittelwert	10.342	14.733	15.338	Jän. – Nov.
2.	Simmering	9.376	13.100	11.842	Jän. – Dez.
	Simmering	7.906	11.047	9.985	Jän. – Nov.
	Simmering			4.565	Mitte März – Mitte Nov.

Bruttoquadratmeter: 10.000 m²

Mantelfläche_{Gh} = 12.985 m²

Mantelfläche_{Fo} = 18.360 m²

k' Venloer Gewächshaus = 3,65 W/m² K

k' Glashaus = 5,1 W/m² K

k' Folientunnel = 4,6 W/m² K

Als Anhaltswert aus der Praxis dient ein Gewächshaus mit Einfachverglasung und Energieschirm (einlagig, stark aluminisiert), das einen Wärmebedarf von 13.543 GJ pro Jahr aufweist. Der Wert ergibt sich aus 2.280 kW pro ha (Buderus 2003) x geschätzte Volllaststunden für den oberösterreichischen Zentralraum 1.650 (Krenmair 2008, pers. Mitteilung). Bezögen sich die Volllaststunden auf den Wiener Raum und bestünden die Stehwände aus Acrylglas (wie bei der Produktionssystem Venlo der Fall), verringerte sich der Wärmebedarf noch einmal. Im Branchenenergiekonzept für den Gartenbau aus Nordrhein-Westfalen (<http://www.branchenenergiekonzepte.de/>) werden 18.826 GJ pro ha und Jahr Heizenergie benötigt (zuzüglich 198 GJ Strom).

Diese Referenzwerte zeigen, dass die hier durchgeführten Kalkulationen unter den üblichen praxisnahen Werten liegen. In Methode 1 beeinflussen mehrere Faktoren das Ergebnis maßgeblich (Hüllfläche, Klimaparameter) und kleinere Ungenauigkeiten können eine große Wirkung (höherer Energiebedarf) erreichen. Daher entschließt sich die Autorin, vorsichtshalber die Ergebnisse aus der 2. Methode als Grundlage für die weitere Analyse zu verwenden. Es ist anzunehmen, dass diese Entscheidung den tatsächlichen Wärmebedarf unterschätzt und die vorliegende Arbeit die Emissionen durch Beheizung unterschätzen.

Wasserbedarf der Tomatenkulturen

Zur Berechnung des Wasserbedarfs wird auf die Meisterarbeit von Joch (2007) zurückgegriffen und mit Standardwassergaben im Substratanbau von Göhler und Drews (in Göhler and Molitor 2002) und Lattauschke (2004) verglichen. Einen Überblick des Wasserbedarfs in Substratkulturen gibt Tabelle 14. Die Daten in Joch (2007) entsprechen 9,9 Mio. l für die gesamte Kulturdauer und basieren auf Erfahrungswerten im Raum Wien. Da die Autorin vorliegender Arbeit der Ansicht ist, dass dieser Wert im Vergleich zu den Literaturwerten zu hoch angenommen wurde, wurde ein Durchschnitt anhand der Werte in Lattauschke (2004) gebildet. Nach persönlicher Rücksprache (Lattauschke 2008, pers. Mitteilung) wird in dieser Arbeit ein Wert von rund 9,5 Mio. l/ha verwendet.

Tabelle 14: Wasserbedarf in m³ pro ha und Jahr der erdelosen Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus

<i>Quelle</i>	<i>Wasserbedarf</i> <i>[m³/ha/a]</i>
Göhler und Drews 1989, Mittel	6.402
Erfahrungswerte in Joch 2007	9.900
Erfahrungswerte in Lattauschke, 2004	9.048
Mittelwert	9.474

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Höhe des Wasserbedarfs in dieser Arbeit eine bedeutende Rolle einnimmt, da die Nährstoffkonzentrationen (in mmol/l) auf die gesamte Menge an verbrauchtem Wasser angeglichen wird. Je nachdem wie hoch der Wasserverbrauch angenommen wird, kommt es folglich zu erheblichen Differenzen in der aufgewendeten Stoffmenge von Stickstoff, Phosphor und Kalium.

Der Wasserbedarf für den konventionellen Folientunnel beträgt 7,5 Mio. l/ha und Jahr verwendet (Geissler, 1985 in KTBL 2003).

Der Wasserbedarf für die biologische Tomatenkultur wird mit 3,5 l pro m² und Jahr berücksichtigt (Hornischer et al. 2005). Zu Spitzenzeiten, bei hoher Einstrahlung und fortgeschrittener Kultur, können Wasserbedarfsmaxima von 7 l pro m² und Jahr auftreten (Fischerauer 2008, pers. Mitteilung). Diese Extremwerte bilden jedoch die Ausnahme, und eine Annahme von 3,5 l pro Pflanze und Tag wirkt aussagekräftiger. Bei der Verwendung von veredelten Jungpflanzen gibt es pro Pflanze 2 Triebe und im Durchschnitt stehen 2,6 Triebe auf einem m² (Jezik 2008, pers. Mitteilung). Es wird die Annahme getroffen, dass sich 1,5 Pflanzen pro m² befinden und somit ein gesamter Wasserbedarf von 10,3 Mio. l/ha für die Anbauzeit (28 Wochen) auftreten kann.

3.4.5 Agrochemie

Düngung in erdelosen Tomatenkulturen

Die Ergebnisse der Recherche der notwendigen Düngemengen für den Anbau von Tomaten auf Substrat sind in Tabelle 15 abgebildet. Die Quellen beziehen sich einerseits auf Gewichtsangaben (Demerci 2001) und andererseits auf Nährstoffkonzentrationen (Göhler und Drews 1989 in Göhler and Molitor 2002; Lattauschke 2004; Joch 2007). Letztere werden mit dem ermittelten Wasserbedarf aus Tabelle 14 multipliziert, um in der Folge aus den drei Werten einen Durchschnitt zu bilden.

Die Arbeit von Demerci bezieht sich zwar auf Nährlösungskonzentrationen, die tatsächlich in einigen österreichischen Betrieben Anwendung finden, jedoch scheinen sie der Autorin im Vergleich zu anderen Publikationen (Göhler and Molitor 2002, Scharpf & Weier 2004 bzw. Feller 2004 in Sächsische Landesanstalt 2004) etwas zu niedrig. Die in Joch (2007) angeführte Nährlösung bezieht sich auf Bedingungen im Wiener Raum und ist auch höher, ebenso die sehr praxisbezogenen Werte der Sächsischen Landesanstalt (Lattauschke 2008, pers. Mitteilung).

Tabelle 15: Düngemengen in kg pro ha und Jahr in Substratkulturen für die Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus

<i>Quelle</i>	<i>N</i> [kg/ha/a]	<i>P</i> [kg/ha/a]	<i>K</i> [kg/ha/a]
Göhler und Drews 1989, Mittel	1.895	379	3.000
Lattauschke 2006, Standardnährlösung	1.432	352	2.223
Demerci 2001, Erhebung	752	188	1.081
in Joch 2007, Standardnährlösung	1.989	367	3.233
Mittelwert ohne Göhler & Drews 1989	1.391	302	2.179
Mittelwert mit Göhler & Drews 1989	1.517	322	2.384

Diese Methodik ist mit einigen Unsicherheiten verbunden, weshalb als Vergleichswert die Angabe der Standardnährlösung von Göhler und Drews (1989 in Göhler and Molitor 2002) herangezogen wird. Es zeigt sich, dass die hier kalkulierte Düngemenge durchaus im Bereich des üblichen Verbrauches liegt. In der Sachbilanz werden die fettgedruckten, niedrigeren Werte der Tabelle 15 als Berechnungsgrundlage angeführt. Pro ha sind das 1.391 kg Reinstickstoff, 302 kg reiner Phosphor und 2.179 kg reines Kalium.

In Hinblick auf den Düngeaufwand in der konventionellen Bodenkultur im Folientunnel wurde auf österreichische Daten einer Dissertation (Demerci 2001) zurückgegriffen, in der

die Menge für Bewässerungsdüngung in $[g/m^2 \cdot \text{Woche}]$ in gewachsenem Boden angegeben waren. In der vorliegenden Arbeit werden 28 Wochen angenommen und mit der angegebenen Menge multipliziert. Die unterschiedlichen Düngemengen für das konventionelle System im Folientunnel sind in Tabelle 16 dargestellt.

Die Nährstoffe, die zusätzlich mit organischen Düngern wie Mist oder Kompost aufgebracht werden, sind in diesen Angaben nicht enthalten. Die Angaben von Lattauschke (in Sächsische Landesanstalt 2004) in Tabelle 16 berücksichtigten die mittlere Nährstoffaufnahme bei Tomaten für einen Marktertrag von 22 kg/m^2 . Diese Werte wurden anhand der Publikation Sächsischer Landesanstalt (2004) basierend auf 23 kg und 25 kg Marktertrag gemittelt. Es ist anzunehmen, dass die mittlere Nährstoffaufnahme (Sächsische Landesanstalt 2004) auch andere Düngeformen inkludiert. Die Autorin entschloss sich dennoch die beiden Datenquellen zu mitteln und in die Sachbilanz aufzunehmen (siehe Tabelle 16) und in die Sachbilanz aufzunehmen.

Tabelle 16: Düngemengen für Bodenkulturen in kg pro ha und Jahr im konventionellen Folientunnel in Österreich

<i>Quelle</i>	<i>N</i> <i>[kg/ha/a]</i>	<i>P</i> <i>[kg/ha/a]</i>	<i>K</i> <i>[kg/ha/a]</i>
Demerci 2001	420	112	588
Lattauschke 2004	730	106	1.188
Mittel	575	109	888

Im biologischen Folientunnel erfolgt die Grunddüngung über Mist und Kompost bzw. mit Gründüngung (Winterroggen, Leguminosenarten). Zusätzlicher Stickstoff während der Kultur berechnet sich aus der Differenz zum Gesamtbedarf minus der Zufuhren durch Mist und Kompost, minus der $N_{\min}$ -Gehalte im Boden bei Kulturbeginn und der Nachlieferung von ca. 20 kg N pro Kulturmonat (George and Eghbal 2003). In der Sachbilanz werden 30 t/ha Mist angegeben (George and Eghbal 2003). Bei langer Kulturzeit und hohen Erträgen muss nachgedüngt werden (Hornischer et al. 2005). Im organischen Landbau stehen ergänzende Handelsdünger zur Verfügung (Hornischer et al. 2005; Laber 2001). Laut telefonischer Auskunft bei BIO AUSTRIA liegen die Gaben von Flüssigdünger Vinasse je nach Bodenwerten zwischen 1.000 und 2.000 l/ha. Bei einem N-Gehalt von 2 % (Ambrosch 2008, pers. Mitteilung), wären das 20 kg N/ha. Aufgetragen wird der biologische Dünger über die Tropfbewässerung oder mittels einer Gießkanne, bei Bedarf wöchentlich. In der Sachbilanz ist ein Wert von 2.000 l/ha aufgelistet.

CO₂-Begasung

Für die Begasung der Tomatenkulturen werden pro Quadratmeter und Jahr etwa 15 kg CO₂ benötigt (Joch 2007). Bei einem Ertrag von 50 kg Tomaten pro m² sind das 0,3 kg CO₂ je kg Tomaten. Die CO₂-Begasung der Tomatenkulturen in Wien erfolgt durch eine gekoppelte Erdgasheizung bzw. durch vom Heizungssystem unabhängigen Kohlendioxidtanks (siehe Abbildung 8). Die angereicherte Menge CO₂ geht direkt in die Analyse ein, da aufgrund von Datenengpass die Prozessenergie und weitere Vorleistungen nicht berücksichtigt werden können. Als Referenzwert dient der Wert einer älteren Publikation mit 5-6 kg CO₂ pro m² und Jahr für ein Standardglashaus (Schwartz 1995; p. 116). Aufgrund der Erfahrungswerte von Joch (2007) für den Wiener Raum wird diese Zahl als Grundlage verwendet. Die Sachbilanzen der Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus berücksichtigen je 150.000 kg CO₂/ha Anbaufläche.

Pflanzenschutzmittel in erdelosen Produktionssystemen

Die österreichischen gartenbaulichen Betriebe führen überwiegend integrierte Produktion (Zambra 2008a, pers. Mitteilung), d.h. chemische Pflanzenschutzmittel werden nur bei Bedarf eingesetzt und die Applikationsmenge wird so gering als möglich gehalten. Zum Produktionsstandard gehört der Einsatz von Nützlingen (siehe Allgemeiner Teil) und die Kontrolle des Gewächshausklimas. Als generelle Grundvorstellung dient ein Wert von 8 kg aktive Substanz pro ha Fläche und bezieht sich auf niederländische Gewächshäuser (Van der Velden et al. 2004). Das Ausgasen bezeichnet den Prozess zur Desinfektion des vollkommen leer stehenden Gewächshauses zwischen zwei aufeinander folgenden Produktionszyklen. Dabei werden für 10.000 m² Fläche 1.935 ml Vapona, mit den Wirkstoff Dichlorvos, kalt vernebelt (vgl. Joch 2007). Um diesen Inputfaktor zu berücksichtigen, wird hier mangels besserer Daten der niederländische Wert angenommen.

3.4.6 Kulturarbeiten

Menschliche Arbeitskraft

Zahlreiche Publikationen brachten eine Vielzahl unterschiedlicher Angaben in Bezug auf die Arbeitskraftstunden. Eine Übersicht des recherchierten Datenmaterials bietet Tabelle 17. In der vorliegenden Arbeit wird der gemittelte Wert aus einer sehr ausführlichen Berechnung (Joch 2007), einer österreichischen Erhebung für Rispen Tomaten (Demerci 2001 in {Handler, 2006 43 /id}) und einem durchschnittlichen Wert aus Erhebung und Versuch (Lattauschke 2004) herangezogen.

Tabelle 17: Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr in der erdelosen Langkultur in Österreich

<i>Quelle</i>	<i>Anzahl [Akh/ha/a]</i>
Joch 2007	10.529
Handler and Blumauer 2006	9.010
Sächsische Landesanstalt 2004	14.500
Mittelwert	11.346

Aufgrund fehlender österreichischer Daten in Bezug auf Erdkulturen, bilden die Publikation der Sächsische Landesanstalt 2004, p. 103) und die Datensammlung des Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL 2002) die Basis. Die recherchierten Arbeitskraftstunden einer Tomatenkultur im konventionellen Folientunnel mit Erdkulturen sind in Tabelle 18 dargestellt. Der Mittelwert wird als Berechnungsgrundlage herangezogen und steht in der Sachbilanz.

Tabelle 18: Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr der konventionellen Kurzkultur im Folientunnel in Österreich

<i>Quelle</i>	<i>Anzahl [Akh/ha/a]</i>
Sächsische Landesanstalt 2004	10.400
KTBL-DS Freilandgemüsebau 2003	9.113
Mittelwert	9.757

Für den Aufwand an menschlicher Arbeit im biologischen Anbausystem pro ha Bruttoanbaufläche wird auf Hornischer et al. (2005) zurückgegriffen, die 6.790 Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr angeben. Der Arbeitsaufwand einer biologischen Kurzkultur ist in Tabelle 19 dargestellt. Dieser Richtwert gilt für eine Langkultur ab 11. KW und einem Ertrag von 15 kg pro m² und Jahr. Mithöfer (2003) ermittelte für den gleichen Zeitraum 7.155 Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr. Aufgrund seiner einsichtigeren Kalkulation scheint letzterer in der Sachbilanz auf. Ein Anhaltswert aus der Praxis liegt bei 6.000 Arbeitskraftstunden für 25 Anbauwochen (Binder 2008, pers. Mitteilung). In der Sachbilanz steht der Durchschnittswert für den Arbeitskraftaufwand mit 6.648 Akh pro ha und Jahr.

Tabelle 19: Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr der biologischen Kurzkultur im Folientunnel in Österreich

<i>Quelle</i>	<i>Anzahl [Akh/ha/a]</i>
Binder, 2008 pers. Mitteilung	6.000
Mithöfer, 2003	7.155
Hornischer et al., 2005	6.790
Mittelwert	6.648

Maschinenstunden

In Bezug auf diesen Inputparameter ist die Datenqualität mäßig. Die Maschinenstunden pro ha für erdelose Tomatenkulturen aus Storck (1994) werden modifiziert, d.h. der Aufwand für die Jungpflanzenanzucht subtrahiert (Storck 1994; p. 180). Wird der Wert der österreichischen Erhebung, ursprünglich 480 Mh/ha/a (Demerci 2001 korrigiert (z.B. abzüglich Wasserpumpe)). Wie aus Tabelle 20 erkennbar, reduzieren sich die so berechneten Maschinenstunden erheblich. Aufgrund dieser Unsicherheiten berücksichtigt die Sachbilanz den Wert von 388 Mh/ha und Jahr.

Tabelle 20: Maschinenstunden pro ha und Jahr in der erdelosen Langkultur in Österreich

<i>Quelle</i>	<i>Anzahl [Mh/ha/a]</i>
Demerci 2001	130
Storck 1994 p. 180	388
Auswahl	388

Für die Anzahl der Maschinenstunden im Folientunnel mit Erdkulturen, wurden diverse Literaturwerte mit einer österreichischen Dissertation (Demerci 2001) verglichen. Die Tabelle 21 zeigt die unterschiedlichen Werte des Maschinenstundenaufwandes einer konventionellen Tomatenkultur im Folientunnel in Österreich. Demerci (2001) ermittelt für Tomaten 530 Maschinenstunden pro Jahr. Dieser Wert inkludiert den Aufwand für Wasserpumpe und Handgabelhubwagen. Die Autorin nimmt an, dass beide Geräte elektrisch betrieben werden und korrigiert die Summe, die im Vergleich zu Werten der anderen Publikationen nunmehr besonders niedrig ist (Tabelle 21). Die mäßige Datenlage veranlasst zur Mittlung aller Werte und wird als Basis verwendet.

Tabelle 21: Maschinenstunden pro ha und Jahr im konventionellen Folientunnel in Österreich

<i>Quelle</i>	<i>Anzahl [Mh/ha/a]</i>
Neustadter Hefte Nr. 75	198
KTBL-DS Freilandgemüsebau 2003	164
Demerci 2001	105
Mittel	156

Im Bezug auf die biologischen Tomatenkulturen im unbeheizten Folientunnel wird eine Angabe von Binder (2008, pers. Mitteilung) von 70 Arbeitskraftstunden pro ha und Jahr (inklusive Markttransport) herangezogen. Abzüglich des Markttransportes (20 %) erscheint in der Sachbilanz ein Wert von 56 Mh/ha und Jahr.

Biologischer Langzeitanbau

Bei einer Verlängerung der biologischen Kultur kommt es erwartungsgemäß zur Erhöhung der Maschinenstunden, des Arbeitseinsatzes und sonstiger Betriebsmittel. Aufgrund der Datenlage behilft sich die Autorin damit, die ermittelten Werte für die Kurzkultur zu modifizieren: die Maschinenstunden werden verdoppelt (von 70 Mh/a für kurze Kulturführung auf 140 Mh pro ha und Jahr im Langzeitanbau, korrigiert sind es 112 Akh/ha/a), ebenso wie die Arbeitskraftstunden (auf 12.000 Akh/ha/a). Da sich die Vegetationsperiode beträchtlich verlängert, wird der Ertrag steigen. Daher erfolgt die Annahme, dass bei intensiver Beheizung ein Ertrag von 20 kg pro m² und Jahr erreicht wird.

3.5 Spanien

3.5.1 Anbauflächen

In vorliegender Arbeit wurde als Ortsbezug die autonome Provinz Almería gewählt. Almería ist das größte und bedeutendste Produktionsgebiet für Gemüse und versorgt mit seinen großflächig den Europäischen Markt.

Die Analyse von Satellitenbildern der Provinz Almería erfasst eine Gesamtfläche von 25.983 ha, die im Zeitraum 2006/07 von Gewächshäusern bedeckt wird (Sanjuán 2007). Zu Beginn dieses Jahrhunderts betrug die Fläche unter Plastik 24.129 ha (Sanjuán in Pérez and López 2001). In manchen Publikationen wird von über 40.000 ha Gewächshausfläche gesprochen, was praktisch falsch ist, wenn mehr als 1 Kultur pro Fläche und Jahr gepflanzt wird, jedoch theoretisch richtig sein kann, wenn die reale

Fläche mit einem so genannten „occupancy factor“ von 1,5 multipliziert wird (pro ha und Jahr steht meist als eine einzige Kultur).

Der „biologische Anbau“ hält auch in Almería Einzug und ist den letzten Jahren deutlich angestiegen. Waren es im Jahr 2000 nach Daten des Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación noch 236,2 ha, sind es 2006 bereits 1.236 ha. Diese Fläche inkludiert alle Gemüsesorten, Kartoffeln und Hackfrüchte (Céspedes 2008, pers. Mitteilung).

In den letzten Jahren gab es auch einen stetigen und anhaltenden Trend zur integrierten Produktion, nicht zuletzt aufgrund übermäßiger Pestizidrückstände in Paprika (www.ages.at 25.8.2008, www.innovations-report.de 25.8.2008). Die strengen Einfuhrbestimmungen und der Exportländer löste eine biologische Revolution aus, den Wandel vom Kampf gegen Schädlinge hin zum Einsatz von Nützlingen (für weitere Informationen siehe Blom 2007). Laut Erntebericht 2006/07 sind rund 1.350 ha als integrierte Produktion zertifiziert: 650 ha Gurken, 500 ha Tomaten und 200 ha andere Kulturen (Cajamar 2008).

3.5.2 Boden- und Substratkulturen

Bei einer gesamten Fläche von 26.000 ha, auf denen in Almería Gemüse produziert werden, gibt es an die 5.000 ha mit erdeloser Produktion, also rund 20 % (Baeza 2008, pers. Mitteilung). Bis zum Jahr 2005 gab es eine steigende Anzahl erdeloser Kulturen, seither ist eine Stagnation zu verzeichnen (Salas 2008, pers. Mitteilung).

Die Größe der Anbauflächen für Tomatenkulturen in der Provinz Almería ist in Tabelle 22 dargestellt. Von 8.955 ha geschütztem Anbau sind es rund 1.048 ha (Céspedes 2008, pers. Mitteilung; Junta de Andalucía, für 2005) auf denen in künstlichen Substraten (Perlite, Steinwolle, Kokosfasern) Tomaten gezogen werden. Wird die Fläche der Freilandproduktion abgezogen, so werden auf den restlichen 7.907 ha in Erde („enarenado“) Tomaten geführt.

Tabelle 22: Anteil erdeloser Tomatenkulturen in Almería im Jahr 2005, Spanien. Q: Junta de Andalucía 2005, „Las Palmerillas“

<i>Tomatenkultur</i>	<i>Fläche [ha]</i>	<i>Anteil [%]</i>
Gewächshaus, Substrat	1.048	12
G Gewächshaus, Enarenado	7.907	88
Freiland	145	
Tomaten total	9.100	

Die Sachbilanz berücksichtigt den Wert von 7.907 ha Anbaufläche, da 88 % der Tomatenkulturen in Almería als Bodenkultur – im „enarenado“ – angebaut werden.

3.5.3 Ertragslage

Eine Zusammenfassung der möglichen Erträge ist in Tabelle 23 dargestellt und zeigt die große Heterogenität des Zahlenmaterials.

Tabelle 23: Produktionsfläche und Ertragslage der Tomatenkulturen in Almería, Spanien.

<i>Zeitraum</i>	<i>Durchschnittliche Anbaufläche [ha]</i>	<i>Mittlerer Ertrag [t]</i>	<i>Mittlerer Ertrag [kg/m²/a]</i>
Jän.-Mai 2003-06 ^g	5.776	511.395	9
Juni-Sept. (inkl. Konserven) 2003-06 ^g	1.175	82.011	7
Okt.-Dez. 2003-06 ^g	2.138	194.494	9
Konserven 2003-06 ^g	50	2.375	5
Gesamt 2003-06 ^g	9.089	787.900	9
Jän.-Dez. (k.A.)	8.500 ^f	850.000 ^f	10 ^f
			13 ^{b,h}
			14 ⁱ
			10-12 ^c
			7-12 ^e
			15-18 ^a
Sept-Mai 2003-06	7.914	352.945	9
Jän.- Dez. 2005 ^g Total	9.100	o.A.	o.A.
Jän.- Dez. 2005 ^g Freiland	145	o.A.	o.A.
Jän.- Dez. 2005 ^g Gewächshaus	8.955	o.A.	o.A.

^a Castilla 1995 p. 220

^b Rodríguez in Heuvelink 2005

^c Costa 2000

^d in dieser Arbeit verwendete Wert

^e Fundación Cajamar 2007

^f Pérez Mesa 2008, pers. Mitteilung

^g Junta de Andalucía

^h Magán 2008, pers. Mitteilung

ⁱ Castilla and Hernandez 2005, long cycle

o.A. ohne Angabe

Die Statistiken der Junta de Andalucía für die Jahre 2003 bis 2006 erfassen für die Region Almería eine durchschnittliche Anbaufläche von 9.089 ha und einen mittleren

Ertrag von 9 kg/m² und Jahr. Eine Ertragssteigerung bis zu 23 kg/m² und Jahr kann in klimatisch kontrollierten Multitunnelsystemen mit erdelosen Kulturen erzielt werden. Andere Zahlen stammen aus einer persönlichen Mitteilung, derzufolge in geschätzten 6.000 Gewächshäusern auf 8.500 ha rund 850.000 t Tomaten pro Jahr produziert werden, also im Schnitt 10 kg pro m² und Jahr (Pérez Mesa 2008, pers. Mitteilung). Der Ertrag hängt eng mit der Kulturführung (Dauer und Art) zusammen und wurde in persönlichen Gesprächen mit Experten der Universität Almería und „Las Palmerillas“ geschätzt. Obwohl die Produktion standortabhängig sehr variabel ist, wie z.B. durchschnittlich 14 kg pro m² und Jahr in Campo de Dalías oder 12 kg pro m² und Jahr in La Cañada, kann gesagt werden, dass beim „long cycle“ ein durchschnittlicher Ertrag von 13 kg pro m² und Jahr produziert wird (Magán 2008, pers. Mitteilung). Bei 2 kürzeren Anbauzyklen pro Jahr, können für beide zusammen ein jährlicher Maximalertrag von 20 kg pro m² erreicht werden (Magán 2008, pers. Mitteilung).

In dieser Arbeit wird ein durchschnittlicher Jahresertrag von 13 kg pro m²/a und die Gewächshausfläche von 7.907 ha (2005) verwendet. Außerdem wird von der Autorin angenommen, dass alle Tomatenkulturen Almerías im „long cycle“ geführt werden (siehe Abbildung 10).

3.5.4 Gewächshausstruktur

Die traditionelle Gewächshausstruktur dieser Region ist der so genannte „parral“, charakteristisch durch seine Billig-Bauweise mit einem Flachdach aus Plastikfolie, stabilisiert mit Maschendraht und auf Holzpfählen (Körner 2000; Castilla and Hernandez 2005; Baille et al. 2006). Diese ursprünglichen Strukturen weisen gravierende Nachteile, wie z.B. eine schlechte Luftzirkulation, nicht optimale Lichtausnutzung usw. auf, weshalb sich mit der Zeit daraus ein weiterer Gewächshaustyp, der „raspa y amagado“, entwickelte und durchsetzte. Im Vordergrund der Abbildung 11 ist der ursprüngliche Gewächshaustyp „parral“ mit Flachdach sichtbar. Weiter hinten im Bild lassen sich an Fischgräten erinnernde wellenförmige Dachstrukturen des „raspa y amagado“ erkennen. Die aktuellste Publikation aus dem Jahre 2000/01 gibt an, dass der „parral multicapilla simétrico“ („raspa y amagado“) einen Anteil von 52 % aufweist, während der „parral plano“ (mit Flachdach) 40 % an der Gesamtfläche unter Plastik besitzt (Pérez and López 2001). In persönlichen Gesprächen hat sich die Tendenz bestätigt (Magán 2008; Thompson 2008, pers. Mitteilungen). Der Anteil des „parral plano“ im Jahr 2006 lag bei 33 %. Die Verwendung von industriellen Multitunneln war im Jahr 2001 mit 0,3 % signifikant gering (Pérez and López 2001). In der vorliegenden Arbeit wird daher die Form „raspa y amagado“ berücksichtigt.



Abbildung 11: Gewächshaustypen „parral“ und „raspa y amagado“ – Almería, Spanien. Foto: Michaela C Theurl

Die hier verwendeten Zahlen sind Serrano (2002) entnommen und sind für den traditionellen „parral“ charakteristisch. Es wird darauf hingewiesen, dass sich immer Unterschiede der Gewichtsanteile pro m^2 Gewächshausfläche ergeben, je nachdem, wie groß der Umfang des Gewächshauses ist (z.B. $16 \times 125 \text{ m}$ oder $32 \times 62,5 \text{ m}$). Diese Differenzen werden nicht berücksichtigt, da sie von der Autorin für die vorliegende Art der Kalkulation als nicht maßgeblich erachtet werden. Die Grundlage des Gewächshauses bilden rund 2.260 Sockelfundamenten pro ha mit Annahmen folgender Maße $a = \varnothing 26,5 \text{ cm}$, $h = \varnothing 21 \text{ cm}$ (Mittelwerte nach Serrano 2002; Wert für Betondichte aus Antón 2004). Die Berechnungen ergeben 95.654 kg Beton/ha Gewächshausfläche. Die Abbildung 12 zeigt den Grundriss eines „parral“ in Almería und dessen Sockelfundamente.



Abbildung 12: Fundament eines typischen Gewächshauses in Almería, Spanien. Foto: Michaela C Theurl

In Serrano (2002) besteht das Gerüst des Gewächshauses zudem aus Holzpflocken, was nach eigener Beobachtung der Autorin in der Praxis nicht die Regel ist, aber mangels passender Daten nicht eruiert werden konnte. Abbildung 13 zeigt die Holzstrukturen eines Gewächshauses in Almería. Erkennbar sind in Abbildung 13 auch Gelb- und Blautafeln, die zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden.



Abbildung 13: Innenansicht eines Gewächshauses mit Gelb- und Blautafeln zur Schädlingsbekämpfung in Almería, Spanien. Foto: Michaela C Theurl

Deshalb wurde der Massefaktor „Stahl“, in diesem System „verzinkte Eisenrohe“ geschätzt. Es werden 2.260 Stück Eisenrohre (entspricht Anzahl der Betonblöcke) zu 4 m Höhe angenommen und anhand von Daten eines 2“ Eisenrohrs berechnet (Serrano 2005): $2.260 \text{ Stück} \times 4 \text{ m} \times 6,21 \text{ kg/m} : 15 \text{ Jahre Nutzungsdauer} = \underline{3.743 \text{ kg Eisenrohre.}}$

Die Plastikfolie eines „parral“ wird in der Regel nach 3 Anbauzyklen gewechselt (Céspedes 2008, pers. Mitteilung), daher wird eine Nutzungsdauer von 1,5 Jahren angenommen. Die anderen Bestandteile des Gewächshauses werden mit 15 Jahren Lebensdauer angenommen. Die unterschiedlichen Komponenten eines Gewächshauses sowie ihre gewichtsmäßigen Anteile sind in Tabelle 24 dargestellt.

Da an den Längsseiten der Gewächshäuser in Almería durchwegs Fliegengitter angebracht sind, die ebenfalls aus Plastik hergestellt werden, sind sie in „Summe Folie“ inkludiert. Die Berechnung des Plastikgewichtes erfolgt anhand von Schätzungen (Baeza 2008, pers. Mitteilung) und der Fa. Svensson (Wolbert 2008, pers. Mitteilung).

Tabelle 24: Struktur des Foliengewächshauses "parral" (typ. Almería) der spanischen Produktionssysteme.
Q: eigene Berechnung nach Serrano 2002

<i>Komponente</i>	<i>Gewicht [kg/ha]</i>	<i>hypothetischer jährlicher Materialfluss [kg/ha]</i>	<i>Nutzungsdauer [a]</i>
Beton	95.654	6.377	15
Holz	361.600	36.160	10
Maschendraht verzinkt total	12.305	820	15
Folie	2.800	1.867	1,5
Eisenrohre (verzinkt)	56.138	3.743	15
Fliegengitter	1.136	757	1,5
Summe Folie		2.624	
Summe Eisenrohre		4.563	

3.5.5 Gewächshausmanagement

In der vorliegenden Arbeit wird der Aufwand zur Bereitstellung bzw. Restaurierung („retranqueo“) eines „enarenado“ nicht berücksichtigt.

Wasserbedarf von Tomatenkulturen in Almería

In Almería gibt es eine hohe Variabilität in den tatsächlichen Wassergaben der einzelnen Gemüsesorten (Thompson et al. 2007; Fernández et al. 2007). Diesbezüglich greift die Autorin auf mehrere Publikationen zurück, die recht unterschiedliche Zahlen für den Wasserverbrauch im „ciclo largo“ aufweisen (siehe Tabelle 25). Diverse Erhebungsdaten werden mit einer Publikation der Estación Experimental de la Fundación Cajamar „Las Palmerillas“ (2005) verglichen, die den spezifischen Wasserbedarf für wichtige Kulturen (Tomaten, Melonen, Paprika etc.) sehr genau anhand gemittelter Einstrahlungs- und Temperaturdaten (1988 bis 2004 kalkuliert) als Empfehlung angibt.

Hingewiesen wird darauf, dass die Werte aus der Publikation der Forschungsstation „Las Palmerillas“ (Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“ 2005) dennoch Schätzungen sind, da tatsächliche Wassergaben nicht eruiert werden konnten. An dieser Stelle sei weiters angeführt, dass außer dem Bewässerungswasser auch Wasser vor Pflanzbeginn, zur Entseuchung des Bodens etc. verbraucht wird. Die unterschiedlichen Bewässerungsmengen die während der Recherche ermittelt wurden, sind in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Wasserbedarf von Tomaten in Lang- und Kurzkulturen in enarenado und Substrat in m3 pro ha und Jahr in Almería, Spanien

<i>Quelle</i>	<i>Anbauzyklus</i>	<i>Wasser- bedarf [m3/ha/a]</i>	<i>Kommentar</i>
Thompson et al. 2005	T. corto	3.990	-
Carreño et al. 2000	T. primavera	5.870	-
Céspedes 2008, pers. Mitteilung	T. ciclo corto	4.044	Substrat
Céspedes 2008, pers. Mitteilung	T. ciclo corto	4.350	Erde
Thompson et al. 2004	T.ciclo largo	4.830	-
Carreño et al. 2000	T.otono	5.191	-
Carreño et al. 2000	T.ciclo unico	4.711	1993/94 - 1998/99
Céspedes 2008, pers. Mitteilung	T.ciclo largo	6.370	1995/96
"Las Palmerillas" Empfehlung 2006	T.ciclo largo	5.061	Empfehlung (o. Tünchen)
"Las Palmerillas" Empfehlung 2006	T.ciclo largo	4.398	Empfehlung (Tünchen)
Thompson 2008, pers. Mitteilung	Pro Zyklus	300	Einwässerung vor Pflanzung

Die Angaben in Tabelle 25 Zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede im Wasserbedarf zwischen kurzen (T.corto, T.primavera) und langen (T.ciclo largo, unico, T.otono) Tomatenanbauzyklen auftreten. Diese Differenz ist nicht ausreichend erklärbar, wird jedoch auf die klimatischen Verhältnisse im jeweiligen Untersuchungszeitraum bzw. die fehlende Kongruenz der Studien zurückgeführt. Der Autorin erscheint es daher am sinnvollsten, die Empfehlung von „Las Palmerillas“ plus den zusätzlichen Wasserverbrauch für die Einwässerung, somit 4.698 m³/ha in der Sachbilanz auszuweisen.

„encalado“ - Tünchen

Diese Technik kann mit „Tünchen“ übersetzt werden und dient zur Reduzierung der Temperaturen im Gewächshaus. Bei diesem Vorgang wird die Plastikummantelung eingekalkt. Durch die aufgetragene Kalkschicht kann die Sonneneinstrahlung um ca. 30 % reduziert werden (Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“ 2005; Thompson et al. 2007). Üblicherweise wird zweimal pro Jahr getüncht (Spätsommer, Frühjahr). Die übliche Dosis beträgt 25 kg Kalk pro 100 l Wasser (Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“ 2005). Für 1 ha Anbaufläche werden 1.000-1.200 kg Kalziumcarbonat, genannt „Blanco de España“, aufgewandt (Céspedes 2008, pers.

Mitteilung). Das Tünchen stellt einen Inputfaktor dar, der in diesem Abschnitt erwähnt wird, aber aufgrund mangelnder Prozesse von GEMIS in der CO₂-Bilanz nicht inkludiert wird.

3.5.6 Agrochemie

Organischer Dünger

Aus einer Untersuchung von Thompson et al. (2007) geht hervor, dass bei der Errichtung des Folientunnels Wirtschaftsdünger aufgebracht wird, der üblicherweise in regelmäßigen Abständen erneuert wird. Im Durchschnitt sind das einmalig 300 t/ha und periodisch 120 t/ha (Median, Wirtschaftsdünger) und 10 m³ (Median, Kunstdünger) periodisch. In den meisten Betrieben (mehr als 90 %) passierte die periodische Düngung innerhalb von fünf Jahren. In dieser Arbeit wird die einmalige Grunddüngung vernachlässigt, dafür scheint es der Autorin plausibel, die periodische Düngung mit 60 t/ha/a ins System einzubringen.

Fertigation

Auf den Gewächshausflächen an der Küste von Almería, eine der größten weltweit, erfolgt die Düngung mit Hilfe der Tropfbewässerung. Die lokalen Betreiber von Gewächshäusern in Almería greifen in den Düngermengen zum großen Teil auf ihre eigenen Erfahrungswerte zurück und Wasser- oder Bodenmessgeräte werden in wenigen Betrieben verwendet (Thompson et al. 2007). Thompson et al. (2007) geben weiters an, dass in 42 bzw. 21 % der untersuchten Betriebe, die Stickstoffgaben 1,5-2-mal höher waren, als die effektive Aufnahme über die Pflanzen. Der Düngemittelbedarf der Tomatenkulturen in Almería ist in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Düngemengen in kg pro ha und Jahr in Tomatenkulturen unterschiedlicher Standorte in Almería, Spanien

<i>Quelle</i>	<i>N</i> <i>[kg/ha/a]</i>	<i>P</i> <i>[kg/ha/a]</i>	<i>K</i> <i>[kg/ha/a]</i>	<i>Kommentar</i>
Magán 2008, pers. Mitteilung	900	219	1.162	La Cañadas
Thompson et al. 2004	589	-	-	Erhebungsdaten, Mittelwerte 1999/2000
Thompson et al. 2004	624	-	-	
Cadenas 1999	886	78	1.184	speziell für El Parador y Rquestas de Mar
Mittelwerte	750	149	1.173	

Pflanzenschutzmittel

Genaue Zahlen des tatsächlichen Pestizideinsatzes konnten trotz intensiver Bemühungen vor Ort (Forschungsstation IFAPA „La Mojonera“, „Las Palmerillas“) nicht erhoben werden. Deshalb ist keine detaillierte Angabe möglich. Zahlen über den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bei Tomatenkulturen für ganz Spanien und die Niederlande sind der Tabelle 27 zu entnehmen.

In Spanien gibt es die Tendenz zur präventiven Pestizidspritzung und die Verwendung von Bioziden ist laut allgemeiner Meinung in der Regel relativ hoch. Heuvelink (2005) gibt an, dass in weniger als 5 % der Betriebe die biologische Kontrolle der Pflanzen zum Einsatz komme und der Aufwand an aktiven Wirkstoffen 3- bis 4-mal höher sei, als in den Niederlanden. Diese Zahlen konnten in persönlichen Gesprächen mit ExpertInnen von der Universität Almería und der Estación Experimental de La Fundación Cajamar „Las Palmerillas“ nicht bestätigt werden. So habe sich der Pestizideinsatz seit dem Jahr 2000 signifikant reduziert, was auf die strengen Bestimmungen der Supermarktketten und einer vermehrten Kontrolle seitens der Kooperativen und der Exportländer zurückzuführen sei. Der Einsatz von Nützlingen habe sich signifikant gesteigert (siehe Blom 2007.)

Tabelle 27: Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in kg Wirkstoff pro ha und Jahr in Tomatenkulturen in Spanien und den Niederlanden. Q: Van der Velden et al. 2004

<i>Land</i>	<i>Pestizide</i> <i>[kg ai*/ha/a]</i>
Spanien	26
Niederlande	7,7

*ai steht für active ingredient bzw. active substance, Wirkstoffsubstanzen in Pestiziden

„solarización“ - Bodenentseuchung

Zahlen aus einer Untersuchung im Zeitraum 2005/06 belegen, dass in 91,7 % der Gewächshäuser Almerías eine Desinfektion des Bodens vorgenommen wird (Céspedes et al. 2008, unveröffentlicht). Diese Maßnahme erfolgt in rund 45 % aller Gewächshäuser alle 2 bis 3 Jahre durch „solarización mixta“. Außer Sonnenenergie werden für eine gründliche Entseuchung noch zusätzlich die Chemikalien Metamsodio (50 kg pro m²/Entseuchung) und Dicloropropeno (10 kg pro m²/Entseuchung) eingesetzt (Céspedes et al. 2008, unveröffentlicht).

Dieser Inputfaktor wird hier nur angeführt und kann in die Berechnung aufgrund mangelnder Prozessdaten von GEMIS nicht inkludiert werden. Indirekt sind die chemischen Mittel zur Bodenentseuchung jedoch in den 26 kg Pestizidaufwand enthalten sein (Tabelle 27; Van der Velden et al. 2004).

3.5.7 Kulturarbeiten

Menschliche Arbeitskraft

Die sehr klein strukturierten Betriebe in Almería sind meist in Familienbesitz. Im Durchschnitt sind 1,3 eigene Arbeitskräfte und 0,96 bis maximal 1,9 saisonale Helfer pro Hektar beschäftigt, die lediglich während der Erntezeit und beim Räumen der Kulturen am Betrieb arbeiten (Pérez and López 2001).

Aus einer Erhebung für das Anbaujahr 2001/02 geht hervor, dass für die Tomatenkultur (Zyklus: 14.8.01 - 30.5.02) ein Arbeitseinsatz von 3.900 Stunden¹ pro ha notwendig ist (Pérez Mesa et al. 2003). Eine andere Publikation gibt an, dass für die Produktion von 1 kg Tomaten in Spanien zwischen 250 und 325 Arbeitsstunden aufgewandt werden (García and Mastrostefano 2002). Bezogen auf den ha würde das bei einem Ertrag von 13 kg/m² mindestens 32.500.000 Stunden ergeben. Das erscheint der Autorin mehr als übertrieben, da auch die Lohnkosten diesbezüglich außerordentlich hoch wären. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um einen Fehler in den Einheiten (kg statt t Tomaten). In der vorliegenden Arbeit werden daher 3.900 Akh/ha und Jahr in der Sachbilanz erfasst.

Maschinenstunden

Der Aufwand für Maschinenstunden konnte für das spanische Produktionssystem weder in der Literatur noch in persönlichen Gesprächen erhoben werden. Es wird deshalb die Anzahl der Maschinenstunden für die konventionelle Erdkultur in Österreich verwendet.

3.5.8 Hypothetisches Produktionssystem in Almería

Für das spanische Produktionssystem wird zudem die Frage gestellt: Wie würde sich der CO₂-Aufwand pro kg Tomaten verändern, wenn das gesamte verbrauchte Wasser pro Anbauperiode aus einer Entsalzungsanlage käme?

Da eine künstliche nächtliche Klimakontrolle in den Gewächshäusern von Almería keine wirtschaftliche Relevanz für die billigen „parrales“ darstellt, wurde der nächtlichen Energiebilanz im Gewächshaus und der Beheizung wenig Aufmerksamkeit geschenkt (Baille et al. 2006). In Almería kann die Tagesaußentemperatur in den kältesten Monaten (Jänner und Februar) ein Tagesminimum von 2-3°C erreichen (Montero et al. 1985 in Baille et al. 2006). Seit einigen Jahren gibt es eine langsam steigende Zahl von Gewächshäusern mit Heizung, dennoch ist ihr Gebrauch verschwindend gering (Pérez-Parra et al., 2000 in López et al. 2006).

¹ Die Autoren weisen auf die schlechte Repräsentativität der Daten aufgrund der geringen Stichprobe hin.

In Zukunft könnte sich das nach Meinung der Autorin aber ändern (zumindest für die großflächigeren Multitunnelsysteme) und zudem war für die Autorin der Vergleich eines möglichen Heizbedarfs zu den österreichischen Produktionssystemen interessant.

Die Heizsaison in Almería dauert maximal dreieinhalb Monate, von Dezember bis Anfang März, und ist daher viel kürzer als in Nord- und Mitteleuropa (López et al. 2006). Der in dieser Arbeit berücksichtigte Heizbedarf basiert auf Versuchen mit Propangasbrennern für die Heizperioden 1997/98 und 1999/00 in asymmetrischen „Multi-Span-Parrales“ der Forschungsstation „Las Palmerillas“ (López et al. 2006). Zahlen über den minimalen und maximalen Energiebedarf almeriensischer Gewächshäuser sind in Tabelle 28 dargestellt. Angemerkt sei, dass i) die Temperaturen von Winter zu Winter meist sehr verschieden sind, ii) die klimatischen Innenbedingungen im Gegensatz zum typischen „parral“ sehr wahrscheinlich differieren, iii) die Versuche in López et al. (2006) nicht mit Tomatenkulturen, sondern mit Gurken bzw. Bohnen gemacht wurden, und daher der hier gebrauchte Wert eine grobe Schätzung darstellt und nur als Annäherung gelten kann. Andere Quellen konnten nicht ausfindig gemacht werden.

Tabelle 28: Heizenergiebedarf in GJ pro ha und Jahr eines Gewächshauses in Almería, Spanien. Q: López et al., 2006

<i>Temperatur</i>		<i>Bedarf</i> [GJ/ha/a]
Temperaturminimum	12 C°	1.200
Temperaturminimum	15 C°	2.500

Für die Berechnungen wird der maximale Gasverbrauch aus den Experimenten herangezogen, da die maximale Heiztemperatur bei 15°C lag (für Gurken) und die empfohlene Temperatur für eine tragende Tomatenkultur zwischen 16 und 18°C liegt (George and Eghbal 2003).

Im beheizten Produktionssystem in Almería kommt es auch zu einer Steigerung des Ertrags, daher nimmt die Autorin einen Ertrag von 18 kg Ertrag pro m² und Jahr.

3.6 Italien

3.6.1 Konventioneller Freilandanbau

Die Anbaugelände liegen um Foggia, aber auch um Bari und Brindisi, von wo aus die frischen Früchte zur Verarbeitung in 200 - 300 km entfernte Fabriken nach Kampanien gebracht werden (Virgilio 2008, pers. Mitteilung; AMITOM 2006a;). In der gesamten Region Apulien wird überwiegend integrierte Produktion betrieben und es werden

laufende Kontrollen während des Produktionszyklus, sowie an den geernteten Tomaten durchgeführt, bevor sie zur Verarbeitung gelangen (Virgilio 2008, pers. Mitteilung).

3.6.2 Anbaufläche und Ertrag

Gemäß Colvine (2008, pers. Mitteilung) werden in Italien 2006 auf 59.552 ha rund 4,4 Mio. Tomaten für die Verarbeitung angebaut. Davon werden rund 1,1 Mio. t zu geschälten Tomaten in der Dose verarbeitet. Das entspricht einer Fläche von 14.888 ha (Colvine 2008, pers. Mitteilung). Wie viel von dieser Anbaufläche in der Provinz Apulien liegt konnte nicht eruiert werden. Der durchschnittliche Ertrag pro m² und Jahr lag demnach bei 7,4 kg/m²/a.

Dem nationalen Statistik Institut ISTAT zufolge, betrug die durchschnittliche Anbaufläche für industrielle Tomaten („pomodoro da industria“) von 2004-07 in Apulien 30.188 ha. die Statistiken zeigen keine Differenzierung zu den unterschiedlichen Verarbeitungsformen (Tomatenstücke, oder geschälte Tomaten in der Dose, Tomatenkonzentrat, Pasten).

Aufgrund dieser Schwierigkeiten scheint es für die Autorin präziser, die gesamte italienische Anbaufläche für Konserventomaten, 14.888 ha, und einen durchschnittlichen Ertrag von 74 t pro ha zu verwenden.

3.6.3 Management

In Apulien werden über Tropfbewässerung durchschnittlich 500 - 600 mm über den ganzen Anbauzyklus verteilt zugeführt. Das Bewässerungsmaximum kann 800 mm betragen (Rinaldi and Rana 2004). In der Sachbilanz stehen umgerechnet 6 Mio. l Wasser pro ha für den Zeitraum Mitte April bis Ende September (6 Monate).

3.6.4 Agrochemie

Obwohl Fertigation einen großen Einfluss auf die Verbesserung der Erträge, Wasser- und Düngereffizienz hat, basiert das Management immer noch auf Erfahrungswerten der lokalen Bauern (Elia et al. 2007). Die diesbezügliche Datenlage erweist sich als lückenhaft und so werden in der vorliegenden Arbeit mehrere Literaturwerte von diversen Agrarhomepages, gesetzliche Richtlinien und den persönlich von Elia (2008, pers. Mitteilung) zur Verfügung gestellten Einzelbetriebsdaten eines lokalen Betriebes mit 30 ha (Elia 2008, pers. Mitteilung)² miteinander verglichen und gemittelt. Einen Überblick der ermittelten Düngemengen für Verarbeitungstomaten in Apulien gibt Tabelle 29. In der Sachbilanz stehen die gemittelten Werte für Stickstoff, Phosphor und Kalium.

² Daten sind nicht repräsentativ, da nur 30 ha, von ca. 30.000 ha berücksichtigt wurden (Elia, 2008)

Tabelle 29: Düngemengen der Freilandkulturen in kg pro ha und Jahr in Italien

<i>Quelle</i>	<i>N</i> [kg/ha/a]	<i>P</i> [kg/ha/a]	<i>K</i> [kg/ha/a]	<i>organisches Material</i> [kg/ha/a]
Monfavet	190	96	291	
Turchi & C.	160	17	166	
AA.VV	147,5	74	349	
----	150	66	191	
	150,2	90	-	300-400
Elia (2008). mechanisch	40	90	0	400
Elia A. (2008) fertigation	160	40	100	
Mittelwert	143	68	183	400

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird mangels anderer Quellen durch die erhobenen Einzelbetriebsdaten von Elia (2008, pers. Mitteilung) berücksichtigt. Der Aufwand für Pestizidaufwand dieses apulischen Betriebes besteht mit 40 kg/ha aus dem Aufwand für Chemikalien zur Bodenentseuchung. Der Gesamtaufwand von 56 kg /ha wird in der Sachbilanz erfasst.

3.6.5 Kulturarbeiten

Die Arbeitskraftstunden für das italienische Freilandssystem bezieht sich auf die Einzelbetriebsdaten von Elia (2008, pers. Mitteilung, unveröffentlicht). Dieser Wert wird mit Richtwerten aus Emilia-Romana verglichen. Die Tabelle 30 zeigt, dass sich der Aufwand für menschliche Arbeit aus den beiden Quellen kaum unterscheidet. Es wird darauf hingewiesen, dass in diesem Freilandproduktionssystem die Tomaten mechanisch geerntet werden. In der Sachbilanz wird der gemittelte Wert beider Publikationen mit 222 Akh/ha und Jahr erfasst.

Tabelle 30: Arbeitskraftstunden der Freilandkulturen pro ha und Jahr in Italien

<i>Quelle</i>	<i>Anzahl</i> [Akh/ha/a]
Elia A.	224
www.ermesagricoltura.it	220
Mittelwert	222

Maschinenstunden

Aufgrund Datenmangels wurden für den Freilandanbau die Kennzahlen aus dem Neustadter Heft Nr. 75 (Engl et al. 1996) herangezogen und leicht verändert (z.B. wurden die Aufwendungen für den Marktransport abgezogen, da davon ausgegangen wird, dass die frisch geernteten Tomaten unmittelbar nach der Ernte per LKW zur Verarbeitungsfabrik nach Kampanien abtransportiert werden). Diese Daten wurden den Einzelbetriebsdaten (Elia 2008, pers. Mitteilung) gegenübergestellt. Wie aus Tabelle 31 erkennbar, zeigt sich kein signifikanter Unterschied.

Tabelle 31: Maschinenstunden der Freilandkulturen pro ha und Jahr in Italien

<i>Quelle</i>	<i>Anzahl</i> <i>[Mh/ha/a]</i>
Elia A.	74
Engel et al. 1996	171

Die Autorin ist zu dem Schluss gekommen, dass die Anzahl der Maschinenstunden von Elia (2008, pers. Mitteilung) in der vorliegenden Kalkulation berücksichtigt werden sollten³, da die Daten i) aktueller und ii) aus einer, direkt vor Ort, durchgeführten Erhebung aus der Provinz Apulien stammen.

³ obwohl laut persönlicher Mitteilung (Elia 2008, pers. Mitteilung) keine Repräsentativität gewährleistet wird

3.7 Analyse und Datendokumentation - GEMIS Österreich 4.4

3.7.1 Struktur von GEMIS

Die Datenbank GEMIS gliedert sich in Produkte (Stoffe), Prozesse (stellen Stoffe bereit, z.B. Baumaterialien, Lebensmittel) und Szenarien (Kombination eines bestimmten Bedarfes mit bereitstellenden Prozessen). In den Szenarien wird der gesamte Lebensweg inklusive Vorketten und Herstellung miteinbezogen (vgl. Fritsche and Schmidt 2007). Generell kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse von Daten in „Prozesse“ und „Szenarien“ eindeutig variieren. Es handelt sich dabei um inhärente technische Ungenauigkeiten der Kalkulationsprozesse von GEMIS, die je nach Einstellung der Genauigkeitsstufe (unter Einstellungen) mehr oder weniger abweichen können. In der Regel gilt, je kleiner die Einheit, desto eher treten Unterschiede auf, die jedoch maximal 5 % betragen (Rauscher 2008, pers. Mitteilung). In dieser Arbeit erfolgten die Kalkulationen in der Regel auf der niedrigsten Genauigkeitsstufe von 0,1. Eine diesbezüglich belegende Ausführung ist unter dem Punkt Fernwärme beschrieben (Tabelle 33).

Eine Zusammenfassung der hier dokumentierten Datensätze aus GEMIS Österreich 4.4 ist in Tabelle 41 zusammengefasst (im Anhang).

3.7.2 Gewächshausstruktur

Kunststoffe, Plexiglas

Die Produktionsstätte des Moduls Kunststoffe LDPE-Folie-1999 ist in England und die Daten beziehen sich auf das Jahr 1993 und 1995 (Vorketten, korrigiert). Abbildung 14 zeigt die Darstellung der Prozesskette zur Herstellung von Polyethylen-Folien (engl. low-density-poly-ethylen). Soweit der Autorin zugänglich, beziehen sich die Ergebnisse auf die direkten Emissionen des Produktionsprozesses und exkludieren die Vorleistungen (z.B. Vorkette von Öl).

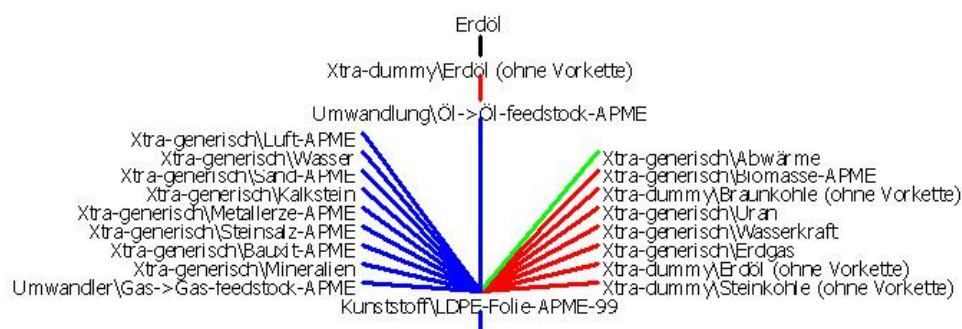


Abbildung 14: Prozesskette zur Herstellung von Kunststoffen mit dem Modul LDPE-Folie 1999. Q:GEMIS Österreich 4.4

In diesem Punkt liegt daher eine Unterbewertung der tatsächlichen CO₂ Emissionen vor, wenn die Verläufe des Raffinierens noch berücksichtigt würden. Dieser Prozess liefert 1,93 kg CO₂ pro kg LDPE-Produkt.

Gartenblankglas

Für die Beurteilung der Glashausfläche österreichischer Produktionssysteme wird der Prozess **Steine-Erden\Glas-flach-A-neu** herangezogen, welcher die Herstellung von Glas nach dem Float-Verfahren bewertet. Dieser Datensatz berücksichtigt Hilfsenergien (z.B. Prozesswärme) und –materialien (z.B. Feinkalk, Dolomit), aber nicht den Fabrikbau und den Transport. Die Bereitstellung von Glas erfordert 1,32 kg CO₂/kg Glas, die mit dem Parameter Glas aus der Sachbilanz multipliziert und durch den Gesamtertrag pro ha dividiert werden, um so die emittierten CO₂ pro kg Tomaten zu erhalten.

Stahlerzeugung

Die Bewertung der Stahlkonstruktion der Gewächshäuser erfolgt mit dem Modul **Metall/Stahl-A-WarmWalz** mit Österreichbezug. Ein Transport wird nicht berücksichtigt, ebenso wenig wie der Bau oder die Instandhaltung des Fabrikgebäudes, jedoch sind Hilfsenergien und –materialien inkludiert. Einen Überblick der Stahlerzeugung anhand der Prozesskette gibt Abbildung 15.



Abbildung 15: Prozesskette zur Stahlproduktion mit dem Modul Metall/Stahl-A-WarmWalz Österreich 1990.
Q: GEMIS Österreich 4.4

An dieser Stelle sei angemerkt, dass aufgrund von Datenengpass, der Einfachheit halber auch im spanischen Produktionssystem der Prozess aus Abbildung 15 zur Bewertung des Stahlinputs verwendet wird. Da in Almería vorwiegend verzinktes Eisen in den Gewächshauskonstruktionen Anwendung finden, ist hier eine Unsicherheit in der Analyse gegeben. In Tabelle 32 werden unterschiedliche Prozesse der Stahlproduktion dargestellt. Ein Vergleich mit dem Prozess **Metall/Stahl-DE-Blech-verzinkt** zeigt, dass es sich in der vorliegenden Berechnung höchstwahrscheinlich um eine Unterbewertung der tatsächlichen CO₂-Emissionen handelt, da das Verzinken ein aufwändiger Prozess ist. Mit der Begründung, dass der Aufwand von Stahl aufgrund seines relativ geringen Einflusses auf das Gesamtergebnis lediglich einer einfachen Schätzung bedarf, wird nicht weiter darauf eingegangen.

Tabelle 32: CO₂ Emissionen verschiedener Prozesse zur Stahlproduktion in kg CO₂ pro kg Stahl . Q: GEMIS Österreich 4.4

<i>Prozess</i>	CO₂ <i>[kg/kg Stahl]</i>
Metall\Stahl-A	0,41
Metall\Stahl-A-WarmWalz	0,52
Metall\Stahl-CN	6,33
Metall\Stahl-DE-Blech	1,86
Metall\Stahl-DE-Blech-verzinkt	2,39
Metall\Stahl-DE-Elektro-alt	0,55
Metall\Stahl-DE-Elektro-mix	0,54
Metall\Stahl-DE-Elektro-neu	0,51
Metall\Stahl-DE-mix	1,41
Metall\Stahl-DE-Oxygen	1,63
Metall\Stahl-DE-WarmWalz	1,59
Metall\Stahl-Elektro-neu-L	0,57
Metall\Stahl-Elektro-neu-L 2001	0,54
Metall\Stahl-IN	1,65

Aluminium

Die Bewertung der Bereitstellung der Aluminiumkonstruktion für die Gewächshäuser erfolgt mit dem Datensatz **Metall\Alukonstruktion** (Ortsbezug Deutschland). Ein österreichisches Modul steht in GEMIS Österreich 4.4 nicht zur Verfügung, ein möglicher Unterschied wird als nicht relevant angenommen. Erwähnter Prozess berücksichtigt Prozessenergien und Hilfsmaterialien und sonstige Vorleistung zur Herstellung von Primäraluminium (Bauxitimporte aus Schwarzafrika/Brasilien plus entsprechende Transportleistungen). Der äußerst energieintensive Prozess der Aluproduktion spiegelt sich auch im Ergebnis wieder. Es wird 26,77 kg CO₂ / kg Aluminium ausgestoßen. Die Kalkulation für 1 kg Tomaten erfolgt beispielhaft für das Produktionssystem Venlo:

$$1.300 \text{ kg Aluminium/ha} \times 26,768987 \text{ kg CO}_2/\text{kg Aluminium} / 500.000 \text{ kg Tomatenertrag /ha} =$$

$$\underline{0.07 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate.}}$$

Beton

Für die Analyse des Parameters Beton wurde das Modul **Steine-Erden\Beton-B25-A** mit Ortsbezug Österreich, ausgewählt. Es wird angenommen, dass die Unterschiede zur Produktion in Spanien nicht signifikant sind. Der Transport zum Bauort ist nicht inkludiert. Kalkuliert wird mit einer Betondichte von 2.000 kg/m^3 und einer Lebensdauer von 20 Jahren. Zu Feinbeton wurden keine Daten erhoben, weshalb der Gehweg im Venloer-Gewächshaus mit dem Prozess **Steine-Erden\Beton-B25-A** aus GEMIS berechnet wurde. Zur Verstärkung (Bewehrung) werden dem Feinbeton Glasfasertextilien beigemischt und erhält dadurch eine höhere Druck- bzw. Zugfestigkeit. Diesbezügliche Differenzen erscheinen der Autorin vernachlässigbar. Der Prozess **Steine-Erden\Beton-B25-A** gilt für einen Standardbetonklinker (Betonklasse B25) und inkludiert eine durchschnittliche Transportleistung für Hilfsmaterialien wie Zement, Sand und Kies, sowie Hilfsenergien. Dieses Modul liefert $0,15 \text{ kg CO}_2/\text{kg Beton}$.

3.7.3 Gewächshausmanagement

Steinwollaufwand

Die verwendeten Steinwollplatten in erdelosen Kulturen sind kalkulatorisch mit „Steinwolle als Baustoff“ in die Berechnungen inkludiert, da GEMIS keinen eigenen Prozess für die Herstellung von Steinwollplatten für den Gartenbau offenbart. Eine erfolgte Nachrecherche bei der Firma Rockwool Niederlande lässt auf eine Vergleichbarkeit der Herstellungsprozesse schließen, wobei mögliche Differenzen vernachlässigt werden müssen ($20\text{-}180 \text{ kg Steinwolle/m}^3$ Baustoff, $43\text{-}73 \text{ kg Steinwolle}$ für 1 m^3 Substratplatte; Van Essen 2008, pers. Mitteilung). Bauvorleistungen der Fabrikationsstätten werden im GEMIS Prozess nicht berücksichtigt, jedoch diverse Hilfsmaterialien, wie Kies, Zement etc., sowie Hilfsenergie aus Steinkohle und Elektrizität. Für die Herstellung werden $0,86272 \text{ kg CO}_2$ pro kg Haupt-Output Steinwolle aufgewandt. Die Kalkulation des Steinwolle-Input für 1 kg Tomate resultiert wie folgt:

$$\begin{aligned} 4.390 \text{ kg Steinwolle/ha} \times 0,87 \text{ CO}_2 \text{ kg/kg Steinwolle} : 500.000 \text{ kg Tomatenertrag/ha} = \\ = \underline{0,008 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate}} \end{aligned}$$

Heizenergiebedarf

An dieser Stelle wird vorweg genommen, dass der Heizbedarf der Gewächshäuser aufgrund geeigneter Datensätze in GEMIS mit den Werten der Endenergiebereitstellung für Privatkunden (Haushaltsebene) erfolgt. Auf eine genaue Analyse dieser Prozesse in Bezug auf den Einsatz in Tomatenkulturen (Großabnehmer, leistungsfähigere Heizanlage), kann aufgrund fehlender Datenbasis und folglich aufgrund zu hoher

Komplexität einer Erhebung nicht eingegangen werden. Als Alternative zu den traditionellen Energieträgern Heizöl (EL) und Erdgas werden Fernwärme und Hackschnitzel analysiert und einander gegenübergestellt.

In den Produktionssystemen Venlo-Haus und Glashaus wird die Annahme getroffen, dass die Tomatenkulturen zusätzlich mit CO₂ gedüngt werden. Um ein Double-counting zu vermeiden, wird weiters angenommen, dass die gefilterten Abgase der Erdgasheizung zur Begasung der Kulturen ausgenützt werden. Für die anderen Heizformen, wie Fernwärme, Ölheizung und Hackschnitzelheizung wird die CO₂-Düngung in der CO₂-Bilanz extra addiert, da angenommen wird, dass es aus Vorratstanks, die neben den Gewächshäusern aufgestellt sind, bezogen wird. Angemerkt wird, dass die Vorleistungen und Aufwände zur Bereitstellung des Gases aus den Vorratstanks in der vorliegende Kalkulation nicht inkludiert sind. Berücksichtigt wird ausschließlich die tatsächliche Kohlendioxidbegasungsmenge (siehe Agrochemie, Seite 49).

Unsicherheiten in GEMIS Österreich 4.4

Wie bereits erwähnt, gibt es in GEMIS Unterschiede in den Resultaten, je nach dem ob die Ergebnisse in „Prozesse“ oder „Szenarien“ herausgelesen werden. Tabelle 33 gibt einen Überblick der Differenzen und der Ergebnisse aus einem eigenhändig erstellten Szenarium durch die Autorin. Die letzte Spalte aus Tabelle 33 zeigt die Ergebnisse bei Einstellung der 3. Genauigkeitsstufe und ist die Grundlage für die Berechnung der CO₂-Bilanz.

Tabelle 33: Unsicherheiten in GEMIS am Beispiel unterschiedlicher Heizformen. Q: GEMIS Österreich 4.4

Bezeichnung	aus Prozessen CO₂ [kg/kWh]	aus Szenarien CO₂ [kg/kWh]	Differenz CO₂ [kg/kWh]	Genauig- keitsstufe 0,1 CO₂ [kg/kWh]*	Genauig- keitsstufe 0,001 CO₂ [kg/kWh]*
Gasheizung Brennwert 2005	0,224	0,270	0,046	0,227	0,228
Öl-leicht-Gebläseheizung 2005	0,325	0,340	0,015	0,340	0,338
Fernwärme Wien 2005	0,158	0,172	0,014	0,172	0,155
Hackschnitzelheizung 500 kW 2005	0,033	0,039	0,006	0,037	0,037
gas propan heating CZ 2000	0,280	-	-	0,261	0,273

*) eigene Berechnung von „Szenarien“

Fernwärme

Analysiert wird die Wärme, geliefert von der Fernwärme Wien, anhand des Datensatzes **Fernwärme Wien 2005**, der sich ausschließlich auf die Hausübergabestation und Hausverteilung für Privatkunden bezieht. Dieser Datensatz aus GEMIS inkludiert die Fernwärmeeinspeisungen sämtlicher Wiener Heizwerke inklusive ihrer Bauvorleistungen, Hilfsenergien (Elektrizität) und den Aufwand von Müllverbrennungsanlagen. Bei einem Bezug von 1 kWh Fernwärme aus dem Prozess, Fernwärme-Heizung-Wien-2005, werden 0,16 kg CO₂ emittiert. Die folgende Abbildung 16 gibt eine Übersicht der Prozessketten des beschriebenen Datensatzes.

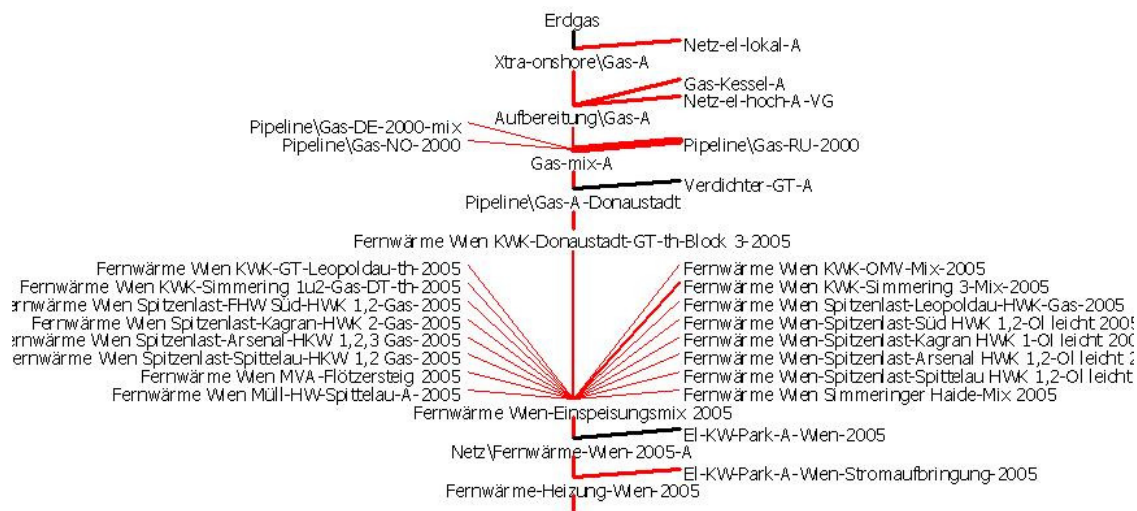


Abbildung 16: Prozesskette zur Bereitstellung von Energie durch Fernwärme, Wien 2005. Q. GEMIS Österreich 4.4

Zur Berechnung der kg CO₂ pro kg Tomate wird der kalkulierte Wärmebedarf aus der Heizenergiebedarfsrechnung (siehe Abschnitt 3.4.4, Tabelle 13) mit dem GEMIS-Resultat multipliziert und durch den spezifischen Ertrag Tomaten in kg dividiert. Veranschaulicht wird die Kalkulation beispielhaft am Produktionssystem Venlo-Haus:

$$7.906 \text{ GJ/ha} \times 1000 / 3,6 \text{ (Umrechnungsfaktor MJ)} \times 0,16 \text{ kg CO}_2 / 500.000 \text{ kg/ha Ertrag} = \\ \underline{0,70 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate}}$$

Gasheizung

Als Grundlage der Kalkulation dient der Datensatz **Gas-Heizung-Brennwert-A-2005**, für 1 MJ Raumwärme: 62,09 x 10⁻³ kg CO₂, also: 0,22 kg CO₂/kWh.

Die Abbildung 17 zeigt die Prozesskette für eine zentrale Brennwertheizung mit Erdgas (atmosphärische Brenner), inklusive Hilfsstrom und Wärmeverteilung für Österreich 2005.

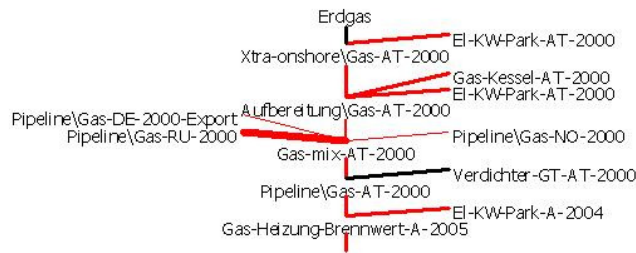


Abbildung 17: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme aus einer Gasheizung, 2005 Österreich. Q: GEMIS Österreich 4.4

Ölheizung

Die Analyse einer möglichen Ölheizung wird mit dem Prozess **Öl-leicht-Hzg-groß-neu-A-2007** durchgeführt. Dieser Datensatz analysiert die Umweltwirkungen eine große Zentralheizung (über 100 kW) für extraleichtes Heizöl mit Gebläsebrenner in Österreich. In Abbildung 18 sind die Elemente der Prozesskette der Ölheizung in Österreich dargestellt.

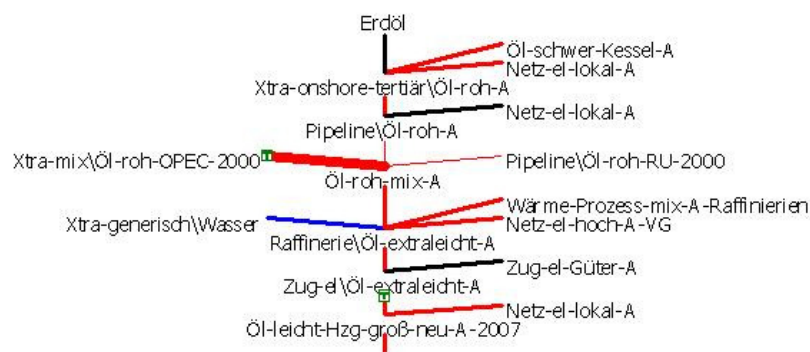


Abbildung 18: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme durch eine Ölheizung, Österreich 2007. Q: GEMIS Österreich 4.4

Das Ergebnis beinhaltet die Herstellung der Heizanlage, die Vorketten zur Bereitstellung von Öl und den Transport zur Heizanlage mit Hilfe eines LKWs der 80er Jahre, sowie Hilfsenergien (Elektrizität). Die bereitgestellte Menge Raumwärme mittels dieser Technik beträgt 0,34 kg CO₂ /kWh.

Hackschnitzelheizung

Alternativ zu den bereits angeführten Energieträgern kommt auch eine Hackschnitzelheizung in Betracht, die für das biologische Produktionssystem relevant ist (siehe Einleitung). In der hier durchgeführten Kalkulation wird für die Bereitstellung von Warmwasser der Prozess **Holz-Hackschnitzel Hzg-500kW-A-2005** herangezogen. Die Prozesskette des Datensatzes **Holz-Hackschnitzel Hzg-500kW-A-2005** ist in Abbildung 19 dargestellt.

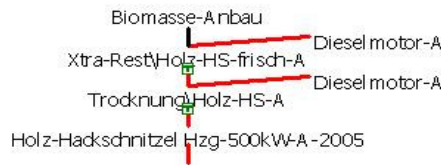


Abbildung 19: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme aus einer Hackschnitzelheizung, Österreich 2005.
Q: GEMIS Österreich 4.4

Das Ergebnis aus dem Datensatz in Abbildung 19 berücksichtigt den Biomasseabbau, deren Trocknung, sowie den Herstellungsaufwand der Heizanlage und den Transport der Hackschnitzel zur Anlage. Die Hackschnitzelheizung liefert 0,04 kg CO₂ / kWh „Warmwasser“ (hier mit Genauigkeit 0,001).

Propangas-Heizgerät

Die Beheizung in Almería erfolgt, wenn überhaupt, mit Hilfe von Propangas-Heizgeräten (Baeza 2008, pers. Mitteilung; López et al. 2006). Die Kalkulation erfolgt mit der Bereitstellung von Wärme aus einer Propanheizung in Tschechien. Das Ergebnis inkludiert den Herstellungsaufwand der Gasheizung, Hilfsenergien (Elektrizität) den Transport des Gases über 100 km, sowie die vorgelagerten Gewinnungsprozesse. Die Struktur der Prozessketten für das tschechische Propangasheizgerät ist in Abbildung 20 dargestellt.

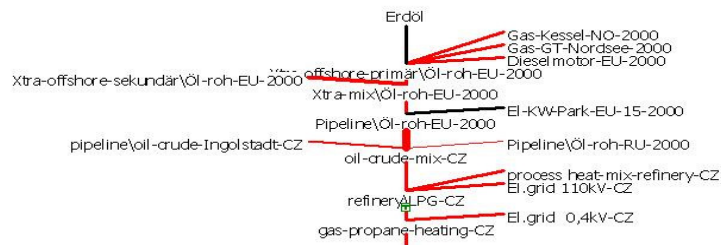


Abbildung 20: Prozesskette zur Bereitstellung von Wärme durch eine Propangasheizung, Tschechien 2000.
Q: GEMIS Österreich 4.4

Der Gebrauch dieses Datensatzes stellt natürlich eine sehr grobe Schätzung dar, die der Autorin aufgrund fehlender Daten jedoch noch am geeignetsten erscheint. Die von **gas-propane-heating-CZ** bereitgestellte Energie (für das Jahr 2000), besitzt einen CO₂ Ausstoß von 0,28 kg CO₂ pro kWh Raumwärme.

Entsalzungsanlage

Die Datengrundlage für die emittierten kg CO₂-Emissionen infolge der Entsalzung von Meerwasser bildet der Prozess der Umkehrosmose (engl. reverse osmosis), basierend auf dem spanischen Energiemix (Gemma et al. 2006). Der Aufwand zur Bereitstellung von entsalztem Meerwasser beträgt 2,18 kg CO₂/1.000 m³ Wasser (Gemma et al. 2006). Für das spanische Produktionssystem gilt folgende Kalkulation:

$$\text{Wasserbedarf } 4.698 \text{ m}^3 \times 2,18 \text{ kg CO}_2 / 130.000 \text{ kg Tomatenertrag} = \\ \underline{0,08 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomaten}}$$

3.7.4 Agrochemie

Stickstoff

Die Berechnung der Emissionen aus den Vorketten (Abbau, Transport) der Stickstoffproduktion wird mit dem Prozess zur Bereitstellung durchschnittlichen Stickstoffdüngers **Chem-anorg\Dünger** (grün markiert) durchgeführt. Dieser Datensatz bezieht sich auf die Produktion in Deutschland, Europa und Osteuropa mit einer Bereitstellung des Produktes bis Feldrand in Deutschland (www.probas.umweltbundesamt.de). Dieser Bereitstellungsprozess liefert 2,88 kg CO₂ / kg Reinstickstoff. Folgendes Rechenbeispiel (Produktionssystem Venlo-Haus) dient zum Verständnis des Kalkulationshintergrundes:

$$1.391 \text{ kg Stickstoff (Reinstickstoff aus Sachbilanz)/ha} \times 2,88 \text{ kg CO}_2 / 500.000 \text{ kg Ertrag/ha} = \\ \underline{0,08 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate.}}$$

Phosphor

Der Phosphorbedarf wird mit dem Modul **Chem-anorg\Dünger-P** (grün markiert) analysiert, der die Bereitstellung bis Feldrand von durchschnittlichem Phosphor-Dünger belegt (inklusive Abbau, Transport nach Deutschland). Die Produktion liegt in Deutschland, Europa und Osteuropa. Der Rechengang zur Ermittlung des CO₂-Aufwandes pro kg Tomaten ist im vorherigen Absatz (Stickstoff) beschrieben. Die CO₂-Emissionen bei der Herstellung von 1 kg Reinnährstoff beträgt 1,15 kg CO₂ (Tabelle 41).

Kalium

Wie in den beiden vorab beschriebenen Prozessen wird mit dem Datensatz **Chem-anorg\Dünger-K** die Bereitstellung eines durchschnittlichen Kali-Düngers in Deutschland abgebildet. Die Produktion erfolgt in Deutschland, Europa und Osteuropa und die Analyse erfolgt bis Feldrand inklusive Kali-Abbau und dessen Vorketten. Der CO₂-aufwand für die Produktion von 1 kg Kalium beträgt 1,09 kg CO₂ pro kg Reinnährstoff.

Vinasse

Die weitgehend entzuckerte Melasseschlempe, die bei der Gewinnung von reinem Alkohol und Trockenhefe über bleibt, wird eingedickt und kommt als Vinasse erneut in den Handel (mehr zu Düngung in DEBRUCK, www.vinasse.de 18.09.2008).

Die Betrachtung des Lebensweges von Vinasse in der GEMIS Datenbank ist nicht vollständig aufgezeigt, da Vinasse genau genommen ein Koppelprodukt darstellt (z.B. der

Alkoholgärung aus Zuckerrüben). Daher wird Schlempe (Abfallprodukt der Alkoholgärung) zur Analyse von Vinasse herangezogen. Der Prozess, **Verw/Beiprodukte/AG-ZR/DG**, liefert 0,31 kg CO₂ pro kg Schlempe. Die Hauptinputs (hier Hilfsmaterialien) dieses Datensatzes sind Düngemittel Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalzium. Die Prozesskette des Datensatzes für die Berechnung von Vinasse ist in Abbildung 21 dargestellt.

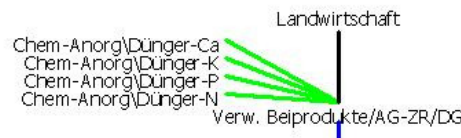


Abbildung 21: Prozesskette zur Bewertung von Vinasse am Beispiel des Moduls Beiprodukt der Alkoholgärung aus Zuckerrüben. Q: GEMIS Österreich 4.4

Unter Zuhilfenahme der Dichte des Flüssigdüngers Biorga (siehe Homepage Fa. Hauert), entsprechen 2.000 l Vinasse rund 2.640 kg (Dichte 1,32 kg/l). In der CO₂-Bilanz steht nachfolgend kalkuliertes Ergebnis:

$$2.640 \text{ kg Vinasse} \times 0,3065 \text{ kg CO}_2/\text{kg Schlempe} / 160.000 \text{ kg Tomatenertrag} = \\ = \underline{0,005 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate}}$$

Dies stellt eine klare Unterbewertung dar, da die Schlempe noch weiter zur Vinasse verarbeitet werden müsste, das möglicherweise weitere Emissionen verursachen würde (mit Transport in jedem Fall). Anzumerken gilt hier noch, dass der Prozess der Alkoholgärung (Alkoholgärung/ZR/DG), dessen Bestandteil oben verwendeter Datensatz **Verw/Beiprodukte/AG-ZR/DG** ist, mit einem negativen CO₂-Aufwand für die Herstellung von 1 MJ Alkohol aus Zuckerrübegärung belegt ist, da die Verwendung des Beiproduktes (also Düngemittel) als Gutschrift gerechnet wird. Wird bei Einstellungen Globalschalter Gutschrift deaktiviert, liefert das Modul Alkoholgärung einen positiven Wert für die CO₂-Emissionen

Pflanzenschutzmittel

Zur Vereinfachung wird ein generisches Pestizid angenommen, **Chem-Org/Biozide**, welches in GEMIS auf allgemeinen Herstellungsdaten von Bioziden mit Ortbezug Deutschland berechnet ist. Direkte Emissionen sowie Reststoffe oder Wasserbedarf (z.B. Vorleistung zur Herstellung von Gebäuden oder Transport) werden nicht berücksichtigt. Dieses Modul liefert 23,17 kg CO₂ / kg Biozid.

CO₂-Begasung

Durch die CO₂-Düngung der Tomatenkulturen werden Ertragsteigerung bis zu 20 % erreicht (Lattauschke 2004). Bei der Berechnung des tatsächlich emittierten CO₂ durch

Begasung muss die CO₂-Aufnahme durch die Pflanze selbst berücksichtigt werden (siehe Kalkulation S. 29). Es kann nicht angenommen werden, dass 1 kg Tomaten 100 % seines CO₂-Bedarfes durch die CO₂-Düngung deckt. Folgende Überlegungen zeigen, wie die CO₂-Aufnahme durch die Pflanze in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt wird:

Da durch die CO₂-Düngung der Tomatenkulturen maximal 20 % Mehrertrag erreicht werden kann (Lattauschke 2004), wird in der vorliegenden Arbeit angenommen, dass 1 kg Tomaten 80 % seines CO₂-Bedarfs aus der natürlichen Umgebungsluft deckt. Folglich nimmt 1 kg Tomaten etwa 0,02 kg CO₂ aus der CO₂-Begasung auf. Das bedeutet, dass 0,28 kg CO₂/kg Tomaten – von 1 kg Tomaten ungenutzt - verloren gehen (etwa 90 % des begasten CO₂). Die Sachbilanzen der österreichischen Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus erfassen daher einen Wert von 0,28 kg CO₂/kg Tomaten.

3.7.5 Kulturarbeiten

Maschinenstunden

Die Ergebnisse in GEMIS werden pro kWh mechanische Energie angezeigt, die für diesen Prozess rund 42 % (Pölz 2008, pers. Mitteilung) beträgt. Das bedeutet, dass aus 1 Liter Diesel 42 % an Energie (Nutzungsgrad 42 %) gewonnen wird. Folgendes Rechenbeispiel soll das Endergebnis, kg CO₂ pro kg Tomate, nachweisen:

Substratkultur

Maschinenstunden: 338 Mh/ha.a

Diesel ρ = 0,832 kg/L

Diesel Heizwert = 11,78 kWh/kg = 42,4 MJ/kg

1. Absoluter Verbrauch:

$$4 \text{ l/h} \times 338 \text{ Mh} = 1.352 \text{ l Diesel pro ha und Jahr}$$

2. Berechnung der mechanischen Energie mit Hilfe der Dichte und des Energiegehaltes von Diesel:

$$1.352 \text{ l Dieselverbrauch} \times 0,832 \text{ kg/L Dichte} \times 11,8 \text{ kWh/kg Heizwert Diesel} = 13.273 \text{ kWh}$$

3. Reduktion der mechanischen Energie auf 42 % (Pölz 2008, pers. Mitteilung)
 $13.273 \text{ kWh} \times 0,42 = 5.575 \text{ kWh}$

4. Multiplikation mit dem Ergebnis aus dem GEMIS-Prozess **Traktor-Diesel-A-2003** (0,696850 kg CO₂/kWh):

$$5.575 \text{ kWh} \times 0,70 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 3.885 \text{ kg CO}_2$$

5. Umrechnung auf 1 kg Tomate (bei 50 kg Ertrag/m₂):

$$3.885 \text{ kg CO}_2 : 500.000 \text{ kg Tomaten} = \underline{0,008 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate}}$$

3.7.6 Verpackung/Lagerung

Konservenherstellung

Der Stoffaufwand zur Herstellung einer Konservendose wird mit dem GEMIS Datensatz **Metall/Stahl-DE-Blech** (mit Ortsbezug Deutschland) kalkuliert. Bei Geschälten Tomaten in der Dose (400 g) beträgt das Abtropfgewicht 240 g, daher können 4,2 Dosen mit 1 kg Tomaten gefüllt werden. Für 1 Stück Dose werden 75 g Blechaufwand (präzise Wiegung) gerechnet, der 0,14 kg CO₂ liefert (100 g entsprechen rund 0,19 kg CO₂). Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die bei der Verarbeitung anfallenden Tomatenrückstände (größtenteils Außenhaut und Samen) zur Tierfutterherstellung verwendet werden (Sande and Leoni 2006). Aufgrund zu hoher Aufwändigkeit, wird auf die Berücksichtigung in vorliegender Arbeit verzichtet.

Energieaufwand der Verarbeitung

Der Prozess **NG-HerstellungEnergie-mix-Verarbeitung** berücksichtigt Waschen, Sortieren, Blanchieren, Sterilisieren und Verpacken. Der Endenergieverbrauch beträgt 1,3 MJ/kg und entspricht der Prozessenergie für die Herstellung von 1 kg geschälter Tomaten (Heiss 2004). Bei der Verarbeitung von 1 kg Tomaten wird der stoffliche Nutzungsgrad mit 70 % angenommen (GEMIS Österreich 4.4), somit können mit 0,7 kg Tomaten ungefähr 3 Dosen gefüllt werden. Die Berechnung der Emissionen erfolgt mit deutschem Energiemix, da Datenengpass bei italienischen Daten herrschte. Der Energiemix, anhand dessen die Obst- und Gemüseverarbeitung berechnet wird, ist in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Energiemix der Obst- und Gemüseverarbeitung für Deutschland im Jahr 2000. Q: stat. Bundesamt, Jahr 2000, GEMIS Österreich 4.4

<i>Energieträger</i>	<i>2000</i> <i>[MJ]</i>	<i>2000</i> <i>[%]</i>
Kohle	0	0,00%
leichtes Heizöl	3.092.928	0,03%
schweres Heizöl	408.646	0,00%
Gas-H _o *	7.715.880.000	75,12%
Stromverbrauch	2.551.680.000	24,84%
Summe	10.271.061.574	100,0%

Für 1 kg Prozessoutput entstehen 0,06 kg CO₂, für die Verarbeitung von 1 kg Tomaten bedeutet das:

$1,3 \text{ MJ} : 0,7 \times 0,05971 \text{ kg CO}_2 = \underline{0,054 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomaten}}$
Der gesamte CO₂ Aufwand für die Verarbeitung von 1 kg Tomaten ergibt sich wie folgt:
 $0,14 \text{ kg}/75 \text{ g Blech} \times 3 \text{ Konserven} + 0,054 \text{ kg CO}_2 = \underline{0,47 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate}}.$

Kühlaufwand durch Lagerung

Für den Kühlaufwand, der bei der Lagerung frischer Tomaten entsteht, wird der Prozess **Strom-mix-DE-Grosslager Lebensmittel** herangezogen, welcher die Vorketten der Elektrizität widerspiegelt. Mangels Daten, werden Differenzen im Vergleich zum österreichischen Energiemix vernachlässigt. Auf Vorleistungen bezüglich Gebäudeaufwand und –flächen der Kühlräume des Großhändlers wird aus Schwierigkeiten der Datenverfügbarkeit verzichtet.

Es wird eine durchschnittliche Lagerdauer von 14 Tagen angenommen. Die Prozessenergie für die Lagerung von frischen Tomaten wird in dieser Arbeit mit 0,01 MJ/kg Produkt/Woche (Dutilh and Kramer 1999) angenommen und bezieht sich auf ein größeres Warenlager, jedoch ohne Angabe vom Lagergut. Diese Zahl wird mit einer Publikation der Ernährungswende (Wiegmann et al. 2005) und GEMIS (0,03 MJ für 14 Tage) überprüft und stellt sich als realistisch dar.

Die Berechnung für das Resultat in der CO₂-Bilanz ergibt sich wie folgt:

$$0,01 \text{ MJ/kg} \times 2 \text{ Wochen} \times 0,15 \text{ MJ} = \underline{0,003 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate}}$$

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass ein großer Teil des Energieeinsatzes für die Kühlung bei sofortiger Verkochung durch den/die KonsumentIn auf die Haushaltsebene verschoben würde.

3.7.7 Transport

Zur Bewertung der Ferntransporte wird das Modul **Lkw-A-Sattelzug** ausgewählt, da dies eine Sattelzugmaschine einschließlich Anhänger mit Dieselmotor und den Durchschnitt aller Abgaskonzepte für alle Straßen (Autobahn, Außerorts-, Innerortsstraße) abbildet. Wichtig war es, einen möglich durchschnittlichen Transporter heranzuziehen, da es aufgrund der Vielzahl unterschiedlich großer und starker LKWs und diverser Abgasnormen in GEMIS nicht einfach war, ein passendes Gefährt für den Frischgemüsetransport auszuwählen. Die Messung von Gütertransport-Dienstleistungen GEMIS Österreich 4.4 basiert auf Tonnenkilometer (tkm). Transportiert ein Fahrzeug 20 t Fracht über eine Distanz von 100 km, so wird eine Transport-Dienstleistung von 2.000

tkm erbracht (20 t x 100 km). Die verschiedenen Tonnenkilometer, die den Berechnung der vorliegenden Arbeit zugrunde liegen, ist in Tabelle 35 zusammengefasst.

Tabelle 35: Transportleistung und Tonnenkilometer in GEMIS Österreich 4.4, eigene Berechnungen

<i>Land</i>	<i>1 kg Tomate [t]</i>	<i>Transportstrecke [km]</i>	<i>Tonnenkilometer [tkm]</i>	<i>Kommentar</i>
ESP	0,001	2.268	2,27	Ferntransport
ITA	0,001	1.608	1,61	Ferntransport
ESP; ITA	0,001	15	0,02	Nahtransport
AUT, NÖ	0,001	70	0,07	Nahtransport
AUT, Wien	0,001	6	0,01	Nahtransport

Ein Vergleich mit der SERI-Studie (Giljum et al. 2007) zeigte, dass sämtliche der hier in Frage kommenden Güterfahrzeuge der GEMIS Datenbank weit über den CO₂ Emissionen (in g/tkm) lagen. Für 1 tkm stößt der **Lkw-A-Sattelzug** 107,26 g CO₂ aus, in Giljum et al. (2007) waren es für einen 36 t LKW 83,7 g/tkm. Da GEMIS keinen Datensatz für Kühltransporter anbietet, nimmt die Autorin an, dass zusätzlich 5 % mehr CO₂ für den Kühlenergieaufwand emittiert wird (Giljum et al. 2007).

Zum Verständnis der Kalkulation für die CO₂-Bilanz dient folgendes Rechenbeispiel für Spanien: transportiert werden 1 kg Tomate auf einer Strecke von 2.268 km

$$107,26 \text{ kg CO}_2 / 1.000 \text{ tkm} \times 2,67 \text{ tkm} \times 1,05 \text{ (Zuschlagsfaktor für Kühlenergie)} =$$

$$\underline{0,30 \text{ kg CO}_2/\text{kg Tomate}}$$

Die Analyse der lokalen Transportwege ins Lager der LGV (Österreich) bzw. zu den Sammelstellen der lokalen Kooperationen (Spanien, Italien) erfolgt anhand des Moduls **LNF-2005-A**. Dieser Datensatz stellt ein Leichtes Nutzfahrzeug (LNFz) mit einem Durchschnitt aller Motorarten (Otto-/Dieselmotor) im Jahr 2005 dar und inkludiert Transporter, Lieferwagen und Kleinbusse bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 t. Die Verbrauchs- und Emissionsfaktoren schließen Kaltstartzuschlag und Verdunstungsemissionen ein und geben einen Durchschnitt aller Straßenkategorien wider. Für die Nahtransporte werden keine Kühlenergiezuschläge kalkuliert. Das LNFz liefert 1,18 kg CO₂/tkm.

3.8 Der Ökologische Fußabdruck - Kalkulation

Die hier durchgeführte Kalkulation des Ökologischen Fußabdrucks besteht grundsätzlich aus zwei Komponenten. Basierend auf folgender Gleichung, müssen zunächst die mit Hilfe von GEMIS ermittelten CO₂-Emissionen in Landfläche transformiert werden. Diesbezüglich kann auch von einem „carbon footprint“ gesprochen werden:

$$\text{Carbon Footprint (gha)} = [(\text{Tonnen Kohlenstoff emittiert} \times (1 - \% \text{ ozeanische Sequestrierung})) / \text{Weltdurchschnitt der Produktion von Kohlenstoff [tC/ha]}] \times \text{Äquivalenzfaktor Wald (1,35, [gha/ha])}$$

(Ewing 2008, pers. Mitteilung)⁴

Im zweiten Schritt, wird die tatsächlich benötigte (verbrauchte) Fläche zur Produktion von 1 kg Tomaten zum ersten addiert:

$$\text{Tatsächlich benötigte Fläche [ha]} \times \text{Erntefaktor (1[-])} \times \text{Äquivalenzfaktor Ackerland (2,21 [gha/ha])}$$

(Wackernagel et al. 2005)

Das Ergebnis, der Ökologische Fußabdruck, vereint die beiden Gleichungen spezifisch für jedes der acht Produktionssysteme pro funktioneller Einheit [1 kg] Tomate.

Die Umrechnung in globale Landflächen

Der Grundgedanke, der hinter der Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks steht, ist die Frage wie viel Fläche Wald benötigt wird, um die mit Hilfe von GEMIS ermittelten Kilogramm CO₂ zu absorbieren. Dementsprechend (siehe obige Gleichung) wird der zu absorbierende Kohlenstoff, der von Ozeanen aufgenommen werden kann, von dem zu assimilierenden Kohlenstoff subtrahiert und durch die jährliche Zuwachsrate der Wälder – rund 1 t pro ha und Jahr – dividiert. Anschließend wird mit dem Äquivalenzfaktor Wald multipliziert, um so die globale Einheit (gha) zu ermitteln. Auf diese Weise erfolgt gleichzeitig eine Gewichtung, nämlich die globale Zuordnung zur Landnutzungs-kategorie Wald. Bei dem Verzicht auf die Multiplikation mit dem Äquivalenzfaktor ergibt sich der lokal spezifische Bedarf an Fläche die notwendig ist, das emittierte CO₂ zu fixieren. Folgender Abschnitt begründet, warum in der vorliegenden Arbeit auf eine Multiplikation mit dem Äquivalenzfaktor verzichtet wird.

⁴ Quelle: IEA (CDIAC for < 1970), IPCC, 2001, and FRA 2000

In der herkömmlichen Methode (Wackernagel et al. 2005) wird die Fläche, die für die Produktion von 1 kg Tomaten nötig ist, mit dem Verhältnis von nationaler zu globaler Produktivität bereinigt (entspricht in obiger Gleichung dem Erntefaktor). Im zweiten Schritt wird mit dem Äquivalenzfaktor multipliziert, um dementsprechend die durchschnittlichen globale Fläche (gha) zu erhalten.

Die durchschnittliche weltweite Produktivität betrug 28 t/ha im Jahr 2005 (FAOSTAT, 2008) und wird als Bezugswert herangezogen. Der Produktivitätsunterschied der Systeme Venlo-Haus und Freiland wird durch die Berücksichtigung der weltweiten Produktivität ausgeschaltet. Tabelle 36 zeigt diese Kalkulation und das Ergebnis als bereinigte Fläche in gha. Das bedeutet, dass die weitere Transformation dieser Fläche in die globale Flächeneinheit (gha) in dieser Arbeit keine Aussagekraft besitzt.

Tabelle 36: Produktivität in der Kalkulation des Ökologischen Fußabdrucks, Methode nach Wackernagel. Q: eigene Berechnungen

System	aktive benötigte Fläche [ha/kg]	Produktivitäts- quotient	Ergebnis bereinigte Fläche [ha]
Substrat Venlo/Glas	2,00E-06	17,86	3,57E-05
Freiland ITA	1,35E-05	2,64	3,57E-05

Diese Problematik wird bereits im Zusammenhang mit dem nationalen Flächenbedarf Österreichs 1926-2000 in Haberl et al. (2001) und Erb (2003) aufgezeigt und diskutiert. Der wesentliche Ausgangspunkt vorliegender Arbeit ist der Vergleich von denkbaren Systemen der Tomatenproduktion und folglich auch die Herausarbeitung von Unterschieden. Daher erscheint der Autorin der ursprüngliche Ansatz (Wackernagel et al. 2005) für die vorliegende Arbeit nicht geeignet, weshalb zur Kalkulation des Ökologischen Fußabdrucks ausschließlich die „reale“, also die tatsächlich benötigte Fläche herangezogen wird und als „actual used area“ bezeichnet werden kann (Haberl et al. 2001; Erb 2003).

Die Transformation des CO₂-Landes (die CO₂-Absorptionsflächen) in globale Hektar würde aufgrund der globalen Auswirkungen des Klimawandels und einer möglichen weltweiten Absorption (nicht auf die Örtlichkeiten einer Landesfläche begrenzt) des Kohlendioxids durchaus Sinn machen. Um das Ergebnis des Ökologischen Fußabdrucks konsistent zu halten wird auch bei der Kalkulation des CO₂-Absorptionslandes auf eine Transformation zu gha verzichtet.

3.9 Flächenbeanspruchung von 1 kg Tomaten

Da der Ökologische Fußabdruck ein Flächenindikator ist, wird in der vorliegenden Arbeit näher auf die Flächenbeanspruchung bei der Produktion von Tomaten eingegangen.

Die Berechnung der Fläche, die zur Produktion von 1 kg Tomaten benötigt wird, rechnet sich zunächst über den Ertrag pro ha. Für die erdelosen österreichischen Produktionssysteme sind das z.B. 2,00E-06 ha (0,02 m²) pro kg Tomaten und Jahr (siehe Tabelle 37). Das ist die durchschnittliche Flächenauslastung pro Jahr.

In den Produktionssystemen mit Bodenkulturen (Plastikgewächshäuser und Freilandanbau) stehen pro Jahr außer der Tomaten auch andere Gemüsesorten (oder Gründüngungen, wie z.B. Winterroggen) auf der gleichen Fläche. Das bedeutet, dass die Fläche von 1 ha doppelt oder dreifach genutzt wird. In der vorliegenden Arbeit wird von „spezifischer jährlicher Nutzung“ gesprochen, die tatsächliche Jahresauslastung eines Hektars Fläche durch die Tomatenkulturen definiert.

Tabelle 37 gibt eine Zusammenfassung der a) durchschnittlichen jährlichen Nutzung und der b) spezifischen jährlichen Nutzung für die acht Produktionssysteme in ha an. Obwohl in erdelosen Produktionssystemen keine Fruchtfolge erfolgt, wird im Belegungsfaktor das leer stehende Gewächshaus im Dezember berücksichtigt (daher 0,92 a).

Tabelle 37: Ertrag in [kg/ha/a] und Flächenbedarf der acht Produktionssysteme nach a) Jahresdurchschnitt [ha/a] und b) spezifischer Nutzung pro Anbauzeit [ha/a]. Q: eigene Berechnungen

<i>Produktionssystem</i>	<i>Ertrag [kg/ha/a]</i>	<i>durchschnittliche Flächennutzung [ha/kg Tomate/a]</i>	<i>spezifische jährliche Flächennutzung [ha/kg Tomate/a]</i>	<i>Belegungs- faktor [a]</i>
AUT Venlo-/Glashaus	500.000	2,00E-06	1,84E-06	0,92
AUT Folie konv.	220.000	4,55E-06	2,64E-06	0,58
AUT Folie bio.	160.000	6,25E-06	3,63E-06	0,58
ESP Folie	130.000	7,69E-06	6,38E-06	0,83
ITA Freiland	74.000	1,35E-05	6,76E-06	0,50
AUT Folie bio.*	200.000	5,00E-06	4,60E-06	
ESP Folie*	180.000	5,56E-06	4,61E-06	

*Angaben in Bqm

In der vorliegenden Arbeit wird die Abschreibung von Gewächshausstrukturen hinsichtlich der Inputs, wie z.B. Stahl oder Glas, als hypothetische Masseflüsse in den Kalkulationen berücksichtigt (siehe Absatz 3.3.2). Daher führten die Überlegungen dazu, die Vor- und Nachkulturen der Tomaten auch in Bezug auf die Flächeninanspruchnahme zu beachten. Am Beispiel Freilandanbau in Apulien soll dies erläutert werden:

Im Freilandanbau stehen Tomatenkulturen 6 Monate pro Jahr am Feld, während im restlichen Jahr z.B. Brokkoli oder Kohl angebaut werden. Für die Tomatenkultur im Freiland ergibt sich demnach eine Flächenbelegung von 0,5 Jahre, d.h. die durchschnittliche Fläche pro ha und Jahr wird mit dem Belegungsfaktor 0,5 multipliziert. Das Ergebnis ist die korrigierte, von einer Tomatenkultur „tatsächlich beanspruchte – ausgelastete Fläche“.

Die Unterschiede in der Flächennutzung der acht Produktionssysteme sind in Tabelle 37 dargestellt. An dieser Stelle fällt auch die Entscheidung, ob nun der durchschnittliche oder der spezifische jährliche Flächenbedarf zur Berechnung des Ökologischen Fußabdrucks herangezogen wird. Die Entscheidung hat grundsätzlich Auswirkungen auf die Größe des Ökologischen Fußabdrucks.

Die Resultate zeigen jedoch, dass die Überlegungen zur Flächennutzung in der vorliegenden Arbeit keine signifikanten Folgen für die Größe des Ökologischen Fußabdrucks aufzeigen (Abbildung 22). Das hat methodische Gründe und lässt sich auf die Zusammensetzung des Ökologischen Fußabdrucks zurückführen (siehe Ergebnisse). Am Beispiel Freilandanbau in Apulien wird das deutlich:

Die Abbildung 22 stellt die zur Erzeugung von 1 kg Tomaten notwendige Fläche in m^2 dem Ökologischen Fußabdruck in gm^2 (globalen m^2) gegenüber. In Bezug auf die Einheiten ist diese Gegenüberstellung hier zulässig, da es sich genau genommen nicht um gm^2 handelt (siehe Absatz 3.8; Tabelle 36). Es ist erkennbar, dass die Freilandtomate pro Jahr die Hälfte eines Hektars tatsächlich belegt (Tabelle 37; Abbildung 22). Dieser Unterschied wird im Ökologischen Fußabdruck nicht deutlich und es scheint vernachlässigbar, welche Flächennutzung die Kalkulationsgrundlage bildet (Abbildung 22).

Ob nun der durchschnittliche oder spezifische Flächenbedarf für die weiteren Berechnungen herangezogen wird, hängt auch von der Betrachtung jedes einzelnen ab und lässt sich nicht definitiv festlegen. Für den Anbau von Tomaten ist es während der Kulturführung belanglos, ob vorher oder nachher Früchte auf der gleichen Fläche kultiviert werden. Zur Produktion von italienischen Freilandtomaten wird immer eine Fläche von $1,35\text{E-}05$ ha ($0,14 \text{ m}^2$) pro kg Tomaten und Jahr notwendig sein (die natürlich abhängig vom Jahresertrag ist). Aus diesem Grund wird der Ökologische Fußabdruck in der vorliegenden Arbeit mit der durchschnittlichen jährlichen Fläche pro kg Tomaten gerechnet.

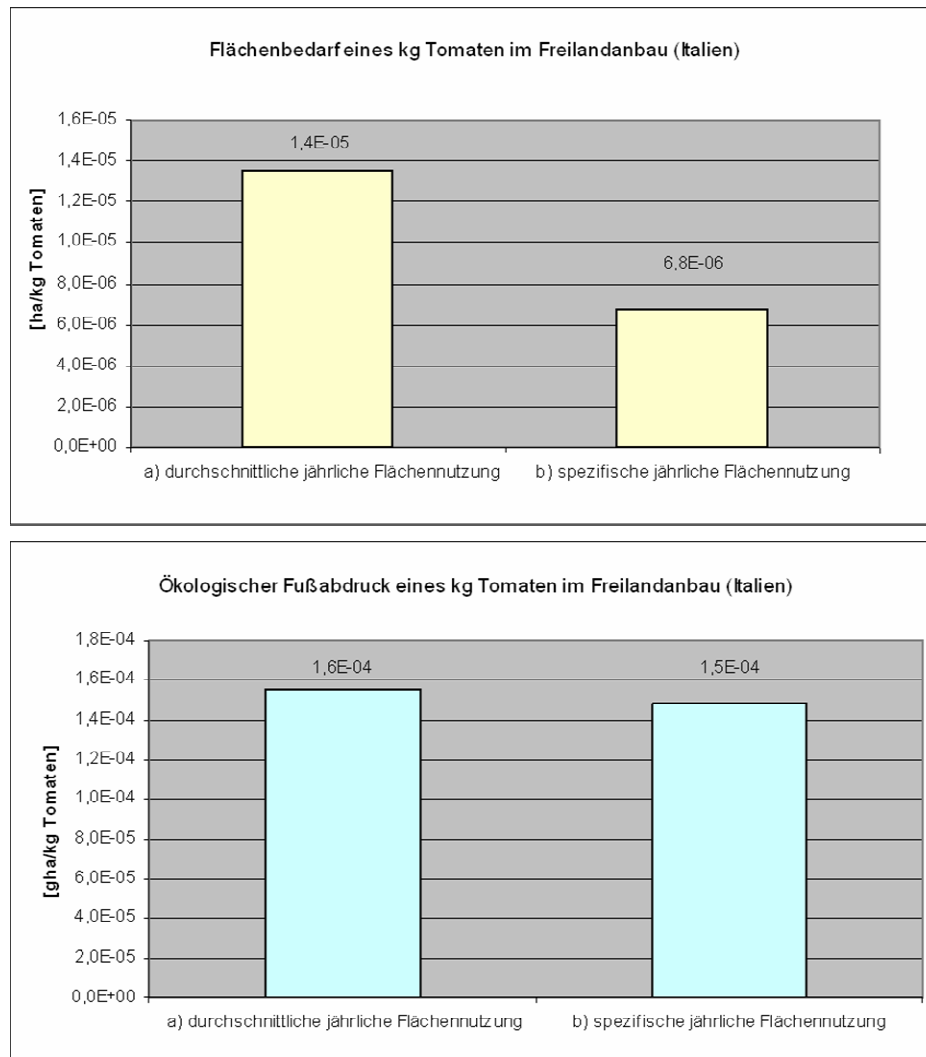


Abbildung 22: Vergleich der Produktionsfläche nach a) durchschnittlicher und b) spezifischer jährlicher Nutzung in ha mit dem Ökologischen Fußabdruck gha anhand von 1 kg Freilandtomaten aus Italien. Q: eigene Berechnungen

4 Ergebnisse / Interpretation

Das Zwischenergebnis der vorliegenden Arbeit ist die Sachbilanz. Wie bereits erwähnt bildet die Sachbilanz auch die Grundlage der Analyse mit der GEMIS Datenbank. Die Sachbilanz ist im Anhang als Tabelle 42 abgebildet. Aus der Sachbilanz werden die Inputparameter in unterschiedlichen Einheiten (z.B. kg, m³, GJ) pro ha Produktionsfläche angeführt. Die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse aus der Analyse mit GEMIS erfolgt in diesem Kapitel in kg CO₂ pro kg Tomate.

Um die Struktur der Ergebnisse zu vereinfachen, werden die Inputparameter der acht Produktionssysteme thematisch in sieben Sparten zusammengefasst:

1. Fläche/Ertrag
2. Agrochemie
3. Gewächshausstruktur
4. Gewächshausmanagement
5. Kulturarbeiten
6. Verarbeitung/Lagerung
7. Transport

Die Aufgliederung der unterschiedlichen CO₂-Emissionen für die einzelnen Themenbereiche wird für alle acht Tomatenproduktionssysteme in Tabelle 40 im Anhang abgebildet. Die CO₂-Bilanzen der acht Produktionssysteme mit den CO₂-Emissionen pro kg Tomaten für jeden einzelnen Inputparameter sind im Anhang in Tabelle 43 dargestellt. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Präsentation der Resultate aus der Kalkulation des Ökologischen Fußabdrucks.

4.1 Fläche/Ertrag

Wie viel Fläche wird zur Produktion von 1 kg Tomaten benötigt?

Eine Zusammenfassung der unterschiedlichen Flächenansprüche von 1 kg Tomaten aus den acht Produktionssystemen ist in Tabelle 37 und Abbildung 24 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Produktivität nicht von der Qualität des Bodens abhängt, sondern vom Technisierungsgrad der Kulturführung. Je höher der Ertrag, desto geringer ist der Flächenbedarf pro ha. Wird der Maximalertrag betrachtet, zeigt sich, dass eine Reduzierung der Inanspruchnahme der Fläche erfolgt (Abbildung 24).

Erdelose Produktionssysteme benötigen zur Erzeugung von 1 kg Tomaten lediglich rund 2,0E-06 ha (0,02 m²) Fläche. Das grüne schwarz umrandete Viereck aus Abbildung 23 repräsentiert die Fläche die zur Erzeugung von 1 kg Tomaten auf Steinwolle benötigt wird. Die genutzte Fläche entspricht etwa 1/3 eines A4-Blattes.

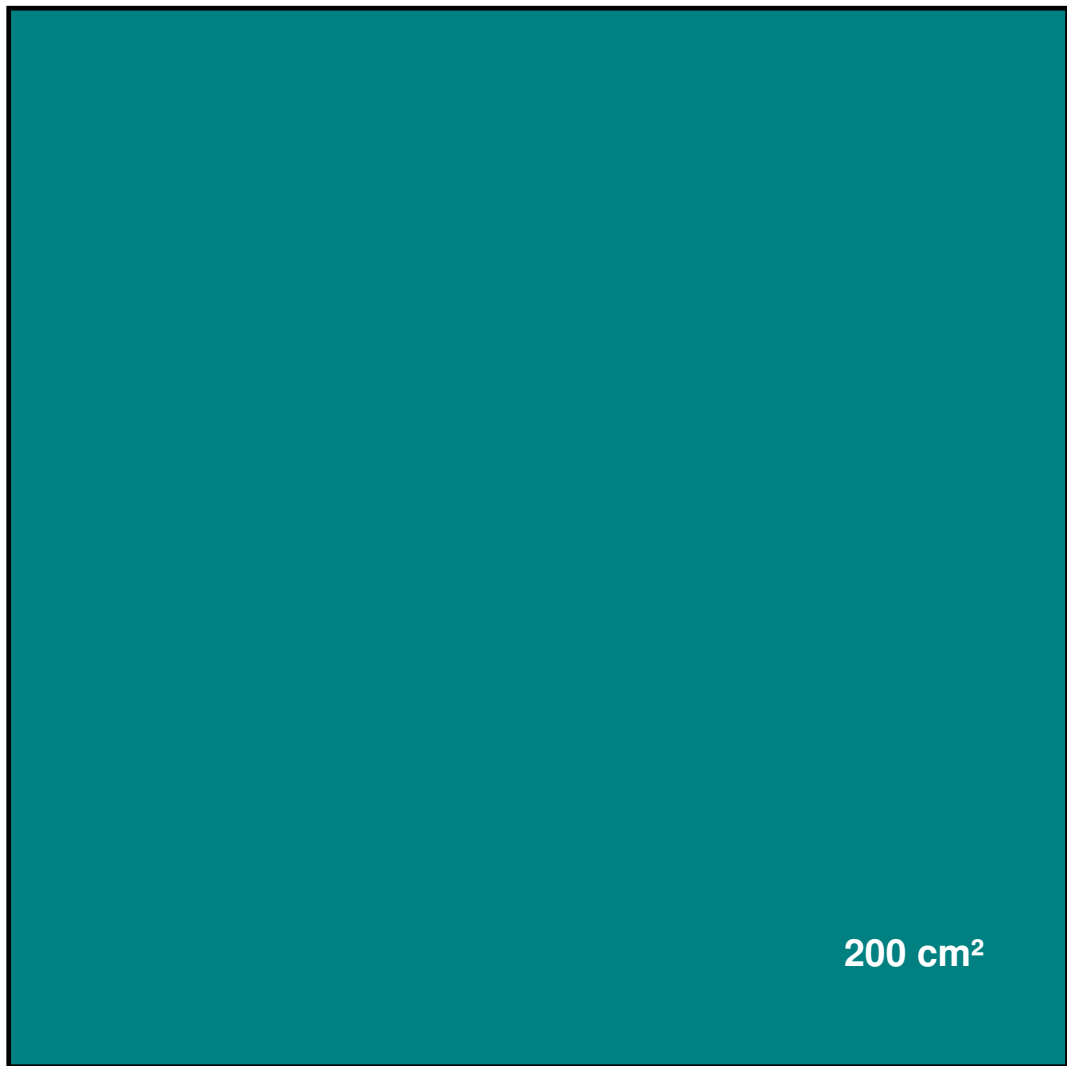


Abbildung 23: Illustration des Flächenbedarfs für 1 kg Tomaten aus erdelosen Produktionssystemen in Österreich. Q: eigene Darstellung

Der Flächenbedarf für 1 kg italienische Tomaten ist mit $7,69\text{E-}06$ ha ($0,07\text{ m}^2$) pro Jahr mit Abstand am größten. Im Vergleich zum erdelosen Produktionssystem wird für 1 kg Freilandtomaten rund 7-mal soviel Fläche benötigt. Auffallend ist, dass die allgemein verbreitete Aussage, biologische Produkte hätten einen höheren Flächenanspruch, hier nur bedingte Gültigkeit besitzt. Das analysierte biologische System arbeitet recht intensiv und hat einen höheren Ertrag und damit einen geringeren Flächenanspruch mit $6,35\text{E-}06$ ha ($0,05\text{ m}^2$) pro kg Tomaten als die Produktionssysteme in Spanien und Italien. Wird der Maximalertrag erreicht, so reduziert sich der jährliche Flächenbedarf auf $5,0\text{E-}06$ ha ($0,05\text{ m}^2$)/kg Tomate bzw. mit Beheizung auf $4,0\text{E-}06$ ha ($0,04\text{ m}^2$) pro kg Tomaten. Dadurch hat das biologische österreichische Produktionssystem im Folientunnel einen geringeren Flächenverbrauch als der konventionelle Anbau in Spanien und das Freilandsystem in Italien (Abbildung 24; Tabelle 37).

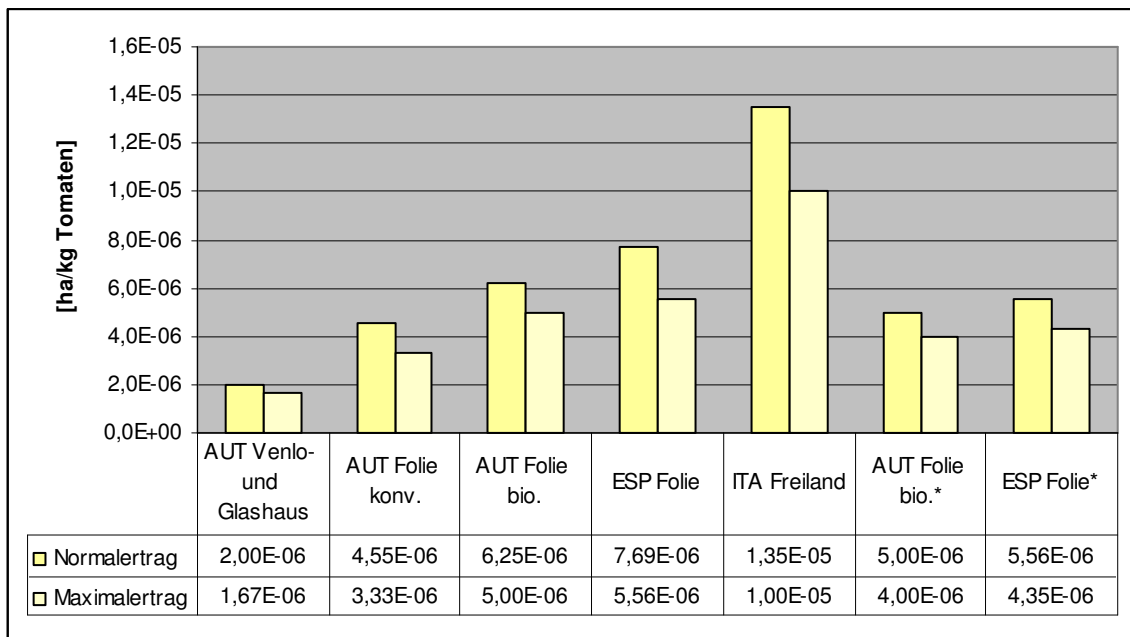


Abbildung 24: Flächenbedarf von 1 kg Tomaten der acht Produktionssysteme, Normal- und Maximalertrag in ha (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen

4.2 Gewächshausstruktur

Die CO₂-Emissionen der Konstruktionskomponenten der untersuchten Gewächshäuser ist in Abbildung 25 dargestellt. Den höchsten Anteil der CO₂-Emissionen pro kg Tomaten hat mit signifikanten 0,007 kg CO₂ (67 g CO₂) pro kg Tomaten die Aluminiumkonstruktion der österreichischen Gewächshäuser. Da die Aluminiumherstellung besonders energieintensiv ist, verwundert dieses Resultat auch nicht.

Auffallend ist in Abbildung 25 auch der niedrige Wert für den Folienaufwand pro kg Tomate im biologischen und konventionellen österreichischen Folientunnel, der 5 g CO₂ pro kg Tomaten nicht übersteigt. Dies lässt sich einerseits damit erklären, dass hier Einfachfolie mit einer Nutzungsdauer von 5 Jahren berücksichtigt wird, andererseits ist der Ertrag pro ha vergleichsweise höher als im spanischen System. Der Plastikaufwand beträgt für die spanischen Produktionssysteme rund 40 g CO₂ pro kg Tomate. Dieser vergleichsweise hohe Wert im spanischen „invernadero“ wird auf die Neubedachung alle 1 bis 2 Jahre und den viel höheren Plastikinput pro ha Grundfläche zurückgeführt (siehe Tabelle 24; Tabelle 40 im Anhang).

Ins Auge stechen die Resultate der Glasherstellung für die modernen Gewächshäuser in Österreich (Abbildung 25). Sie führen zu CO₂-Emissionen von 17 und 23 g CO₂ pro kg Tomate. Eine detaillierte Betrachtung der gesamten Gewächshausstruktur von Venlo-Haus und Glashaus zeigt jedoch keinen Unterschied im gesamten CO₂-Aufwand für die Gewächshausstruktur (0,01 kg CO₂ /kg Tomate in beiden Systemen; siehe Tabelle 40 im Anhang).

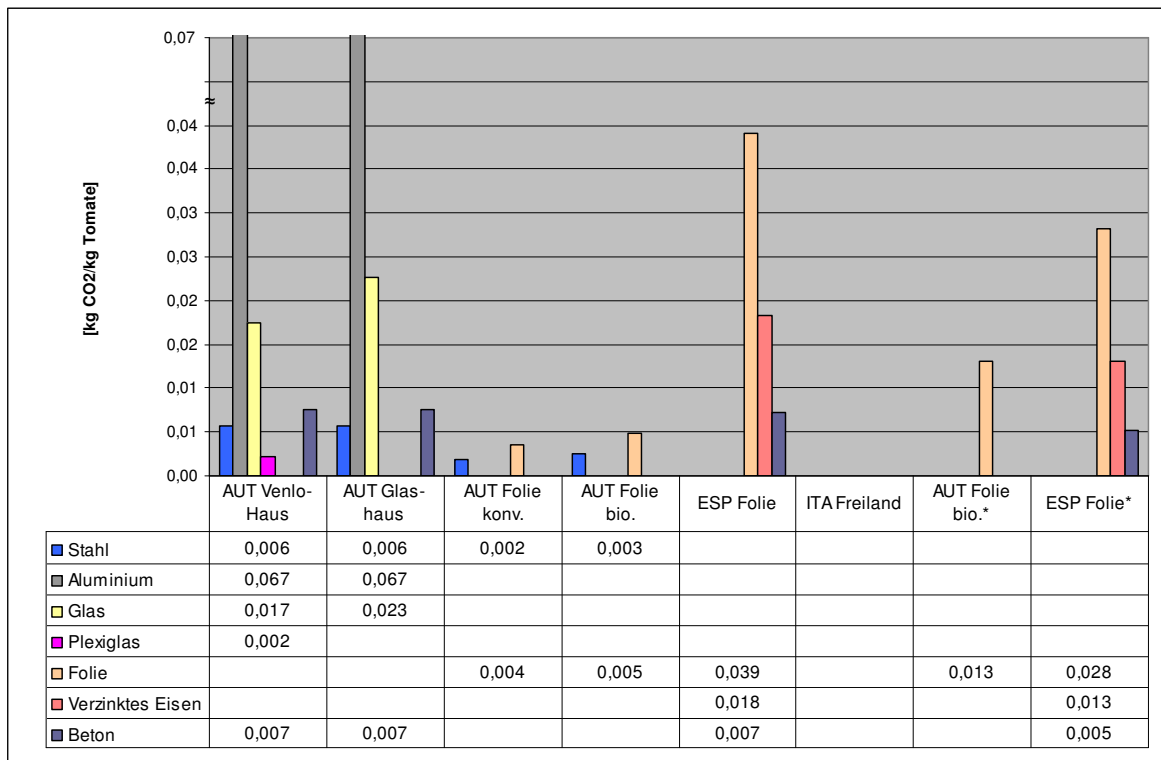


Abbildung 25: CO₂-Emissionen der unterschiedlichen Komponenten der Gewächshausstruktur der acht Produktionssysteme in kg CO₂ pro kg Tomaten (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Im Vergleich zu den restlichen Systemen ist der Wert für verzinktes Eisen und Stahl in den zwei spanischen Produktionssystemen sehr hoch und beruht auf der Tatsache, dass der Ertrag um fast 4-mal niedriger ist als jener des österreichischen Venlo-Haus-Systems. Ein Blick in die Sachbilanz zeigt nämlich, dass der Input für Stahl und verzinktes Eisen pro ha in den zwei spanischen und zwei österreichischen (Venlo- und Glas-Haus) Produktionssystemen annähernd gleich ist (siehe Tabelle 42, im Anhang). Diese ertragsabhängige Kalkulationsmethode erklärt auch, dass in Abbildung 25 der Aufwand für Beton (in dunkel-lila) in diesen vier Gewächshausssystemen beinahe gleich groß ist, obwohl die Sachbilanz einen fast 4-mal so hohen Betoninput in kg pro ha für Venlo- und Glas-Haus verzeichnet.

Das Argument des höheren Ertrages wird auch im Falle einer angenommenen Steigerung des Ertrages bei Beheizung der Kulturen in Almería deutlich. Die Inputparameter Beton und Stahl in kg pro ha (siehe Anhang) bleiben gleich, jedoch sinkt der CO₂-Aufwand pro kg Tomate jeweils um etwa. ein Drittel. Hinsichtlich der biologischen Anbausysteme Österreichs fällt auf, dass eine Verlängerung der Kulturführung zu einer Steigerung der CO₂-Emissionen pro kg Tomaten bei Stahl, von 2 auf 5 g CO₂, und bei Folie, von 4 auf 13 g CO₂, führt - das ist eine 2,5- bis 3-fache Steigerung. Sie begründet sich durch die Adaption des Folientunnels an Beheizung (siehe Methodik, p.47).

4.3 Gewächshausmanagement

Zu Gewächshausmanagement zählen der Aufwand für Steinwolle und Entsalzung von Meerwasser und der Heizenergiebedarf. Einleitend werden die Resultate des Heizenergiebedarfs vorgestellt und diskutiert. Anschließend werden die CO₂-Emissionen der Sparte Gewächshausmanagement zusammengefasst. Am Ende dieses Unterkapitels sind Überlegungen bezüglich des Wasserbedarfs der acht Tomatenkulturen angeführt.

Venlo- und Glas-Haus

Die CO₂-Emissionen pro kg Tomaten für die Heizformen Fernwärme, Erdgas, Ölheizung und Hackschnitzelheizung sind in Abbildung 26 für die Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus dargestellt. Sofort ins Auge sticht der enorme Aufwand für die Ölheizung im Glashaus-System (wenn auch in der Praxis unrentabel). Wird der Heizbedarf mit Öl gedeckt, entstehen mehr als 2 kg CO₂ pro kg Tomate (2.076 g CO₂) und 1 kg Tomaten aus dem Venlo-Haus hat einen CO₂-Aufwand von rund 1,5 kg CO₂.

Weiters ist ersichtlich, dass der CO₂-Heizaufwand eines Venlo-Hauses etwa 30 % niedriger ist, als der eines herkömmlichen Glashauses. Durch die Beheizung mit Fernwärme wird etwas mehr als die Hälfte eingespart und pro kg Tomate werden 0,7-1 kg CO₂ emittiert. Hieraus resultiert, dass rund 1 kg CO₂ bei der Beheizung von 1 kg Tomaten mit Fernwärme entsteht.

Derzeit ist es so, dass nicht alle Gewächshäuser in Wien mit Fernwärme versorgt werden, sondern einige mit Erdgas betrieben werden. Die Ergebnisse in Abbildung 26 zeigen, dass die CO₂-Emissionen einer Erdgasbeheizung um 1–1,4 kg CO₂ pro kg Tomaten liegen. Das ist rund 1,5-mal soviel als die Emissionen, die bei Fernwärmebeheizung entstehen. Würde in Wien aber statt mit Erdgas oder Fernwärme eine Hackschnitzelheizung das Gewächshaus befeuern, läge der CO₂-Ausstoß pro kg Tomate bei 0,16–0,23 kg. Die aktuelle CO₂-Belastung durch Fernwärme könnte demnach um mehr als das 4-fache verringert werden. Im Vergleich zu den Ergebnissen durch Erdgasheizung sogar um das 6-fache. Ein Vergleich zur Ölheizung, die schon allein aus finanziellen Gründen in der Praxis geringe Anwendung findet, zeigt sich eine mögliche Reduzierung der CO₂-Emissionen um den Faktor 9.

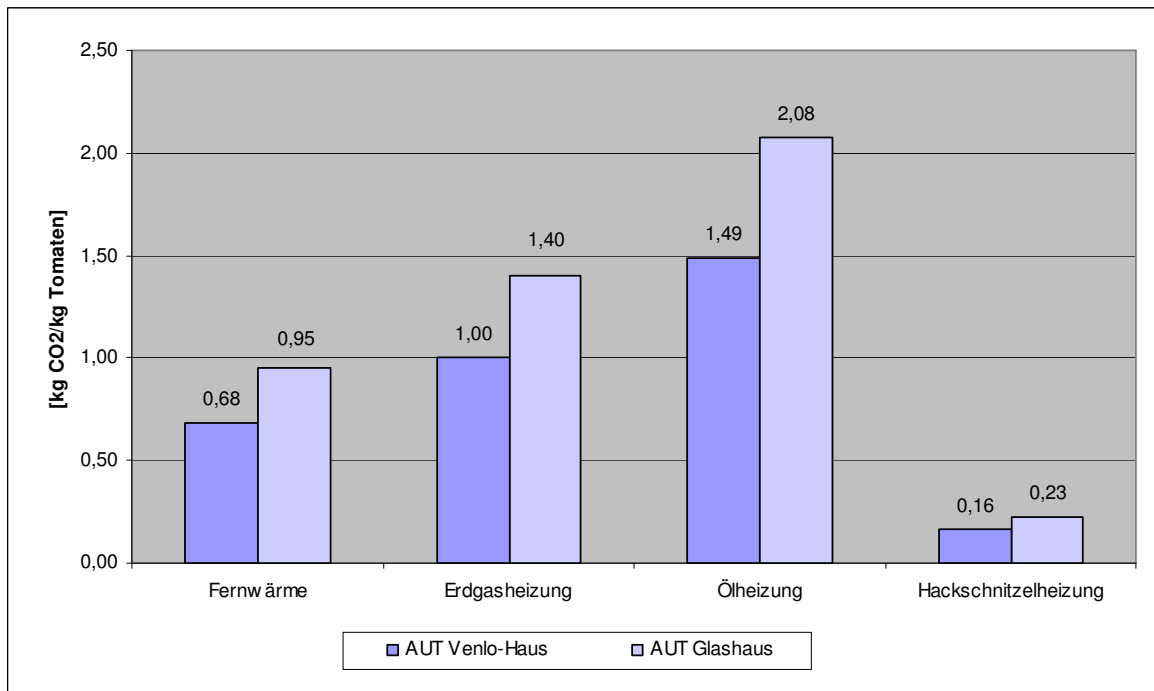


Abbildung 26: CO₂-Emissionen unterschiedlicher Heizformen in den österreichischen Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus in kg CO₂ pro kg Tomaten. Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Folientunnel – biologischer Anbau

Für die Beheizung des biologischen Produktionssystems (hypothetisch) wurden Hackschnitzel, Öl und Erdgas analysiert. Außerdem wurde zwischen Übergangs- und Ganzjahresbeheizung unterschieden (siehe Heizenergiebedarf, p. 44).

Die Bereitstellung von Wärme für die Übergangszeit benötigt mindestens 0,3 kg CO₂ mit Hackschnitzel und maximal 2,7 kg CO₂ mit Öl, sowie 1,8 kg CO₂ pro kg Tomate mit Erdgas. Die Abbildung 27 lässt erkennen, dass die Beheizung in den Übergangsmonaten mit Öl mehr als 9-mal höhere CO₂-Werte pro kg Tomate liefert als mit Hackschnitzeln. Würde der Energiebedarf mit Erdgas gedeckt, wäre das rund ein Drittel weniger als Öl und mehr als 6-mal höher als die Hackschnitzelheizung. Die ganzjährige Beheizung biologischer Tomatenkulturen würde mindestens 0,51 kg CO₂ (Hackschnitzel) und maximal 4,7 kg CO₂ (Öl) pro kg Tomaten liefern. Erdgas läge mit 3,2 kg zwischen den beiden Extremen. Die hier präsentierten Ergebnisse dienen als Vergleich, da die Beheizung mit fossilen Brennstoffen laut Produktions-Richtlinien (BIO AUSTRIA 2006) in den Wintermonaten nicht erlaubt und zudem wirtschaftlich völlig unrentabel ist.

Die derzeitige Marktentwicklung deutet auf die zukünftige Ausdehnung der Kulturdauer für biologische Produkte hin und bedeutet nach vorliegenden Ergebnissen ein gutes halbes kg CO₂ pro kg biologischer Tomate. Entschließt sich der Betriebsleiter zu einer Erweiterung für wenige Wochen in der Übergangszeit, fallen ca. 0,3 kg CO₂ pro kg Bio-Tomaten an (Hackschnitzelheizung).

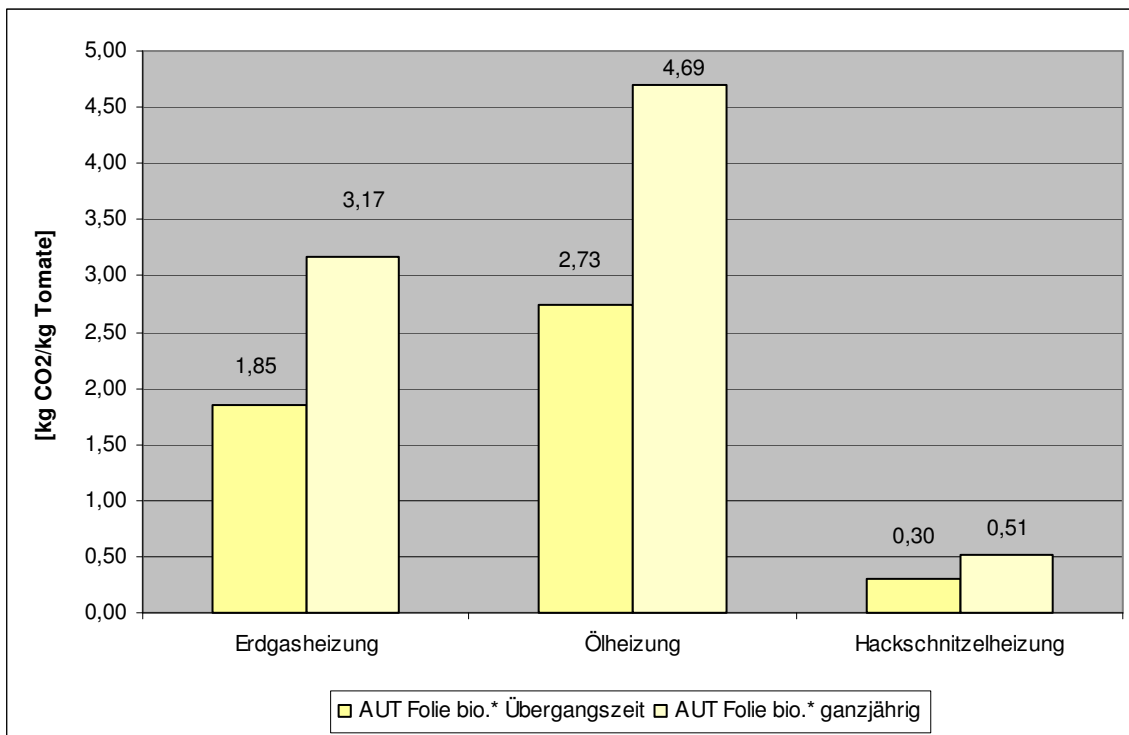


Abbildung 27: CO₂-Emissionen unterschiedlicher Heizformen im biologischen Folientunnel in Österreich in kg CO₂ pro kg Tomaten (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Zusammenfassung Heizenergiebedarf

Die zusammenfassende Darstellung der CO₂-Emissionen aus unterschiedlichen Formen der Beheizung zur Deckung des Wärmebedarfs der Gewächshäuser gibt Abbildung 28. Das hypothetische spanische Produktionssystem ist in Abbildung 28 durch die Beheizung mit Propangasbeheizung dargestellt (in mint-grün).

Ins Auge springt sogleich der gelbe Balken mit 2,73 kg CO₂, die bei der Übergangsheizung des Folientunnels im biologischen Anbau entstehen. Unabhängig davon, ob das in der Praxis der Fall ist, soll in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass selbst die Übergangsbeheizung des Folientunnels mit Öl umwelttechnisch völlig unakzeptabel ist. Der Grund liegt größtenteils in der schlechten Beheizbarkeit des Folientunnels, wie das Resultat der Analyse mit Hackschnitzelheizung zeigt.

Die Gegenüberstellung mit den Produktionssystemen Venlo- und Glas-Haus in Bezug auf eine ganzjährige Hackschnitzelbeheizung zeigt, dass im Folientunnel 2- bis 3-mal mehr CO₂ pro kg Tomate entstehen als in den erdelosen Systemen. Der Wert für die ganzjährige Heizung mit 0,51 kg CO₂ pro kg Tomate ist unter Folie mehr als 3-mal so hoch, als die Beheizung des Venlo-Hauses (0,16 kg CO₂/kg Tomate).

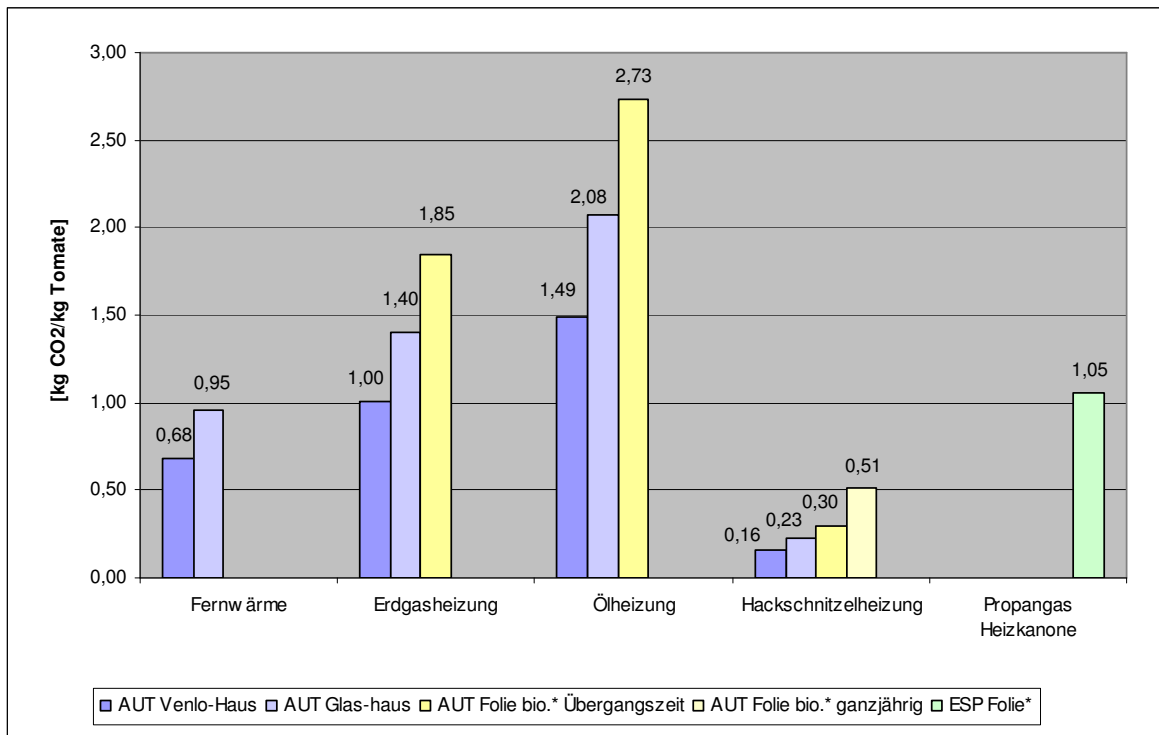


Abbildung 28: Überblick der CO₂-Emissionen unterschiedlicher Heizformen in den beheizten Produktionssystemen in Österreich und Spanien in kg CO₂ pro kg Tomaten (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Falls in Zukunft auch die Kulturen in Almería beheizt werden, muss dafür rund 1 kg CO₂ ausgestoßen werden. Dieser Wert ist vergleichbar mit den Resultaten der österreichischen Produktionssysteme Venlo-Haus (mit Erdgas) und Glas-Haus (mittels Fernwärme).

Zusammenfassung Gewächshausmanagement

Die Aufgliederung des Themenbereichs Gewächshausmanagement mit Steinwollaufwand, Heizbedarf und Aufwände der Entsalzungsanlagen ist in Abbildung 29 dargestellt. Die Darstellung zeigt den geringen CO₂-Aufwand der Steinwolleproduktion für die Substratmatten der erdelosen Systeme. Obwohl die Matten jedes Jahr (manchmal 1-2 Jahre) gewechselt werden, beträgt ihr CO₂-Aufwand bescheidene 0,01 kg CO₂ pro kg Tomaten. Dies lässt sich auf den hohen Ertrag dieser österreichischen Produktionssysteme zurückführen. Die Aufwendungen für die Entsalzung von Meerwasser betragen pro kg Tomaten aus dem beheizten spanischen Gewächshaus 0,06 kg CO₂. Dieses Ergebnis bedeutet, dass bei der Entsalzung von 26 l Wasser rund 60 g CO₂ emittiert werden. Unter der Annahme, dass im aktuellen spanischen Produktionssystem zu 100 % entsalztes Wasser verwendet wird zeigt sich, dass dafür rund 80 g CO₂ pro kg Tomaten anfallen würde – für die Entsalzung von 36 l. Das bedeutet eine Differenz von 10 l Wasser und 0,02 kg CO₂ pro kg Tomaten (siehe unten).

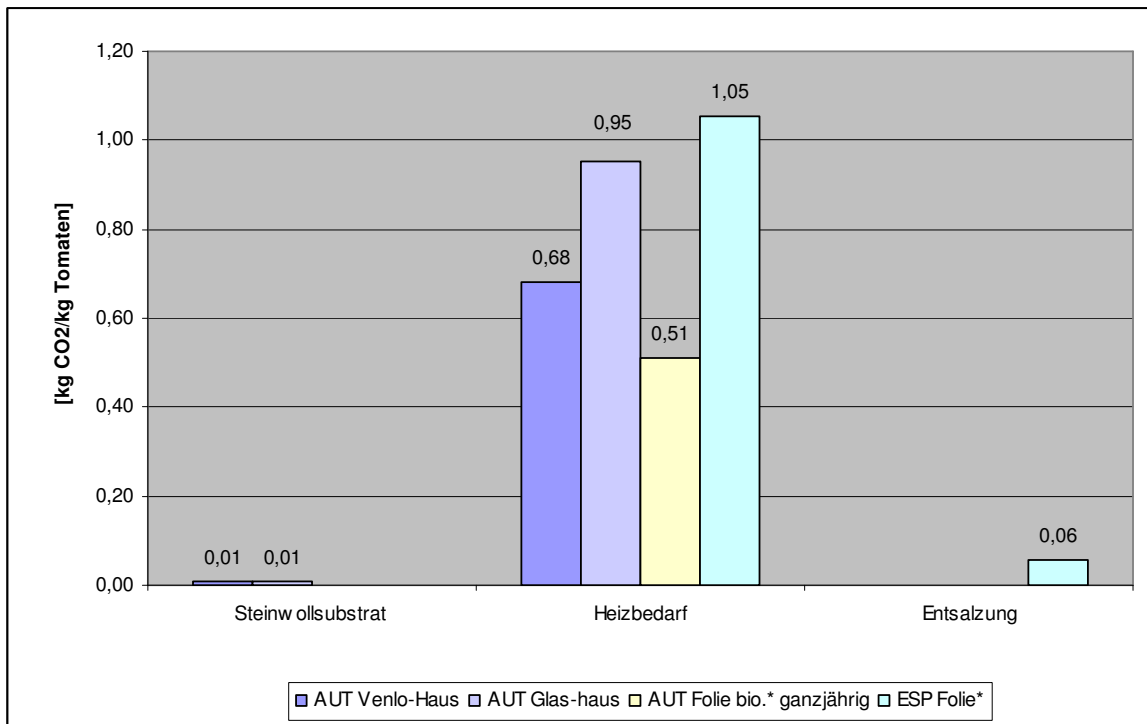


Abbildung 29: CO₂-Emissionen des Gewächshausmanagements der acht Produktionssysteme. Aufwand für Steinwolle, Heizbedarf und Entsalzung in kg CO₂ pro kg Tomaten (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Müsste im italienischen Freilandanbau entsalztes Wasser verwendet werden, so wären das 0,2 kg CO₂ pro kg Tomaten (81 l), im österreichischen Bioanbau (unbeheizt) wären das hypothetische 0,1 kg CO₂ pro kg Produkt (64 l). Der konventionelle Folienanbau liegt bei 34 l und 0,07 kg CO₂ pro kg Tomaten. Dieser Unterschied im Vergleich zum biologischen Anbau in Österreich kann auf unstabile Datenlage zurückgeführt werden. Es ist erkennbar, dass der CO₂-Ausstoß durch die Entsalzung i) vom tatsächlichen Wassereinsatz und ii) von der Kalkulationsgrundlage (Ertrag) abhängig ist. Der CO₂-Aufwand der Entsalzung ist daher mit einigen Unsicherheiten verbunden.

Wasserbedarf

Diese Überlegungen machen deutlich, dass die spezifischen Zahlen des Wasserbedarfs der acht Produktionssysteme ziemlich variieren (siehe Sachbilanz im Anhang). Aus diesem Grund wurde ein Vergleich mit Werten aus der Literatur angestellt.

Der durchschnittliche Wasserverbrauch für 1 kg Tomaten aus Almería beträgt 26,5 l pro kg Tomate und Jahr (im „invernadero“; Caja Rural 1997 in Pérez et al. 2002, p. 273). Freilandtomaten in Israel brauchen 60 l/kg/a (Stanhill 1980). Tomaten aus den niederländischen Glashäusern benötigen 22 l Wasser pro kg bzw. 15 l Wasser pro kg Tomaten und Jahr im rezyklierten Systemen (Heuvelink 2005; p. 237) sowie 40l/kg Tomate im spanischen Folientunnel (Heuvelink 2005; p. 237).

Daraus geht hervor, dass die ermittelten Werte dieser Arbeit sehr wohl im Rahmen bleiben und eine Bandbreite von 19 l/kg/a in erdelosen Kulturen bis 81 l/kg/a in den Freilandkulturen aufweisen. Die Ergebnisse belegen, dass 1 kg Tomaten aus dem Freilandanbau einen höheren Wasserverbrauch hat als die Tomatenkulturen unter Glas und Plasten.

4.4 Agrochemie

Unter Agrochemie sind die Düngemittel Stickstoff, Phosphor, Kalium, sowie Vinasse im biologischen Anbau, die CO₂-Düngung und der Pestizideinsatz zusammengefasst. Abbildung 30 gibt einen Überblick der CO₂-Emissionen der Agrochemie pro kg Tomaten für die einzelnen Inputparameter der acht Produktionssysteme.

Die CO₂-Düngung in modernen high-tech Gewächshäusern hat mit 0,28 kg CO₂ pro kg Tomate mit beträchtlichem Abstand die höchsten Emissionen der analysierten Produktionssysteme. Diese Form der Düngung ist maßgeblich am kumulierten Gesamt-CO₂ pro kg Produkt beteiligt (4.8.3 Endergebnis CO₂).

Der CO₂-Begasung folgt der Aufwand für Pflanzenschutzmittel, mit dem relativ hohen Wert von 0,018 kg CO₂ pro kg Tomate im italienischen Freilandsystem. Hierbei gilt zu beachten, dass es sich um einen einzigen erhobenen Wert handelt (vgl. Abschnitt 3.6.4).

Eine weitere Erklärung hierfür ist der vergleichsweise geringe Ertrag der Freilandproduktion, der die CO₂-Emissionen pro kg Tomate in die Höhe schießen lässt.

Einen für Pestizideinsatz geringen Wert von 5 g CO₂ pro kg Tomaten verzeichnen spanische Tomaten aus Almería. Die diesbezügliche Datenlage ist schon in Absatz 3.5.6 diskutiert worden, weshalb Grund zur Annahme besteht, dass der hier kalkulierte Wert deutlich zu hoch angesetzt ist.

Trotz der schwierigen Datenlage zeigen die Ergebnisse, dass in den österreichischen Systemen Venlo-Haus und Glashaus ein möglicher Pestizideinsatz zu CO₂-Emissionen von nicht einmal 1 g CO₂ pro kg Tomate führt. An dieser Stelle wird angemerkt, dass sich die Betrachtungen der Pflanzenschutzmittel auf die aktive Substanz (Wirkstoff) der Mittel beziehen. Abbildung 30 lässt erkennen, dass bei der Herstellung von Vinasse -als einziger Inputparameter für Agrochemie in den biologischen Produktionssystemen - in der vorliegenden Berechnung rund 5 g CO₂/kg Bio-Tomaten emittiert werden.

In Bezug auf den Stickstoffdüngereinsatz ist in Abbildung 30 der relativ hohe CO₂-Aufwand, mit 0,017 kg CO₂/kg Tomaten für die Bereitstellung von Stickstoffdünger im spanischen Produktionssystem erkennbar. Anhand dieses Resultates kann ein Zusammenhang mit der hohen Nitratbelastung in Almería hergestellt werden und über die Vorleistungsketten der Düngemittelproduktion belegt werden (Jiménez 1996, Jiménez 1997; Pulido-Bosch 2005 in Thompson et al. 2007; Thompson et al. 2002).

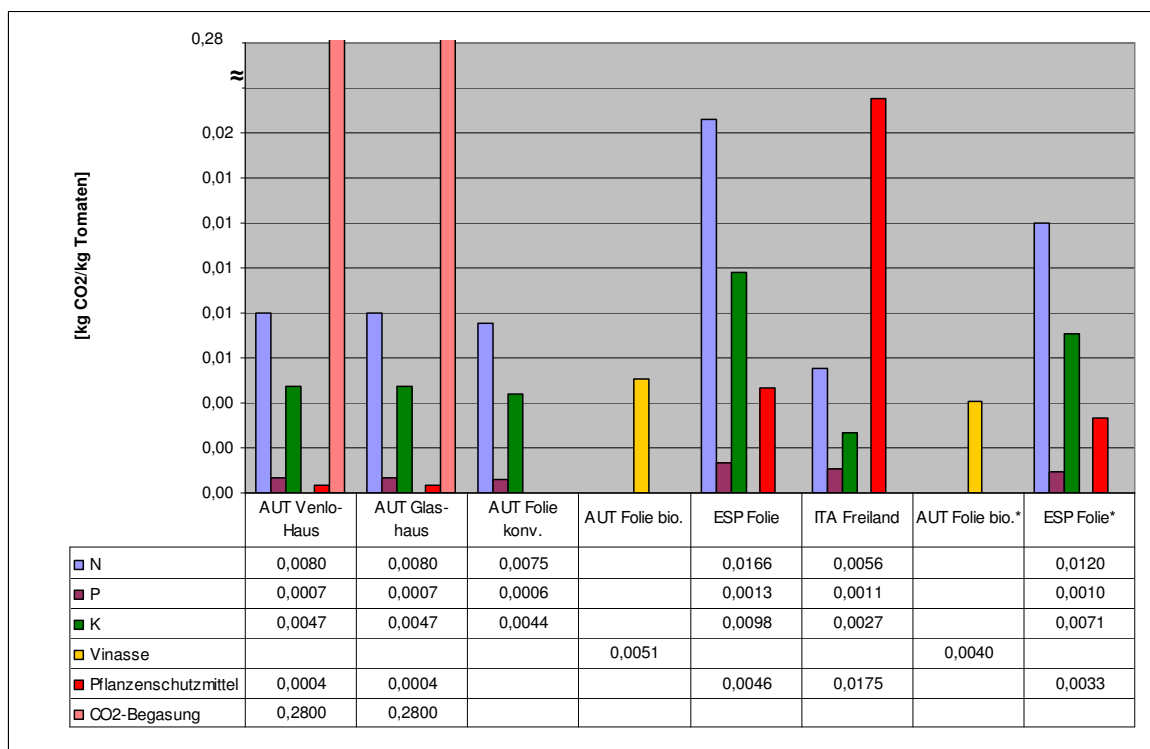


Abbildung 30: CO₂-Emissionen der Agrochemie in den acht Produktionssystemen betreffend Düngemittel-, Pestizideinsatz, CO₂-düngung in kg CO₂ pro kg Tomaten (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Die Resultate lassen erkennen, dass die CO₂-Belastung der österreichischen Venlo- imnd Glashaus Systeme durch die Herstellung von Stickstoff bei 8 g CO₂/kg Tomaten vor Kalium mit 5 g CO₂/kg Tomaten liegt.

4.5 Kulturarbeiten

Unter dem Punkt Kulturarbeiten sind die menschlichen Arbeitskraftstunden und die Maschinenstunden zusammengefasst. Der CO₂-Aufwand für Maschinenstunden pro kg Tomate ist markttransportbereinigt, da die lokale Transportstrecke unter dem Punkt Transport extra berechnet wurde (siehe Absatz 3.3.5).

Der Tabelle 38 ist zu entnehmen, dass die CO₂-Emissionen des Maschinenstundenaufwandes im biologischen Anbau mit 5 g CO₂/kg Tomate am geringsten ist. Es folgen die erdelosen Produktionssysteme mit 8 g CO₂. Das spanische Produktionssystem hat mit 0,024 kg CO₂ pro kg Tomaten den höchsten Wert. Der Freilandanbau in Italien liegt mit 0,011 kg CO₂ pro kg Tomate in der Mitte. Die ertragsabhängige Berechnungsmethode schlägt sich wiederum im beheizten spanischen System, mit einer Reduktion von 50 % nieder. Im biologischen Langzeitanbau werden die Maschinenstunden verdoppelt und folglich steigt der CO₂-Aufwand pro kg Tomate um das doppelte (0,012 kg CO₂/kg Tomate). Die niedrigen Werte für den Aufwand an Maschinenstunden pro Jahr, mit 56 Mh/ha/a im Bioanbau und 59 Mh/ha/a im

Freilandanbau stammt aus persönlichen Mitteilungen, während die restlichen Zahlen anhand diverser Publikationen rekonstruiert wurden. Trotz dieser Unsicherheiten lassen die Ergebnisse auf die Aussage schließen, dass generell mindestens soviel CO₂ pro kg Tomaten für Maschinenstunden emittiert wird, wie beim Transport von 1 kg Tomate mit einem Leichtnutzfahrzeug (LNFz) auf einer Strecke 5 km.

Tabelle 38: Einsatz Arbeitskraftstunden pro ha und in [min/kg Tomaten] und Maschinenstunden pro ha und in [kg CO₂/kg Tomaten] der acht Produktionssysteme (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

<i>Parameter</i>	<i>AUT Venlo- Haus</i>	<i>AUT Glas- haus</i>	<i>AUT Folie konv.</i>	<i>AUT Folie bio.</i>	<i>ESP Folie</i>	<i>ITA Freiland</i>	<i>AUT Folie bio.*</i>	<i>ESP Folie*</i>
Arbeitskraft [Akh/ha]	11.346	11.346	9.756	6.648	3.900	222	12.000	3.900
Akh [min/kg Tomaten]	1	1	3	2	2	0,18	4	1
Traktor[Mh/ha]	310	310	125	56	125	59	112	125
Mh [kg CO ₂ /kg Tomaten]	0,008	0,008	0,008	0,005	0,024	0,011	0,012	0,015

Die vorliegenden Ergebnisse, die in Tabelle 38 dargestellt sind lassen erkennen, dass für 1 kg Tomaten mindestens 20 Sekunden im Freilandanbau und maximal 4 Minuten im biologischen Anbau an Arbeitskraft aufgewendet werden, im Durchschnitt sind das 2 Minuten pro kg Tomate. Aufgrund der mäßigen Datenlage und der angewandten Berechnungsmethode ist eine genaue Differenzierung zwischen den jeweiligen Produktionssystemen nicht aussagekräftig.

Es konnte nicht aussagekräftig eruiert werden, ob der Arbeitskraftaufwand im Bioanbau tatsächlich höher ist als im konventionellen, da z.B. 1 kg konventioneller Tomaten aus dem Folientunnel 1 Minute mehr Arbeitskraft benötigt als das kg biologische Tomaten. Laut Stopper (2008, pers. Mitteilung) ist es wahrscheinlich, dass in biologischen Systemen mehr Arbeitskraft eingesetzt wird, da beim Abräumen der Kulturen die Plastikclips von der Biomasse getrennt werden müssten, bevor die Pflanzen kompostiert werden können. Im konventionellen Anbau sei das anscheinend nicht üblich, da Plastik und Pflanze verfeuert werden. Diesbezüglich würde eine umfangreiche Erhebung helfen, eine präzise Antwort zu finden.

Weiters sollte auch die Bezugsebene beachtet werden, da die ermittelten Arbeitskraftstunden auf Betriebsebene gelten und der Aufwand für etwaige Zwischenlagerungen oder auch die gesamte Verarbeitung der Freilandtomate nicht ins Ergebnis einfließen, jedoch nicht angenommen wird, dass sich die Ergebnisse dadurch grundsätzlich verändert.

4.6 Verarbeitung/Lagerung

Die Überschrift Verarbeitung/Lagerung fasst den Kühlenergieaufwand für die Lagerung frischer Tomaten, sowie den Verarbeitungsaufwand und die Herstellung der Konservendose zusammen. Wie aus der Darstellung in Abbildung 31 erkennbar, werden bei der Kühlung von 1 kg Tomaten 3 g CO₂ emittiert. Die Verarbeitung ist wesentlich energie- und CO₂-intensiver und den Löwenanteil des CO₂-ausstoßes mit 0,42 kg pro kg Tomaten hat die Herstellung der Konservendose. Angemerkt sei, dass es sich um 3 Konservendosen (zu je 75 g) handelt, da aus 1 kg frischer Tomaten drei Dosen gefüllt werden können (siehe Methodik, p. 80). An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass in der Wert für Verarbeitung/Kühlung in Tabelle 40 (im Anhang) mit 0,00 kg CO₂/kg Tomaten aufscheint. Das ist kein Fehler, sondern resultiert aus der Rundung für die Darstellung mit zwei Kommastellen.

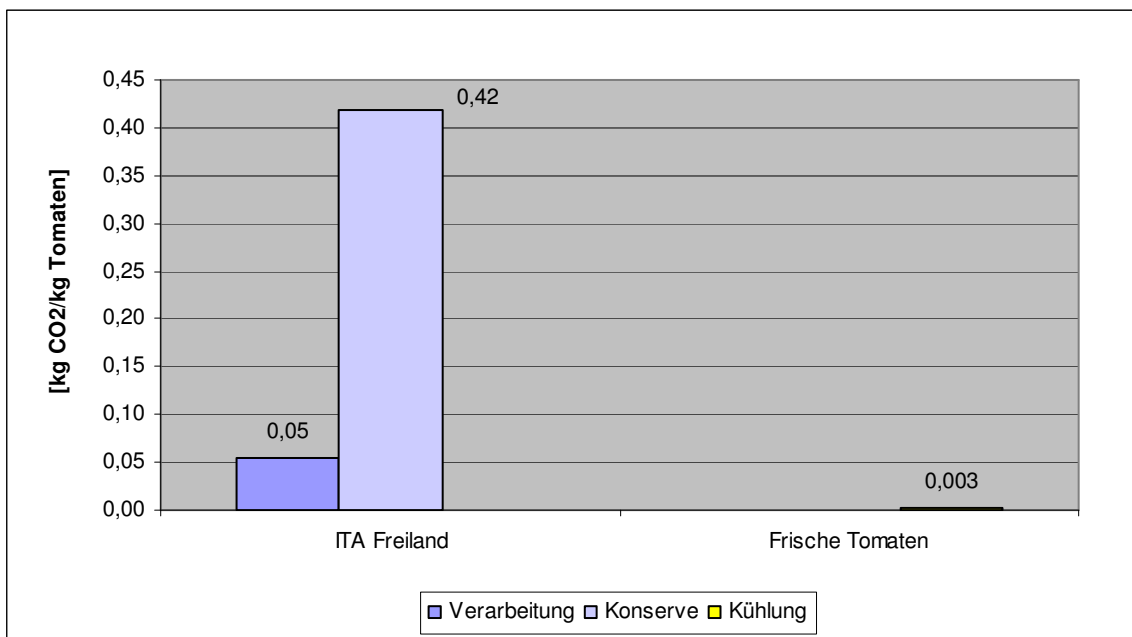


Abbildung 31: CO₂-Emissionen der Verarbeitung/Lagerung frischer Tomaten und verarbeiteter Tomaten in Konservendosen in kg CO₂ pro kg Tomaten. Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Streng genommen befindet sich die Verarbeitung inklusive Konservenherstellung schon außerhalb der Systemgrenze (Betriebsebene). Ziel der vorliegenden Arbeit ist jedoch ein Vergleich zwischen frischen Tomaten und geschälten Tomaten in der Konservendose, weshalb das italienische Produktionssystem die Prozesse zur Verarbeitung und Herstellung der Konserve berücksichtigt.

4.7 Transport

Bei der Betrachtung des Gütertransportes wurde zwischen Nah- und Ferntransport unterschieden. Das Resultat zeigt, wie gering im Grunde der Anteil der CO₂-Emissionen pro kg Tomaten für die Transportleistung ist. Abbildung 32 verdeutlicht, dass für den Transport von 1 kg Tomaten aus dem rund 2.700 km entfernten Almería 0,3 kg CO₂ für den Ferntransport und 0,018 kg CO₂ für den lokalen Transport (15 km Strecke), insgesamt 0,32 kg CO₂ pro kg Tomate anfallen. Geschälte Tomaten in der Dose emittieren auf ihrem Weg von Apulien nach Wien insgesamt 0,2 kg CO₂ pro kg Tomaten (Frischgewicht) auf rund 1.600 km (Nah- und Ferntransport).

Auffallend sind die Ergebnisse der Gegenüberstellung von Nah- und Ferntransport. Werden 1 kg Tomaten vom Burgenland nach Wien transportiert (70 km) sind das bereits 0,08 kg CO₂ pro kg Tomaten. Diese Resultate zeigen, dass der lokale Transport von 1 kg Tomaten (Produkt) generell eine höhere CO₂-Belastung bedeutet, als der Transport über weite Strecken.

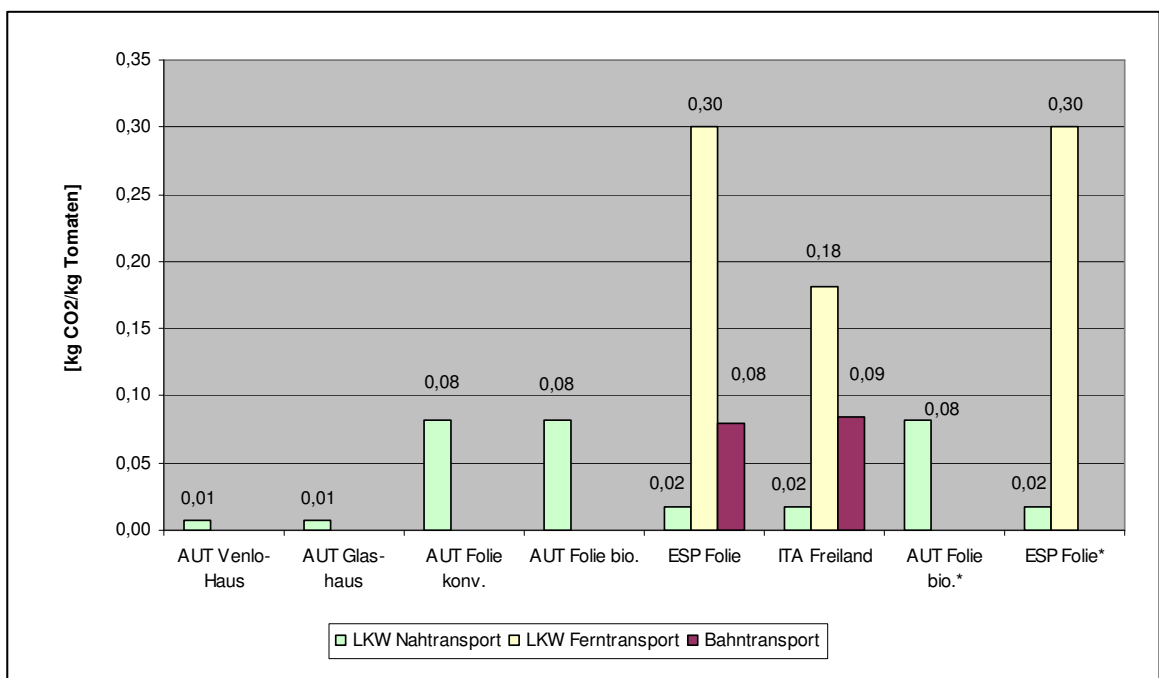


Abbildung 32: CO₂-Emissionen durch Transporte per Lkw und Bahn der acht Produktionssysteme in kg CO₂ pro kg Tomaten, Unterscheidung von Nah- und Ferntransport. (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Würde der Gütertransport vom LKW auf die Schiene verlegt werden, so könnte sich die CO₂-Belastung auf rund 0,08 kg CO₂ pro kg almeriensischer Tomaten, also um gut das 6-fache reduzieren. Diese hypothetische Annahme zeigt damit, dass keine Differenz mehr zum Transport von 1 kg Tomaten aus dem Burgenland nach Wien bestünde. Die Möglichkeiten für die Beförderung von geschälten Tomaten in der Dose per Bahn

existieren (siehe Absatz 3.3.7) und könnten die Emissionen auf 0,09 kg CO₂ pro kg Tomaten (Bahntransport ab Fabrikationsfabrik) reduzieren. Das entspräche folglich 0,03 kg CO₂ pro Dose Tomaten. Das derzeitige Logistiksystem bringt es auf 0,07 kg CO₂ pro Dose geschälter Tomaten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass bereits ein Transport der Konservendose per Bahn ab Fabrikationsfabrik ein CO₂-Reduktionspotenzial um das 2,3-fache besitzt.

4.8 Kumulierte Ergebnisse

4.8.1 Absolute Zusammensetzung der CO₂-Emissionen von 1 kg Tomaten

Die Aufgliederung der Zusammensetzung der CO₂-Emissionen in Absolutwerten [kg CO₂ pro kg Tomate] für die acht Produktionssysteme ist in Abbildung 33 dargestellt.

Ins Auge sticht der petrolfarbene Balken – Heizbedarf, der den größten Anteil am gesamten CO₂ pro kg Tomate aufweist. Da der Anteil des Heizbedarfs der zentrale Posten im Gesamtergebnis der vorliegenden Analyse ist, muss an dieser Stelle kurz erläutert werden, welche Beheizungsform in das hier präsentierte kumulierte Resultat einfließt. Das praktische Vorbild der Produktionssysteme Venlo-Haus und Glashaus sind die Gewächshäuser in Wien, Simmering. Daher wird im kumulierten Ergebnis der CO₂-Aufwand für die Energiebereitstellung durch Fernwärme berücksichtigt. Der Aufwand für die CO₂-Begasung der Kulturen wird zusätzlich addiert und die Adaption der Transportstrecke auf Wien wird vorgenommen. Der Musterbetrieb der biologischen Systeme beheizt seine Folientunnel mit Hackschnitzel und befindet sich im Burgenland. Deshalb wird im hier modellierten hypothetischen Produktionssystem die Beheizung mit Hackschnitzeln kalkuliert.

Weiters lässt Abbildung 33 erkennen, dass der Transport im spanischen Produktionssystem ohne Beheizung mehr als die Hälfte der gesamten CO₂-Emissionen pro kg Tomaten verursacht, während bei einer zusätzlichen Beheizung in den Wintermonaten der Anteil des Transportes am Gesamtaufwand weniger als ein Viertel beträgt. Das italienische Freilandssystem zieht seine CO₂-Emissionen zu zwei Drittel aus der Konservenherstellung bzw. Verarbeitung und etwas weniger als ein Drittel wird für den Transport aufgewandt. In den unbeheizten Folientunneln Österreichs, hat der Nahtransport (Markttransport) den zentralen Anteil am Gesamtergebnis. Würden konventionelle und biologische Tomaten am gleichen Standort produziert werden, so hätte 1 kg Bio-Tomaten um 56-69-mal niedrigere CO₂-Belastung als Tomaten aus dem beheizten Gewächshaus.

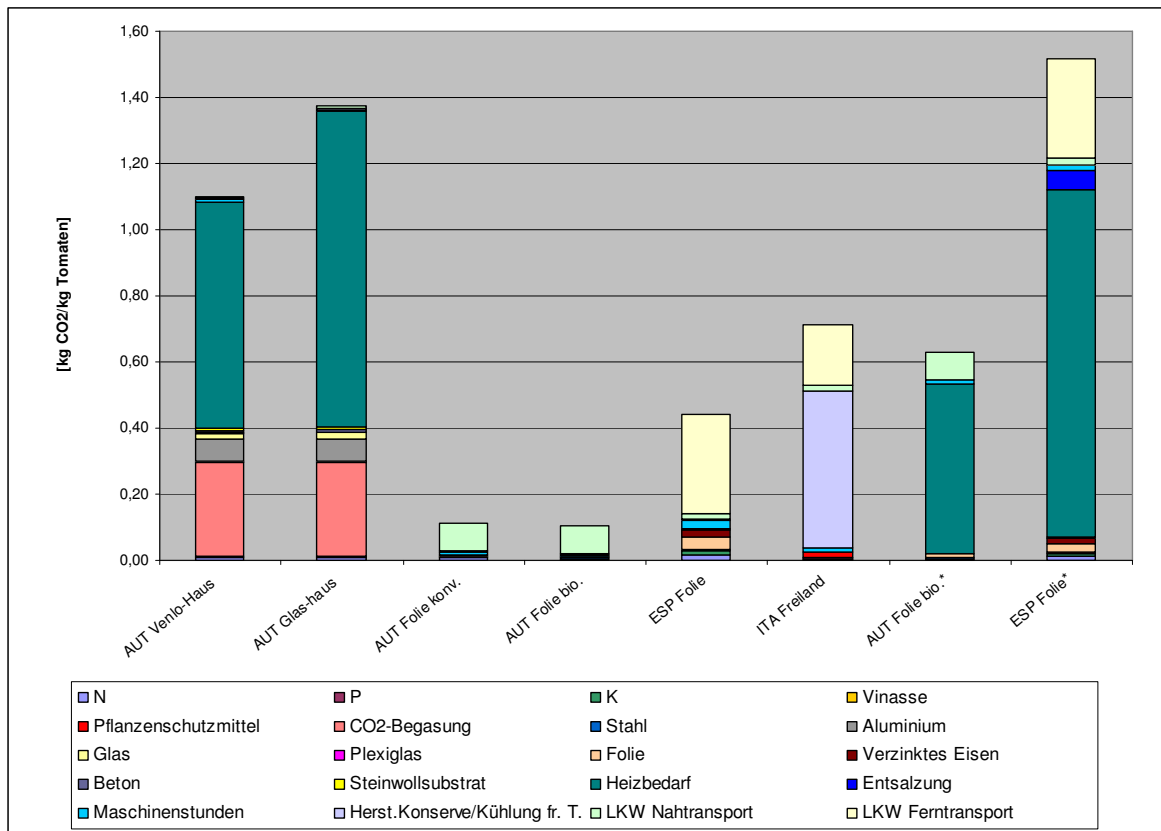


Abbildung 33: Zusammensetzung der CO₂-Emissionen von 1 kg Tomaten der acht Produktionssysteme in Absolutwerten [kg CO₂/kg Tomaten], (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

4.8.2 Prozentuelle Zusammensetzung der CO₂-Emissionen von 1 kg Tomaten

Die anteilmäßige Aufgliederung der CO₂-Emissionen pro kg Tomaten für jedes Produktionssystem in Prozent ist in Abbildung 34 dargestellt.

Abbildung 34 zeigt, dass im österreichischen Venlo-Haus 62 % der gesamten CO₂-Emissionen pro kg Tomaten aus der Beheizung mit Fernwärme stammen. 25 % der CO₂-Emissionen für 1 kg Tomaten aus dem Venlo-Haus wird für die CO₂-Düngung der Kulturen aufgewendet. Der Anteil für Aluminium beträgt 6 % der Gesamtemissionen pro kg Tomaten und die Glasherstellung macht 2 % pro kg Tomaten aus dem erdelosen Anbau im Venlo-Haus aus. Die übrigen 4 % der gesamten CO₂-Aufwände pro kg Tomaten aus dem Produktionssystem Venlo-Haus bestehen aus Stickstoff, Steinwollsubstrat, Maschinenstunden, Beton und LKW-Nahtransport, sowie Stahl, Kalium, Plexiglas, Phosphor, Pflanzenschutzmittel und Kühlungsaufwand (Aufzählung nach Größe der Anteile). Den Löwenanteil der gesamten CO₂ pro kg Tomaten aus dem beheizten österreichischen Glashaussystem hat der Heizenergiebedarf (69 %). Die CO₂-Begasung hat einen Anteil von 25 % am gesamten CO₂-Aufwand von 1 kg Tomaten aus dem Glashaussystem. Der Aufwand für die Gewächshauskonstruktion schlägt sich mit 5 % für

Aluminium und 2 % für die Glasherstellung im Endergebnis für 1 kg Tomaten aus der Substratkultur des Glashauses nieder. Die restlichen 2 % der gesamten CO₂ pro kg Tomaten aus dem Glashaussystem entsprechen Stickstoff, Steinwollsubstrat und Maschinenstunden, Beton und LKW-Nahtransport, Stahlaufwand, Kalium, Phosphor, Pestizide und Kühlung.

Die CO₂-Emissionen für 1 kg Tomaten aus dem unbeheizten konventionellen Folientunnel bestehen zu 74 % aus LKW-Nahtransport, je 7 % Stickstoffaufwand und Maschinenstunden und rund 4 % jeweils für Kaliumeinsatz und Folienbedarf. Die übrigen 4 % der Gesamtemissionen für 1 kg Tomaten aus dem konventionellen Folientunnel setzen sich aus Kühlung, Stahlbereitstellung, sowie Phosphorbedarf zusammen.

Wie aus der graphischen Darstellung in Abbildung 34 erkennbar, besteht das kumulierte Ergebnis für 1 kg Bio-Tomaten aus dem unbeheizten Folientunnel zu 81 % aus LKW-Nahtransport, je rund 5 % aus Vinasse-, Folien- und Maschinenstundenaufwand. Die Kühlenenergie (Lagerung) und die Stahlkonstruktion des Folientunnels tragen je 3 % zum gesamten CO₂-Aufwand pro kg Bio-Tomaten aus den unbeheizten Kulturen bei.

Die Abbildung 34 lässt erkennen, dass die gesamten kg CO₂-Emissionen für 1 kg spanische Tomaten aus Almería zu 68 % aus dem Langstreckentransport und zu 4 % aus den lokalen Transportleistungen bestehen. Weiters gliedern sich die Gesamtemissionen von 1 kg spanischer Tomaten in 9 % Plastik, 5 % Maschinenstunden, je 4 % verzinktes Eisen/Stahl (Gewächshauskonstruktion) und Stickstoffaufwand. Die restlichen 6 % der gesamten CO₂-Emissionen pro kg Tomaten aus Almería stammen aus der Herstellung von Kalium und Beton (je 2 %), Pflanzenschutzmittel (1 %), Kühlung und Phosphor. Mit der Annahme, dass die jetzigen Tomatenkulturen in Almería 100 % ihres Wasserbedarfs aus der Entsalzungsanlage decken, bestünden 15 % der Gesamtemissionen pro kg Tomaten aus dem Aufwand für die Entsalzung (und 60 % Transport).

Der zentrale Wert im Ergebnis für 1 kg geschälte Tomaten in der Dose ist mit rund 67 % der Aufwand für die Herstellung der Konserve bzw. die Verarbeitung der frischen Tomaten (lila Balken in Abbildung 34). In Abbildung 34 ist in hellgelb gut erkennbar, dass der LKW-Ferntransport 25 % zu den gesamten CO₂-Emissionen pro kg italienischer Tomaten beiträgt. Weitere Elemente der gesamten CO₂-Emissionen für 1 kg italienische Tomaten sind mit je 3 % der LKW-Nahtransport und die Produktion von Pflanzenschutzmitteln sowie mit 2 % der Aufwand für Maschinenstunden.

Die wesentlichste Komponente der kumulierten CO₂-Emissionen für 1 kg Tomaten des hypothetischen biologischen Produktionssystems ist mit 81 % der Heizbedarf (mit ganzjähriger Hackschnitzelbeheizung).

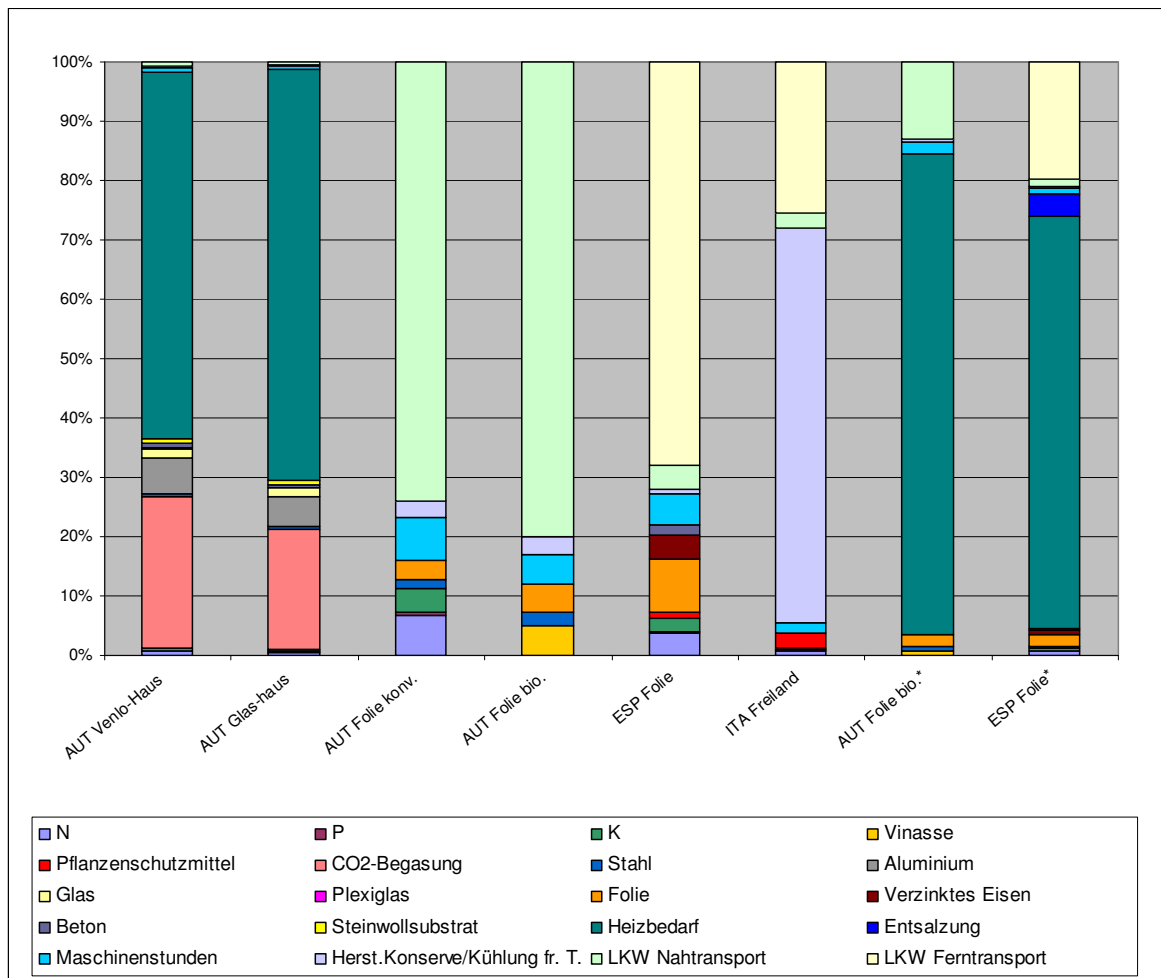


Abbildung 34: Prozentuelle Zusammensetzung der CO₂-Emissionen von 1 kg Tomaten der acht Produktionssysteme (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q. eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Wie in Abbildung 34 erkennbar, besteht der gesamte CO₂-Aufwand für 1 kg biologischer Tomaten aus dem beheizten Folientunnel aus 13 % LKW Nahtransport, aus jeweils 2 % Folie und Maschinenstunden, sowie mit 2 % aus Stahlaufwand, Vinasseerzeugung und Kühlenergie. Abbildung 34 zeigt, dass der zentrale Wert für 1 kg Tomaten aus dem beheizten Foliengewächshaus in Almería mit 69 % der Heizaufwand ist. Die Ergebnisse machen deutlich, dass die CO₂-Emissionen aus dem Ferntransport für Tomaten aus Almería 20 % des kumulierten Resultats betragen. Die gesamten CO₂ pro kg beheizter spanischer Tomaten gliedern sich weiter in 4 % für die Entsalzung des benötigten Wassers, 2 % für die Produktion der Gewächshausfolien, sowie mit 4 % aus dem Aufwand für Maschinenstunden, verzinktem Eisen und Stickstoff.

4.8.3 CO₂-Emissionen von 1 kg Tomaten in einem Wiener Supermarkt

Die kumulierten CO₂-Emissionen der acht untersuchten Produktionssysteme sind in Abbildung 35 dargestellt. Werden die hypothetischen Produktionssysteme (markiert mit *

und **) erstmal außer Acht gelassen, zeigt sich, dass Tomaten aus österreichischen Venlo- und Glashäusern die höchste CO₂-Belastung aufweisen. Tomaten aus den beheizten Wiener Gewächshäusern haben eine CO₂-Belastung von 1,1 kg CO₂/kg Tomaten aus dem Venlo-Haus und 1,4 kg CO₂ pro kg Tomaten aus dem Glashaus (Abbildung 35). Im Vergleich zu spanischen Tomaten, die rund 2.700 km von Almería nach Österreich transportiert werden, ist die österreichische Produktion um 2,5- bis 3-mal CO₂-intensiver. 1 kg spanische Tomaten aus dem Wiener Supermarkt hat eine CO₂-Belastung von 0,4 kg CO₂ pro kg Tomate (Abbildung 35). In Bezug auf italienische Tomaten in der Dose, sind die CO₂-Emissionen der österreichischen Tomaten aus den Venlo- bzw. Glashaus um 1,6- bis 1,9-mal höher. Italienische Freilandtomaten als geschälte Tomaten in der Dose (3 Stk. Konservendosen) haben zum Zeitpunkt des Kaufes im Wiener Supermarkt eine CO₂-Belastung von 0,7 kg CO₂ pro kg Tomaten. Eine Gegenüberstellung der Produktionssysteme innerhalb Österreichs zeigt, dass biologisch produzierte Tomaten aus dem Folientunnel mit 0,1 kg CO₂ pro kg Tomate, die geringste CO₂-Belastung aufweisen (Abbildung 35). Das ist rund 11- bis 14-mal weniger als die Glashaustomate. Auch die konventionell produzierte Tomate aus dem Folientunnel weist eine 10- bis 12-mal geringere CO₂-Belastung auf. Ein Unterschied zwischen konventionellen Tomaten und biologischen Tomaten aus dem Folientunnel ist nach den Resultaten der vorliegenden Arbeit nicht fest zu stellen (Abbildung 35). Die Resultate aus dem Vergleich spanischer und italienischer Tomaten zeigen, dass in einem Wiener Supermarkt drei Dosen geschälter italienischer Tomaten rund 1,6-mal höhere CO₂-Emissionen aufweisen, als 1 kg frische Tomaten aus Almería. Bei der Betrachtung der hypothetischen beheizten Systeme in Abbildung 35 - mit *) gekennzeichnet - für Österreich und Spanien ist erkennbar, dass eine Beheizung des Folientunnels in Österreich eine Steigerung der CO₂-Emissionen um den Faktor 6 zur Folge hat. Die CO₂-Emissionen würden auf 0,6 kg CO₂ pro kg biologischer Tomaten aus dem Folientunnel ansteigen. Die Beheizung mit Propangaskonvektoren in den Wintermonaten in Almería ist sowohl ökologisch als auch ökonomisch unrentabel. Die Ergebnisse zeigen, dass trotz einer Ertragssteigerung eine Steigerung der CO₂-Emissionen um mehr als das 3-fache erfolgt. Damit würde 1 kg Tomaten aus dem hypothetischen spanischen Produktionssystem die CO₂-Emissionen von 1 kg einheimischer Tomaten aus dem beheizten Glashaus um 8 % übersteigen. An dieser Stelle wird auch Bezug auf den möglichen Bahntransport der ausländischen Tomaten genommen – mit **) gekennzeichnet. Es wurde bereits in Absatz 4.7 erwähnt, dass ein signifikantes CO₂-Reduktionspotenzial durch die Verlagerung der LKW-Transporte auf die Schiene gegeben ist. Würden die spanischen Tomaten per Bahn nach Wien transportiert werden, so würden sich die CO₂-Emissionen auf 0,2 kg CO₂ pro kg Tomate reduzieren (-50 %).

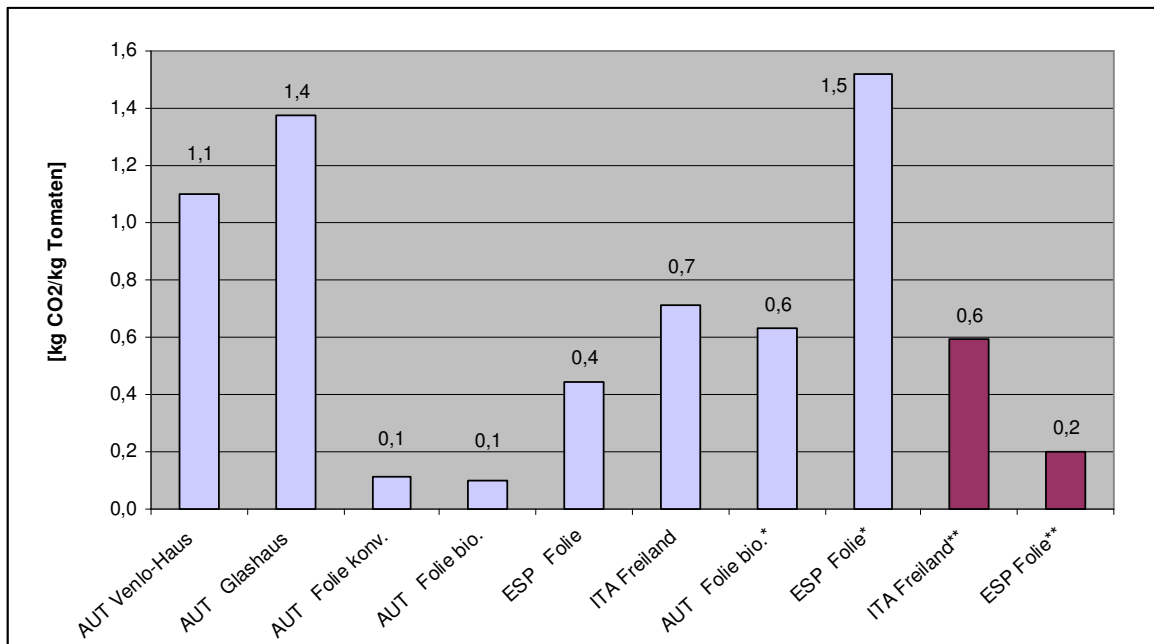


Abbildung 35: CO₂-Emissionen von 1 kg Tomaten acht unterschiedlicher Produktionssysteme in einem Wiener Supermarkt und mögliche CO₂-Reduktionspotenziale durch Bahntransport in kg CO₂ pro kg Tomaten (* markiert die hypothetischen beheizten Produktionssysteme; **hypothetischer Bahntransport). Q: eigene Berechnungen mit GEMIS Österreich 4.4

Da die Beförderung frischer Tomaten aufgrund ihrer Verderblichkeit problematisch ist, wird davon ausgegangen, dass dieses Ergebnis derzeit nicht realisiert werden kann (siehe Absatz 3.3.7). Anders jedoch im Hinblick auf italienische Tomaten in der Dose: das Resultat in Abbildung 35 berücksichtigt den LKW-Transport frischer Tomaten zur Verarbeitungsfabrik nach Kampanien und ab dort den Bahntransport der Tomatenkonserven nach Wien. Die Resultate dieser Arbeit zeigen, dass ein Einsparungspotenzial von 16 % (auf 0,6 kg CO₂/kg Tomaten) bereits durch den Bahntransport ab Verarbeitungsfabrik realistisch ist (siehe Absatz 3.3.7).

4.9 Der Ökologische Fußabdruck

Das Endergebnis der Kalkulation des Ökologischen Fußabdrucks für jedes der acht Produktionssysteme ist in Abbildung 36 in gha pro kg Tomate dargestellt. Aus Konsistenzgründen wird die Einheit gha pro kg Tomaten verwendet. In Tabelle 39 gibt es zur besseren Vorstellung zusätzlich die Angabe der Ergebnisse in gm²/kg Tomaten.

Der Ökologische Fußabdruck für österreichischen Tomaten aus dem beheizten Venlo- bzw. Glashaus ist mit rund 2,0E-04 gha und 2,8E-04 gha pro kg Tomaten 2- und 3-mal größer als jener für spanische Tomaten aus Almería mit 9,6E-05 gha. In Bezug auf 1 kg verarbeitete italienische Tomaten aus Apulien (3 Stk. Konservendosen) mit 1,6E-04 gha ist der Ökologische Fußabdruck der österreichischen Tomaten aus dem Venlo- und Glashaus etwa 1- und 2-mal so groß.

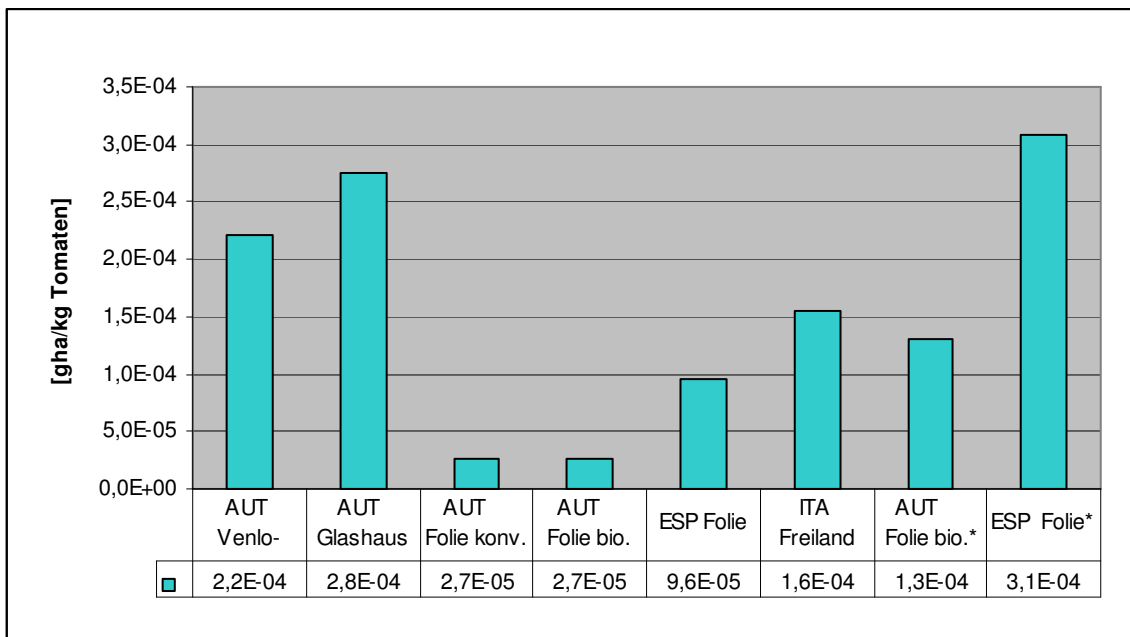


Abbildung 36: Der Ökologische Fußabdruck der acht Produktionssysteme in globalen ha/kg Tomate (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme) Q: eigene Berechnungen

Der Ökologische Fußabdruck von 1 kg konventioneller und 1 kg biologischer Tomaten aus dem Folientunnel ist gleich groß und beträgt $2,7E-05$ gha pro kg Tomaten. Die Glashaustomate aus Österreich hat einen 8–10-mal größeren Ökologischen Fußabdruck als die konventionelle und die biologische Tomate aus dem unbeheizten Folientunnel.

Das Ergebnis für 1 kg spanische Tomaten ist $9,6E-05$ gha und hat bezogen auf das einheimische biologische kg Tomaten einen 3-mal höheren Ökologischen Fußabdruck. 1 kg italienische Tomaten haben einen rund 6-mal so großen Ökologischen Fußabdruck als 1 kg österreichische Bio-Tomaten bzw. 1 kg konventionelle Tomaten aus dem unbeheizten Folientunnel.

Die Ausdehnung der Kulturdauer bei Biogemüse auf das ganze Jahr würde eine Steigerung des Ökologischen Fußabdrucks um den Faktor 4, von $2,7E-05$ gha auf $1,3E-04$ gha pro kg Tomaten zur Folge haben. Die biologische Tomate wäre trotzdem 2-mal weniger CO_2 -intensiv als die Tomate aus dem Venlo- oder Glas-Haus in Österreich. Die beheizte almeriensische Tomate hätte im Wiener Supermarktregal mit $3,1E-04$ gha einen 10–30 % größeren Ökologischen Fußabdruck pro kg als die österreichische Tomate aus dem beheizten Gewächshaus.

Der Ökologische Fußabdruck biologischer Produkte kann oftmals erheblich größer sein, da aufgrund diverser Kulturführungsmaßnahmen (Verzicht auf Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel) die Produktivität biologischer Flächen drastisch herabgesetzt ist. In der vorliegenden Arbeit können methodische Ursachen diese Problematik verhindern.

Tabelle 39: Der Ökologische Fußabdruck der acht Produktionssysteme in gha und gm² (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen

<i>Produktionssystem</i>	<i>Ökologischer Fußabdruck [gha/kg Tomaten]</i>	<i>Ökologischer Fußabdruck [gm²/kg Tomaten]</i>
AUT Venlo-Haus	2,2E-04	2,2
AUT Glashaus	2,8E-04	2,8
AUT Folie konv.	2,7E-05	0,3
AUT Folie bio.	2,7E-05	0,3
ESP Folie	9,6E-05	1,0
ITA Freiland	1,6E-04	1,6
AUT Folie bio.*	1,3E-04	1,3
ESP Folie*	3,1E-04	3,1

Zusammensetzung des Ökologischen Fußabdrucks für 1 kg Tomaten

Erwähnt werden soll an dieser Stelle auch die Zusammensetzung des Ökologischen Fußabdrucks. Die Berechnungen zeigen, dass die Flächen zur Absorption der CO₂-Emissionen durchschnittlich 92 % des gesamten Ökologischen Fußabdrucks pro kg Tomate betragen. Die niedrigsten Anteile der CO₂-Absorptionsflächen haben die österreichischen Produktionssysteme im unbeheizten Folientunnel zu verzeichnen. Im unbeheizten biologischen Produktionssystem werden 77 % des Ökologischen Fußabdrucks pro kg Tomate zur Absorption von Kohlendioxid benötigt. Im erdelosen Venlo-Haus wird 99 % der Fläche für die Absorption des Kohlendioxids aufgewendet und 1 % stellt den tatsächlichen Flächenverbrauch für 1 kg Tomaten dar.

Diese CO₂-lastige Zusammensetzung des Ökologischen Fußabdrucks ist auch der Grund, dass die Art der Nutzung eines Hektars Fläche keinen signifikanten Einfluss auf das Endergebnis des Ökologischen Fußabdrucks aufzeigt (siehe Absatz 3.9). Gemeint ist damit, dass es unmaßgeblich ist, ob die durchschnittliche jährliche oder die spezifische jährliche Flächenauslastung eines Hektars Fläche durch 1 kg Tomaten in den Kalkulationen berücksichtigt wird (Absatz 3.9).

5 Schlussbetrachtung

Ziel dieser Arbeit war es, die ökologischen Auswirkungen vorgelagerter Fertigungsketten von Tomaten aus mehreren Ländern zu vergleichen und diese zum Zeitpunkt des Kaufes in einem Wiener Supermarkt zu bewerten (am „point of sale“). Dazu wurden verschiedene Produktionssysteme in Österreich, Italien und Spanien analysiert sowie einander gegenübergestellt und deren Differenzen herausgearbeitet.

Wie erwartet, ist die Tomatenproduktion im beheizten Gewächshaus ein intensives System, das durch große Inputs einen riesigen Output produziert, was sich in den Ergebnissen niederschlägt und andere Studien bestätigt (vgl. Wada 1993; Stanhill 1980; Williams et al. 2006; Roy et al. 2008).

Die Schlussbetrachtung sollte vor dem Hintergrund gelesen werden, dass in der vorliegenden Arbeit ausschließlich CO₂ und der Ökologische Fußabdruck als Umweltindikatoren berechnet wurden. Andere ökologische Auswirkungen auf z.B. menschliche Gesundheit, Biodiversität oder die Eutrophierung von Gewässern bleiben in den Ergebnissen unberücksichtigt.

5.1 Welche Faktoren bestimmen die Emissionsbilanz?

Freilandanbau / Verpackung

Vor dem Hintergrund, dass in dieser Arbeit ausschließlich Kohlendioxid als Einflussgröße betrachtet wurde, überrascht es, dass die erdelosen Systeme Österreichs lediglich etwa 2-mal intensiver arbeiten als das italienische Freilandsystem, während andere Publikationen von 14–21-facher Differenz sprechen (Wada 1993; siehe auch Stanhill 1980; Lagerberg and Brown 1999). Dies lässt sich zu einem beträchtlichen Anteil auf die Weiterverarbeitung zu geschälten Tomaten in der Dose (aus Weißblech) und den Transportweg zurückführen, abzüglich derer die österreichischen Systeme 20–24-mal höhere CO₂-Emissionen pro kg Tomate aufweisen würden. Insbesondere die Art und Weise der Verpackung und Verarbeitung frischer Tomaten beeinflussen die Auswirkungen auf die Umwelt maßgeblich (Andersson et al. 1998; Roy et al. 2008).

Transportwege

Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten zeigen, dass der Transport bei Gewächshausgemüse weniger ins Gewicht fällt und ein kg Tomaten aus Spanien, trotz eines 2.700 km langen LKW-Transports, rund 3 mal weniger CO₂-Emissionen aufweisen, als 1 kg Tomaten aus dem österreichischen Glashaus (siehe unten Heizbedarf). Die Ergebnisse zeigen weiter, dass die CO₂-Belastung durch den lokalen Transport

verhältnismäßig größer ist und im unbeheizten biologischen Folientunnel für 80 % der CO₂-Emissionen pro kg Tomaten verantwortlich ist.

Weiters konnte gezeigt werden, dass die Verlegung des Transportes der geschälten Tomaten in der Dose auf die Schiene (ab Verarbeitungsfabrik), ein Einsparungspotenzial von rund 15 % besitzt (siehe Absatz 4.7, Seite 101).

Da öffentliche Diskurse immer wieder um dieses Thema kreisen⁵, müssten politische Wege gefunden und finanzielle Anreize geschaffen werden, um diese Option zur Reduzierung von Treibhausgasen zu nutzen. Die Arbeit zeigt außerdem, dass die Infrastruktur hierfür bereits vorhanden ist (siehe Absatz 3.3.7).

Biologische vs. konventionelle / regionale vs. importierte Produkte

Diese Arbeit verdeutlicht, dass in den Produktionssystemen nicht die Qualität des Bodens der ausschlaggebende Faktor für die hohe Produktivität ist, sondern eindeutig der Technisierungsgrad der Kulturen. Die Ergebnisse zeigen, dass die österreichische Bio-Tomate aus dem kalten Folientunnel 11–14-mal weniger CO₂ belastet ist, als ihr konventionelles Pendant aus dem beheizten Glashaus. Außerdem konnte belegt werden, dass im unbeheizten österreichischen Folientunnel kein signifikanter Unterschied in den CO₂-Emissionen zwischen einer konventionellen und einer biologischen Tomate besteht. Die Ergebnisse legen explizit dar, dass nicht jedes regionale Produkt umwelt- bzw. klimafreundlicher ist, als das vergleichbare Produkt aus dem Ausland.

Die vorliegenden Resultate leisten einen Beitrag zu aktuellen umweltpolitischen Debatten rund um das Thema Klimaschutz und stehen im unverkennbaren Gegensatz zu derzeitiger Öffentlichkeitsarbeit, die auf eine Bewerbung von regional produzierten österreichischen Produkten fokussiert.

Heizenergiebedarf: ein derzeit zu unrecht vernachlässigter Faktor

Die im vorigen Punkt angeführte Darstellung wird durch den Aufwand für Heizenergie verursacht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Heizaufwand den Löwenanteil an der gesamten CO₂-Belastung eines kg Tomaten ausmacht.

Die Anteile an den Gesamtemissionen belaufen sich auf 61 % im Venlo-Haus, 69 % im Glashaussystem, 81 % im biologischen Langzeitanbau und 69 % im hypothetischen beheizten spanischen Gewächshaus. Im Vergleich zu einer britischen Studie (Williams 2006), in der etwa 97 % der Energie für Beheizung und künstliche Beleuchtung aufgewandt werden, sind die Ergebnisse relativ gering. Hier muss jedoch beachtet werden, dass die vorliegenden Endergebnisse dieser Arbeit, Fernwärme und nicht Erdgas

⁵ z.B. <http://de.einkaufsnetz.org/klima/25028.html?PHPSESSID=a6ac5c162acd14151e773f45ac17a85e> 20.10.2008

(oder Heizöl) zur Deckung des Heizenergiebedarfes berücksichtigen. Außerdem bleibt die künstliche Beleuchtung der Gewächshäuser in den analysierten Produktionssystemen unbeachtet (siehe Abschnitt 3.3).

Durch die Verwendung modernster Techniken in Venloer Gewächshäusern, ist eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um etwa 30 % möglich. Die Resultate zeigen weiter, dass eine Beheizung von Foliengewächshäusern diesbezüglich nicht Erfolg versprechend ist (siehe unten).

Heizenergiebedarf und zukünftige Entwicklungen

Da eine steigende Nachfrage in Richtung ganzjähriges Angebot von Biogemüse registriert werden kann, war die Modellierung und Analyse eines adäquaten Produktionssystems im Tomatenbau ein Ziel dieser Arbeit.

Die Ergebnisse für eine zukünftig beheizte Biokultur lassen erkennen, dass die Beheizung trotz Verwendung von Hackschnitzeln, im Folientunnel ineffizient, und der verantwortliche Faktor für die Zunahme der gesamten CO₂-Emissionen pro kg Tomaten ist (+ 511 %). Das kg biologischer Tomaten aus dem Folientunnel wäre folglich etwa halb so CO₂-intensiv wie das kg konventioneller Tomaten aus dem beheizten Glashaus. Daneben wäre jedoch die importierte konventionelle Tomate aus Almería weniger umweltschädlich.

Damit wird gezeigt, dass dieses Model nicht empfehlenswert ist. Die Frage entsteht, ob unter solchen Umständen die Kennzeichnung der ökologischen Produktionsweise überhaupt der Philosophie des ökologischen Anbaus entspricht und deswegen zulässig wäre.

Es wäre interessant zu wissen, wie die Kombination diverser Energieträger (Photovoltaikzellen, Hackschnitzel, Biogasanlage...) die Verlängerung der Produktionszeiten am effektivsten – umweltfreundlichsten - lösen könnte. Weiterer Forschungsbedarf besteht zu den Möglichkeiten einer optimierten Gewächshauskonstruktion und -führung bzw. der Verwendung hoch technisierter Gewächshäuser, wie sie derzeit in den modernen konventionellen erdelosen Systemen eingesetzt werden.

Die Beheizung von Gewächshäusern in Almería wäre nach vorliegenden Ergebnissen besonders ineffizient, und kann aus derzeitigem Stand nicht befürwortet werden. Aufgrund der Öffnung des Marktes seitens der EU, werden andere billig produzierende Länder, wie z.B. Marokko zu ernsthaften Konkurrenten der spanischen Erzeuger. Die Gemüseproduktion in Almería erlebt gerade eine Transition und das Potenzial des Gewächshausanbaus liegt gewiss nicht allein in der Beheizung der Kulturen, sondern in umweltfreundlicheren Maßnahmen, wie z.B. einer Optimierung der Klimaführung und

Gewächskonstruktion oder einer Spezialisierung auf ökologische Produkte, alternative Sorten....

Treibhausgasemissionen

Die Ergebnisse dieser Arbeit berücksichtigen ausschließlich die CO₂-Emissionen und vernachlässigen andere wichtige Treibhausgase, wie Methan- oder Lachgas.

Deshalb kann im Hinblick auf den Beitrag zum Treibhauseffekt von einer Unterschätzung des Treibhausgaspotenzials – global warming potential (GWP) - ausgegangen werden. Vergleichbare Studien von Tomatenproduktionssystemen schreiben dem CO₂ aus Fossilenergie rund 93 % des GWP (100 Jahre) zu (Schätzung Williams 2008; pers. Mitteilung). Ein Unterschied der Gemüseproduktion gegenüber Ackerbausystemen ist erkennbar, da letztere von Lachgas dominiert sind; z.B. beträgt der Lachgasanteil von Weizen 80 %, jener von Kartoffeln 50 % (Williams et al. 2006).

Ökologischer Fußabdruck

Die Resultate für die einzelnen Produktionssysteme spiegeln im Wesentlichen die Ergebnisse aus der CO₂-Bilanz wieder. So ist der Ökologische Fußabdruck von Tomaten beheizter österreichischer Systeme 2-3-mal größer als der Fußabdruck importierter Tomaten aus Spanien bzw. 1-2-mal höher als jener von verarbeiteten Tomaten aus Italien. Bezogen auf biologische Tomaten aus Österreich zeigt sich, dass der Ökologische Fußabdruck der konventionellen Tomaten aus dem beheizten Gewächshaus 8–10-mal so groß ist.

Die Aussage dieser Ergebnisse könnte dem/der KonsumentIn sehr einfach zugänglich gemacht werden, indem die verpackten Tomaten eine Kennzeichnung tragen würden. Die Etiketten könnten die Größe des Ökologischen Fußabdrucks durch ein symbolhaftes Design sehr einfach visualisieren und nicht nur durch Zahlen belegen. Ein diesbezüglicher Forschungsbedarf ist für die gängigsten Lebensmittel wünschenswert und setzt eine konsistente, transparente Methodik voraus.

5.2 Nicht quantifizierte Faktoren

Almería

Die Umweltbelastungen durch andere Schadstoffe die in der vorliegenden Arbeit nicht quantifiziert wurden, werden an den Auswirkungen des Stickstoffeinsatzes am Beispiel Almería thematisiert.

Die oberflächlichen Aquiferen unterhalb der Produktionszentren Almerías weisen hohe Nitratkonzentrationen auf, die oft Werte von mehr als 100 mg NO₃⁻/l, mit Maximalwerten von sogar über 300 mg NO₃⁻/l erreichen (Jiménez 1996; Jiménez 1997; Pulido-Bosch

2005 in Thompson et al. 2007). Der überwiegende Teil dieser hoch konzentrierten Fläche an Gewächshäusern ist als „Nitrate Vulnerable Zones“ (NVZ) nach EU-Nitratrichtlinie klassifiziert. Es wird daher gefordert, die Kulturführungsmaßnahmen zu verbessern, um die Kontamination zu reduzieren (Thompson et al. 2007). Aufgrund der historischen Entwicklung der Provinz Almería, wird dieser Problematik von der örtlichen Bevölkerung erst langsam Aufmerksamkeit geschenkt. Nicht nur ökologische Auswirkungen werden vernachlässigt, wie z.B. ein stetig sinkendes Grundwasserniveau (Downward and Taylor 2007), sondern die Beeinträchtigung der Wasserqualität für menschliche Nutzung bleibt unbeachtet. Stattdessen liegt der Fokus auf der Errichtung von Entsalzungsanlagen, die politisch gefördert (auch mit EU-Geldern) und effizient sind (Downward and Taylor 2007). Diese Entwicklung hat zusätzliche Auswirkungen auf die globale Erwärmung, wie die Resultate vorliegender Arbeit belegen. Die CO₂-Belastung eines kg almeriensischer Tomaten im Wiener Supermarkt bestünde bereits heute zu 15 % aus den Aufwänden für die Entsalzung des Wassers.

Diesbezüglich könnte eine intensive Aufklärungsarbeit in der Provinz helfen, Wissen über die ernstzunehmenden Folgen der Nitratbelastung zu verbreiten und zudem müssten strengere Kontrollen seitens der Behörden diese Entwicklung unterstützen.

Tomatenverzehr und Abfallproduktion

Der Aspekt der Abfallbehandlung in der Tomatenproduktion wurde in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Andere Studien zeigen, dass die Umweltauswirkungen diesbezüglich nicht vernachlässigbar sind und z.B. eine Trennung von Biomasse und Plastikklips und deren separate Trennung zu bedeutenden Einsparungen führt (Antón et al. 2005).

Die Haushaltsebene liegt in dieser Arbeit außerhalb der Systemgrenze. Interessant wäre eine Quantifizierung des restlichen Lebensabschnittes eines kg Tomaten inklusive Lagerung, Kochen oder unnötig anfallender Überreste (z.B. durch zu lange Lagerung). Das Verhalten seitens der Konsumentinnen im Umgang mit CO₂-intensiven, billigeren konventionellen bzw. teureren biologischen Tomaten hat zusätzliche Auswirkungen auf die Umwelt (Williams et al. 2006). Eine ausgedehnte Forschung könnte eine ganzheitlichere Betrachtung ermöglichen und weitere Reduktionspotenziale eruieren.

Produktqualität

Zu einer ganzheitlichen Betrachtung müsste auch die Qualität der Tomaten berücksichtigt werden, da diese natürlich Auswirkung auf die menschliche Gesundheit hat. Die Tomate soll viele Funktionen, wie lange Lagerfähigkeit, feste Schale, gewisse Form und Farbe, hoher Geschmackwert und Aroma erfüllen.

Der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und der Trend zur biologischen Schädlingsbekämpfung sind in konventionellen österreichischen Gewächshäusern zum Standard geworden.

Durch den unkontrollierten Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln und identifizierten Rückständen exportierter Waren, büßte Almería das Vertrauen seiner wichtigsten Exportländer ein, allen voran Deutschland (siehe Blom 2007). Das Jahr 2006/07 markiert einen Wendepunkt in der Geschichte der Gemüseproduktion in Almería. Das Ernteergebnis jener Periode zeigt, dass aufgrund dieser Vorfälle bereits in 6 % der almeriensischen Kulturen (allen voran Paprika und Tomaten) biologische Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt wurden (Blom 2007).

Diese positiven Entwicklungen sind nicht zuletzt auf die kontinuierliche Berichterstattung diverser NGOs zurückzuführen. Wie am Beispiel Almería zu sehen ist, kann sich innerhalb eines sehr kurzen Zeitabschnitts eine grundlegende Änderung in Richtung umweltschonender Maßnahmen auch in intensiven gartenbaulichen Systemen vollziehen.

Persönliche Mitteilungen

- Achleitner, A. 2008. Telefongespräch. Fachabteilung Gartenbau, LK Steiermark. 01.04.2008.
- Ambrosch, A. 2008. Telefongespräch. BIO AUSTRIA. 18.09.2007, 14.04.2008.
- AMITOM 2008. Schriftliche Mitteilung. Association Méditerranéenne Internationale de la Tomate. 17.02.2008.
- Anonym. 2008. Telefongespräch. MERKUR Warenhandels AG, Wien. 02.09.2008.
- Bader, R. 2008. Schriftliche Mitteilung. Statistik Austria. 14.01.2008.
- Baeza, E. J. R. 2008. Persönliches Gespräch. Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“. 15.07.2008.
- Berger, T. 2008. Telefongespräch. Presseabteilung, ÖBB. 30.06.2008.
- Berkmann, N. 2008. Telefongespräch. Spar Österreich. 17.06.2008, 05.08.2008.
- Binder, E. 2008. Persönliches Gespräch; Telefongespräche. 17.06.2008, Juni - Aug.2008
- Bogner, H. 2008. Telefongespräch. Fa. Heizung Fischer, Sanitär, Wels. 03.09.2008.
- Castilla, N. 2008. Schriftliche Mitteilung. Investigador Coordinador IFAPA-Centro Camino de Purchil, Granada, Spain. 17.06.2008.
- Cattau, R. 2008. Telefongespräch. Fa. Siedenburger, Deutschland. 22.04.2008.
- Céspedes, A. J. L. 2008. Persönliches Gespräch. Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“. 17.08.2008.
- Diánez, F. J. M. 2008. Persönliches Gespräch. Departamento Producción Vegetal. Universität Almería, Spanien. 14.08.2008.
- Elia, A. 2008. Schriftliche Mitteilung. Dipartimento di Scienze Agro-ambientali, Chimica e Difesa Vegetale, Universität Foggia. 17.06.2008.
- Ewing, B. 2008. Schriftliche Mitteilung. Global Footprint Network. 23.05.2008, 18.06.2008.
- Fa.Fiala. 2008. Telefongespräch. Foliengewächshäuser. 28.01.2008.
- Fischerauer, H. 2008. Telefongespräch. Landwirtschaftliches Versuchszentrum Wies. 19.06.2008.
- Hamedinger, S. 2008. Telefongespräch. Bezirksbauernkammer Eferding. 01.04.2008.
- Jezik, K. 2008. Persönliches Gespräch. Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie, Universität für Bodenkultur, Wien. 17.10.2008.
- Joch, T. 2008. Persönliches Gespräch. Meistergärtner, Universität Wien. 18.03.2008.

- Jochum, C. Telefongespräch. Präsidentenkonferenz, Landwirtschaftskammer Österreich. 18.09.2007.
- Keferböck, J. 2008. Telefongespräch. Fachabteilung Pflanzenproduktion Landwirtschaftskammer NÖ. 01.04.2008.
- Kovats H. 2008. Telefongespräch. Landwirtschaftliches Bezirksreferat Neusiedl am See. 01.04.2008.
- Krenmair, H. 2008. Telefongespräch. Fa. Buderus Heiztechnik, Wels. 02.09.2008.
- Lattauschke, G. 2008. Persönliche Mitteilung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft and Fachbereich Gartenbau. 11.06.2008.
- Magán, J. J. C. 2008. Persönliches Gespräch. Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“. 15.08.2008.
- Pérez Mesa, J. C. 2008. Schriftliche Mitteilung. Studies, Statistic Department, Export Fruit, Vegetables Association of Almeria (COEXPHAL). Almería, Spanien. 14.06.2008.
- Pocza, T. 2008. Telefongespräch. Railcargo Austria. 02.09.2008.
- Rauscher, K. 2008. Telefongespräch. Ökoinstitut Darmstadt, Deutschland 17.09.2008.
- Salas, M. d. C. 2008. Persönliches Gespräch. Departamento Producción Vegetal. Universität Almería, Spanien. 14.08.2008.
- Stekovics, E. 2008. Persönliches Gespräch: Paradeiserzüchtung in Frauenkirchen, Burgenland. 15.03.2008.
- Stopper, E. 2008. Diverse Auskünfte, Telefongespräche, schriftl. Mitteilungen. BIO AUSTRIA. diverse, u.a. 18.12.2007, 19.09.2008.
- Szigeti, B. 2008. Persönliche Mitteilung. Landwirtschaftskammer Wien. 14.01.2008.
- Thompson, R. B. 2008 Persönliches Gespräch. Departamento Producción Vegetal. Universität Almería, Spanien. 14.08.2008.
- Van Essen. 2007. Telefongespräch. Fa. Rockwool Deutschland. 07.11.2007.
- Virgilio, F. P. 2008. Telefongespräch. Apofoggia. Associazione Produttori Ortofrutticoli. 13.06.2008.
- Weber, J. 2008. Telefongespräch. Fachabteilung Gartenbau, LK Steiermark. 09.06.2008.
- Williams, A. G. 2008. Schriftliche Mitteilung. Department of Natural Resources, Cranfield University, UK 01.10.2008.
- Wolbert, E. 2008. Schriftliche Mitteilung. Fa. Ludvig Svensson. 26.08.2008.
- Zamora, K. 2008. Telefongespräch. Persönliches Gespräch. Referatsleiter, Förderung der ländlichen Entwicklung Landjugend Gartenbau and Landwirtschaftskammer Wien. 21.02.2008, 31.01.2008

Literaturquellen

- AMITOM 2006a. Tomato Processing in Italy 2006. Association Méditerranéenne Internationale de la Tomate.
- AMITOM 2006b. Tomato Processing in Spain 2006. Association Méditerranéenne Internationale de la Tomate.
- Andersson, K., Ohlsson, T., Olsson, P. 1994. Life cycle assessment (LCA) of food products and production systems. Trends in Food Science & Technology 5, 134-138.
- Andersson, K., Ohlsson, T., Olsson, P. 1998. Screening Life Cycle Assessment (LCA) of tomato ketchup: A case study. Journal of Cleaner Production 6, 277-288.
- Andrés, F., del Mar, M. D., del Mar, M. E., Martínez-Salanova, P., Padilla, M. 2005. Anuario de la Agricultura Almeriense 2005.
- Antón, A. 2004. Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral.
- Antón, A., Montero, J. I., Muñoz, P. 2005. LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses. Int.J.Agricultural Resources Governance and Ecology 4(2), 102-112.
- Ayres, R. U. 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. Ecological Economics 32, 347-349.
- Baille, A. 1997. Overview of Greenhouse climate control in the mediterranean regions. Cahier Options Méditerranéennes 31, 59-76.
- Baille, A., López, A. J. C., Bonachela, S., González-Real, M. M., Montero, J. I. 2006. Night energy balance in a heated low-cost plastic greenhouse. Agricultural and Forest Meteorology 137, 107-118.
- Baldenhofer, K. 1999. Lexikon des Agrarraums. Gotha, Justus Perthes Verlag Gotha GmbH.
- Baumann, H. and Tillmann, A.-M. 2004. The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Lund, Studentlitteratur.
- BIO AUSTRIA 2006. Produktionsrichtlinien für die biologische Landwirtschaft in Österreich. Fassung Juli 2006.
- Blom, J. v. d. 2007. Control de plagas en hortalizas protegidas: Almería, el año de la transición. Horticultura XXV[200], 36-42. 2-6-2007.
- BMLFUW 2007. Lebensmittelbericht Österreich 2006. Wertschöpfungskette, „Agrarerzeugnisse - Lebensmittel und Getränke“. Wien, Österreich.
- Buderus 2003. Dimensionierung und Auswahl von Heizkesseln für Gewächshäuser. Planungsunterlage Ausgabe 03/2003. Fa. Buderus.
- Burgholzer, P. 1997. Branchenberatung Energie. Energiekennzahlen und -sparpotentiale in Gärtnereien. Linz, Österreich.

- Cadenas, F. T. 1999. El cultivo del tomate en El Parador y Roquetas de Mar in Técnicas de producción de frutas y hortalizas. In: Instituto de Estudios de la CAJA RURAL de Almería (Eds.), Los cultivos protegidos del Sureste español. Spain, 68-106.
- Cajamar 2008. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería 2006/2007.
- Campiglia, E., Colla, G., Mancinelli, R., Rouphael, Y., Marucci, A. 2007. Energy Balance of Intensive Vegetable Cropping Systems in Central Italy. *Acta horticulturae* 747, 185-191.
- Cantliffe, D. J. and Vansickle, J. J. 2003. Competitiveness of the Spanish and Dutch Greenhouse Industries With the Florida Fresh Vegetable Industry. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* Vol. 114, 283-287
- Carreño, J. S., Aguilar, S. S., and Moreno, S. M. M. 2000. Gastos de Agua y cosechas obtenidas en los cultivos protegidos del campo de Níjar (Almería). *Proceedings of the XVIII Congreso Nacional de Riegos*, Huelva 20-22 July 2000, Spain.
- Castilla, N. and Hernandez, J. 2005. The plastic greenhouse industry in Spain. *Chronica Horticulturae* 45(3), 15-20.
- Céspedes, A. J. L., Pérez-Parra, J., Gazquez, J. C. G., and Cuadrado Gómez, I. M. Nuevas tendencias en las técnicas culturales y varietales de la horticultura intensiva almeriense. (unveröffentlicht).
- Chiappetta, F. 1998. Deckungsbeiträge für Gemüsekulturen bei unterschiedlicher technischen Ausstattung der Gewächshäuser. Universität für Bodenkultur, Institut für Gartenbau. Diplomarbeit.
- Costa, J. M., Heuvelink, E., (Eds.) 2000. Greenhouse horticulture in Almería (Spain) Report on a study tour 24-29 January 2000.
- Cuadrado Gomez, I. M. (Eds) 2001. Estudio de la Demanda de Inputs Auxiliares: Produccion y Manipulacion en el Sistema Productivo Agrícola Almeriense. FIAPA (Fundación para la Investigación Agraria en la provincia de Almeria). . Almeria, Spain.
- Demerci, M. 2001. Ermittlung der Deckungsbeiträge für die wichtigsten Gemüsekulturen im Gewächshaus in Österreich. Universität für Bodenkultur, Institut für Obst- und Gartenbau. Dissertation.
- Downward, S. R. and Taylor, R. 2007. An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería, southeast Spain. *Journal of Environmental Management* 82, 277-289.
- Dutilh, C. E. and Kramer, K. J. 1999. Energy Consumption in the Food Chain. *Ambio* 29(2), 98-101.
- Elia, A., Conversa, G., La Rotonda, P., Montemurro, F. 2007. Nitrogen Level Effect on Yield and Quality of Fertigated processing Tomato in Southern Italy. *Acta horticulturae* 758, 235-240.
- Engl, G., Schlaghecken, J., and Ziegler, J. 1996. Kalkulation im Gemüsebau. Neustadt / Weinstraße, Verein Ehemaliger Gartenbauschüler. Neustadter Hefte ; 75.

- Erb, K.-H. 2003. Actual land demand of Austria 1926-2000: a variation on Ecological Footprint assessments. *Land Use Policy* 21, 247-259.
- Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“. 2005. Dosis de riego para los cultivos hortícolas bajo invernadero en Almería. 2a edición 2005.
- Europäisches Parlament 2001a. Ecological footprinting. Final Study. Working Documents for the STOA Panel. European Parliament. Directorate General for Research-Directorate A. STOA - Scientific and Technological Options Assessment.
- Europäisches Parlament 2001b. Ecological footprinting. Options Brief und Zusammenfassung. European Parliament. Directorate General for Research-Directorate A. STOA - Scientific and Technological Options Assessment.
- Fa.Siedenburger 2008. Angebot für Venloer-Gewächshaus. In: Joch, T. (Eds.), Nachhaltige Energieversorgung bei Glashaustomaten in Wien. Meisterarbeit. Wien, Österreich.
- Fernández, M. D., González, A. M., Carreño, J. S., Pérez, C., Bonachela, S., 2007. Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses. *Agricultural Water Management* 89, 251-260.
- Foster, C., Green, K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn, A., Mylan, J. 2006. Environmental Impacts of Food Production and Consumption: A report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs. London, Defra.
- Fritsche, U. R. and Schmidt, K. 2007. GEMIS, Handbuch zu Gemis 4.4.
- Fundación Cajamar 2005. Memoria Anual 2006. Almería, Spain.
- García, T. and Mastrostefano, M. 2002. Algunas reflexiones sobre los retos del sector de las frutas y hortalizas. In: Álvarez-Coque, J. M. G. and Instituto de Estudios de Cajamar (Eds.), *La Agricultura Mediterráneo en el Siglo XXI*. Almería, Spain, p. 90-
- Gázquez, J. C. G. 2007. El cultivo del tomate: técnicas de cultivo. Estación Experimental de Cajamar „Las Palmerillas“ (Ed.). Almería, Spain.
- Gemma, R., Serra, L., Uche, J. 2006. Life Cycle Assessment of MSF, MED and RO Desalination Technologies. *ENERGY* 31(13), 2361-2372.
- George, E. and Eghbal, R. 2003. *Ökologischer Gemüsebau. Handbuch für Beratung und Praxis*. Mainz, Bioland-Verlags GmbH.
- Giljum, S., Osman, I., Hammer, M., Burger, E. 2007. Berechnungen der CO₂-Emissionen des Transports von neun ausgewählten Lebensmittelprodukten, Endbericht. Wien, Österreich.
- Göhler, F. and Molitor, H.-D. 2002. *Erdelose Kulturverfahren im Gartenbau*. Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Gómez, J. M. E. 2002. Los retos de futuro del sector hortofrutícola español. In: Instituto de Estudios de Cajamar (Eds.), *La Agricultura Mediterránea en el Siglo XXI*. Almería, Spain, *Mediterraneo Economico* 2002, pp. 140-158.

- Haberl, H., Erb, K.-H., Krausmann, F. 2001. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926-1995. *Ecological Economics* 38, 25-45.
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S. 2006. Living Planet Report 2006. Gland, Switzerland, WWF International.
- Handler, F. and Blumauer, E. 2006. Arbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft - Ergänzung der Standardarbeitszeiten für die Betriebszweige Obst-, Wein- und Gemüsebau, Wildtiere, Lamas und Kaninchen sowie Kleinwald. HBLFA Francisco Josephinum/BLT Biomass - Logistics - Technology. Wieselburg, Mai 2006.
- Handler, F., Stadler, M., Blumauer, E. 2006. Standardarbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft - Ergebnis der Berechnung der einzelbetrieblichen Standardarbeitszeiten. Wieselburg, Juni 2006.
- Hayashi, K., Gaillard, G., Nemecek, T. 2007. Life Cycle Assessment of Agricultural Production Systems: current issues and future perspectives.
- Heiss, R. 2004. Lebensmitteltechnologie: biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung. Berlin [u.a.], Springer Verlag.
- Herrmann, K. 2001. Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse. Stuttgart, Ulmer Verlag.
- Heuvelink, E. (Ed.) 2005. Tomatoes. Crop Production science in horticulture. Wallingford, Cambrige,
- Hornischer, U., Koller, M., and Weiß, H. 2005. Biologischer Anbau von Tomaten. Mainz, Bioland Beratung.
- Indega. Aufgehängte Schirme halten länger in: Sonderteil Gewächshaus und Gewächshaustechnik. Gärtner und Florist 6. 18-3-2005. 9-6-2008.
- IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhous Gas Inventories, Agriculture, Forestry and Ohter Land Use. In: 1-83.
- IPCC 2007a. Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of the Working group I to the fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, New York, Melburne, Cambridge University Press.
- IPCC 2007b. Summary for Policymakers, In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report. Cambridge, UK and New York, USA, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press.
- Jiménez,R.E.,Molina-Sánchez,L.,Pulido-Bosch,A.,Navarrete,F. 1996. Influencia de la agricultura intensiva en el contenido de nitratos de las aguas del Campo de Dalías: evolución temporal y especial. *Geogaceta* 20, 1281-1284.
- Jiménez,R.E.,Molina-Sánchez,L.,Pulido-Bosch,A.,Navarrete,F. 1997. Geostatistical study of nitrate contents in the aquifers of Campo de Dalías (SE Spain). In: Soarces, A. Ed. (Eds.), *GeoENV I-Geostatistics for Environmental Applications*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 139-155.

- Joch, T. 2007. Nachhaltige Energieversorgung bei Glashaustomaten in Wien. Meisterarbeit.
- Joliet, O. 1993. Bilan écologique de la production de tomates en serre. *Revue suisse Vitic.Arbonic.Hortic.* 25(4), 261-267.
- Jungbluth, N. 1998. Ökologische Beurteilung des Bedürfnisfeldes Ernährung - Arbeitsgruppen - Methoden - Stand der Forschung - Folgerungen. Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt (ESU) Institut für Energietechnik ETH Zentrum. ESU-Working Paper 18. 1998. Zürich.
- Jungbluth, N. 2000. Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums: Beurteilung von Produktmerkmalen auf Grundlage einer modularen Ökobilanz. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Nr. 13499 Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften. Dissertation.
- Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., Wackernagel, M. 2007. Current Methods for Calculating National Ecological Footprint Accounts. *Science fo Environment and Sustainable Society* 4(1), 1-9.
- Körner, O. 2000. A survey of Greenhouse Construction, Equipment and Climate Control in the Almería region. In: *Greenhouse horticulture in Almería (Spain) Report on a study tour 24-29 January 2000.* 17-35.
- Krug, H. 1991. Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagwerk für Studium und Praxis. Berlin, Hamburg,
- KTBL 2002. KTBL-Datensammlung Freilandgemüsebau. Daten zur Kalkulation der Arbeitswirtschaft und der Deckungsbeiträge. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. [6. Auflage]. 2002. Darmstadt.
- KTBL 2003. Datenbankgestützte Kalkulationen. KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft 2002/03. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt.
- Laber, H. 2001. Organische Handelsdünger für den ökologischen Gemüsebau [Commercial organic fertilizers for organic vegetable growing]. *ÖKOmenischer Gärtnerundbrief* 1, 27-29.
- Lagerberg, C. and Brown, M. T. 1999. Improving agricultural sustainability: the case of Swedish greenhouse tomatoes. *Journal of Cleaner Production* 7(6), 421-434.
- Lattauschke, G. 2004. Gewächshaustomaten - Hinweise zum umweltgerechten Anbau, Managementunterlage.
- Loh, J., Jenkins, M., Kapos, V., Cox, N., Jakubowska, J., Morton, A., Groombridge, B., Wackernagel, M., Callejas Linares, A., Deumling, D., Schulz, N. B., Vasques Sanches, M. A., López Falfán, I. S., Randers, J. 2000. *Living Planet Report 2000.* Gland, Switzerland, WWF International.
- López, J. C., Baille, A., Bonachela, S., González-Real, M. M., Pérez-Parra, J. 2006. Predicting the energy consumption of heated plastic greenhouses in south-eastern Spain. *Spanish Journal of Agricultural* 4(4), 289-296.
- Mithöfer, D. 2003. Kalkulationsprogramm und Daten für Planung und Kontrolle im ökologischen Gemüsebau. Arbeitskreis Betriebswirtschaft im Gartenbau e.V. 1. Auflage (2003). Hannover.

- OIB 1999. Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen. Nr. OIB-382-010/99. Wien,
- ÖKL 2008. Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft 2008. Wien,
- Opshoor, H. 2000. The ecological footprint: measuring rod or metaphor? *Ecological Economics* 32, 363-365.
- Os, E. A. v. d. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. *Acta horticulturae* 396.
- Pelzmann, H. 2004. Gemüsebau-Praxis im Freiland und unter Folien. AV Buch.
- Pérez Mesa, J. C., De Pablo Valenciano, J., Cruz Escudero Moreno, M. 2003. Costes de Producción y utilización de la mano de obra en tomate: un estudio empírico para el cultivo bajo plástico en Almería. In: Asociación Española de Economía Aplicada and ASEPELT (Eds.), *Anales de economía aplicada Año 2003 - Almería*.
- Pérez, J., López, J. C., Fernández, M. D. 2002. La agricultura del sueste: Situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense. In: Caja Rural Intermediterránea and Instituto de Estudios Socioeconómicos de Cajamar (Eds.), *La Agricultura en el Sigo XXI*.
- Pérez, J. J. P. and López, A. J. C. 2001. Análisis de la demanda de inputs para la producción en el sector de cultivos protegidos de Almería. In: Cuadrado, I. M. E. (Eds.), *Estudio de la demanda de inputs auxiliares: Producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense FIAPA*. Almería, Spain.,
- Pulido-Bosch, A. 2005. Recarga en la Sierra de Gádor e Hidrogeoquímica de los acuíferos del Campo de Dalías. El Ejido, Spain,
- Rinaldi, M. and Rana, G. 2004. I fabbisogni idrici del pomodoro da industria in Capitanata. *Rivista Italiana di Agrometeorologia* 1, 31-35.
- Rinaldi, M., Trotta, G., Convertini, G., Vonella, A. V., Elia, A. 2003. Impiego su pomodoro da industria di fertilizzanti azotati alternativi. *L'informatore Agrario* 11, 75-78.
- Roy, P., Nei, D., Okadome, H., Nakamura, N., Orikasa, T., Shiina, T. 2008. Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect. *Journal of Food Engineering* 86, 225-233.
- Sächsische Landesanstalt 2004. Anbau von Gewächshausgemüse - Hinweise zum umweltgerechten Anbau, Managementunterlage.
- Sachweh, U. 2001. Der Gärtner. Grundlagen des Gartenbaus. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.
- Sandei, L. and Leoni, C. 2006. Exploitation of By-Products (Solid Wastes) from Tomato Processing to Obtain High Value Antioxidants. *Acta horticulturae* 724, 249-255.
- Sanjuán, J. F. E. 2007. Detección de la superficie invernada en la provincia de Almería a través de imágenes ASTER. Cuadrado Gómez, I. M.
- Schwartz, M. 1995. Soilless culture Management. Berlin, Springer Verlag.

- Serrano, Z. C. 2002. Construcción de invernaderos. Madrid, Barcelona, México, Ediciones Mundi-Prensa.
- Serrano, Z. C. 2005. Construcción de invernaderos. Madrid, Barcelona, México., Ediciones Mundi-Prensa.
- Stanhill, G. H. 1999. Greenhouse Ecosystems. In: ed.by G.Stanhill and H.Zvi Enoch (Eds.), Amsterdam, Elsevier, pp.
- Stanhill, G. 1980. The Energy Cost of Protected Cropping: A Comparison of Six Systems of Tomato Production. *Journal of Agricultural Engineering Research* 25, 145-154.
- Statistik Austria 2005. Statistik der Landwirtschaft 2005. Wien,
- Statistik Austria 2006. Gemüseernte 2006. Wien,
- Statistik Austria 2007. Gemüseernte 2007. Endgültige Ergebnisse. Wien,
- Storck, H. 1994. Taschenbuch des Gartenbaus. Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Tello, J. C. 2002. Tomato production in Spain without methyl bromide. PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALTERNATIVES TO METHYL BROMIDE, SEVILLA, SPAIN 5-8 MARCH 2002.
- Thompson, R. B., Gallardo, M., Fernández, M. D. 2004. Irrigation scheduling of drip-irrigation vegetable crops grown in greenhouses using continuous soil moisture monitoring. *Acta horticulturae* (664), 653-660.
- Thompson, R. B., Gallardo, M., Giménez, C. 2002. Assessing Risk of Nitrate Leaching from the Horticultural Industry of Almería, Spain. *Acta horticulturae* 571, 243-248.
- Thompson, R. B., Martínez-Gaitan, C., Gallardo, M., Giménez, C., Fernández, M. D. 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agricultural Water Management* 89, 261-274.
- Umweltbundesamt 2007. Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators "Ökologischer Fußabdruck". Endbericht.
- van den Bergh, J. C. J. M. and Verbruggen, H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the "ecological footprint". *Ecological Economics* 29(1), 61-72.
- Van der Velden, N. J. A., Janse, J., Kaarsemaker, R. C., Maaswinkel, R. H. M. 2004. Duurzaamheid van vruchtgroenten in Spanje; proeve van monitoring. Den Haag, LEI.
- Vogel, G. 1996. Handbuch des speziellen Gemüsebaus. Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag.
- Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Werner, P., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M. 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. Oakland, U.S.A.,
- Wackernagel, M. and Rees, W. E. 1997. Unser ökologischer Fußabdruck, Wie der Mensch Einfluß auf die Umwelt nimmt. Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser Verlag.

- Wackernagel, M., Schulz, N. B., Deumling, D., Linares, A. C., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaard, R. B., Randers, J. 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 99(14), 9266-9271.
- Wada, Y. 1993. The appropriated carrying capacity of tomato production: comparing the ecological footprints of hydroponic greenhouse and mechanized field operations. The University of British Columbia. Diploma Thesis.
- Wiegmann, K., Eberle, U., Fritsche, U. R., Hünecke, K. 2005. "Umweltauswirkungen von Ernährung - Stoffstromanalysen und Szenarien". Datendokumentation zum Ernährungswende Diskussionspapier Nr. 7. Darmstadt, Hamburg,
- Williams, A. G., Audsley, E., Sandars, D. L. 2006. Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Defra project report IS0205. Bedford, Cranfield University and Defra.
- Wonneberger, C., Keller, F., Bahn Müller, H., Böttcher, H., Geyer, B., Meyer, J. 2004. Gemüsebau. Stuttgart, Ulmer Verlag.
- WWF 2004. Living Planet Report 2004. Gland, World Wide Fund for Nature (WWF).
- Zabeltitz, C. v. 1986. Gewächshäuser. Planung und Bau. Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer GmbH & Co.

Internet-Quellen

- www.viamichelin.de 08.06.2008
- <http://maps.google.de> 08.06.2008
- www.oeamtc.at/routenplaner/ 08.06.2008
- <http://www.ages.at/index.php?id=8662> 25.8.2008
- http://www.innovations-report.de/html/berichte/medizin_gesundheit/bericht-20646.html 25.8.2008
- <http://www.innovations-report.de/html/berichte/studien/bericht-30786.html>, 25.8.2008
- <http://www.biohelp.at/> 18.12.2007
- http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1996,45323734&_dad=portal&_schema=PORTAL&screen=welcomeref&open=/&product=REF_TB_agriculture&depth=2 1.10.2008
- <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> 1.10.2008
- <http://www.ji-cdm-austria.at/de/portal/kyotoandclimatechange/ourclimate/greenhousegases/>
- <http://www.foliengewachshaus.at/33,0,typ-gs,index,0.php> Fa. Fiala 13.5.2008
- www.probas.umweltbundesamt.de 12.9.2008
- <http://www.energiesparhaus.at/fachbegriffe/uwert.htm> 28.8.2008
- http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_13_An1_Worksheets.pdf 21.10.2008
- <http://www.mapa.es/es/agricultura/agricultura.htm> 1.3.2008
- <http://www.ine.es/> 1.3.2008

- <http://www.istat.it/> 1.3.2008
- <http://www4.cajamar.es/servagro/sta/publicaciones/tomate/tomate%20larga%20vida/IMG00001.gif> 23.04.2008. Schema eines „Enarenado“
- Q: <http://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/webredaktion/schema.gif> 04.04.2008
- ÖKOBERATUNG 2008. Energieeffizienz im Gartenbau. <http://www.energieagentur.nrw.de/Unternehmen/page.asp?TopCatID=&CatID=&RubrikID=3735> 8.8.2008
- IPP Boku 2008. Station Raasdorf: Klimadaten 2005. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung and Universität für Bodenkultur Wien. <http://pflbau.boku.ac.at/institut/wetterform.php3> 30-8-2008.

6 Anhang I

Tabelle 40: Aufgliederung der CO₂-Emissionen nach Sparten: Agrochemie, Gewächshausstruktur, -management, Kulturarbeiten, Verpackung/Lagerung, Transport in kg CO₂/kg Tomaten. Q: eigene Berechnungen

<i>Sparte</i>	<i>AUT Venlo- Haus</i>	<i>AUT Glashaus</i>	<i>AUT Folie konv.</i>	<i>AUT Folie bio.</i>	<i>ESP Folie</i>	<i>ITA Freiland</i>	<i>AUT Folie bio.*</i>	<i>ESP Folie*</i>
Agrochemie	0,29	0,29	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02
Gewächshausstruktur	0,10	0,10	0,01	0,01	0,06	0,00	0,02	0,05
Gewächshausmanagement	0,69	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	1,11
Kulturarbeiten	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
Verpackung/Lagerung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00
Transport	0,01	0,01	0,08	0,08	0,32	0,20	0,08	0,32
Endergebnis	1,10	1,37	0,11	0,10	0,44	0,71	0,63	1,52

alle Werte in kg CO₂/kg Tomaten

GEMIS Datendokumentation

Tabelle 41: Dokumentation der Datensätze der CO₂-Berechnungen in kg CO₂/kg Prozessoutput

siehe GEMIS-Datenbank, GEMIS-Österreich Version 4.4

Agrochemie	Bezeichnung / Prozess	CO₂-Emissionen	CO₂/Output
	N-Dünger aus Prozess, Chem-anorg\Dünger-N	2,880336	kg/kg
	P-Dünger aus Prozess, Chem-anorg\Dünger-P	1,151469	kg/kg
	K-Dünger aus Prozess, Chem-anorg\Dünger-P	1,086230	kg/kg
	Mist -	-	-
	Vinasse Verw. Beiprodukte/AK-ZR/DG	0,306500	kg/kg
	Pestizide Chem-Org\Biozide	23,17473	kg/kg
	CO ₂ -Begasung -	-	-
Gewächshausstruktur			
	Stahl Metall\Stahl-A-WarmWalz	0,519309	kg/kg
	Aluminium Metall\Alukonstruktion	26,768987	kg/kg
	Glas Steine-Erden\Glas-flach-A-neu	1,302180	kg/kg
	Plexiglas Kunststoff\LDPE-Folie-APME-99	1,934000	kg/kg
	Folie Kunststoff\LDPE-Folie-APME-99	1,934000	kg/kg
	verzinktes Eisen Metall\Stahl-A-WarmWalz	0,519309	kg/kg
	Beton Steine-Erden\Beton-B25-A	0,148418	kg/kg
Gewächshausmanagement			
	Steinwollsubstrat Steine-Erden\Steinwolle-A-neu	0,866119	kg/kg
	Heizbedarf* Fernwärme Wien 2005	0,155215	kg/kWh
	Entsalzungsanlage Gemma et al. 2007 (span. Energiemix)	2,180000	kg/m ³
Kulturarbeiten			
	Traktor Mh/ha aus Prozesse, Traktor-Diesel-A-2003	0,696850	kg/kWh
	Arbeitskraft Akh/ha -	-	-
Verpackung/Lagerung			
	Verarbeitungsprozess Herstellung\Energie-mix-Verarbeitung	0,059710	kg/MJ
	Herstellung Konserve Metall\Stahl-DE-Blech	1,862907	kg/kg
	Kühlung Strom-mix-DE-Grosslager Lebensmittel	0,152780	kg/kg
Transport			
	LKW Ferntransport Lkw-A Sattelzug	0,107255	kg/tm
	LKW Nahtransport LNF-2005-A	1,179041	kg/tm
	Bahntransport Zug-el-A	0,029742	kg/tm
Vergleich Gewächshausbeheizung*			
	Heizbedarfk Öl Öl-leicht-Hzg-groß-neu-A-2007	0,338295	kg/kWh
	Heizbedarf Erdgas Erdgasheizung Brennwert A 2005	0,228308	kg/kWh
	Heizbedarf Hackschnitzel Holz-Hackschnitzel Hzg-500kW-A-2005	0,036723	kg/kWh
	Heizbedarf Propangas ESP gas-propane-heating-CZ	0,272746	kg/kWh

*) eigene Abgleichung vorhandener Datensätze (siehe Methodik)

Sachbilanzen

Tabelle 42: Sachbilanzen der acht Produktionssysteme mit Angabe aller Systeminputparameter in kg/ha, m3/ha, GJ/ha, Mh/ha, Akh/ha, km (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen

	1	2	3	4	5	6	7	8
	AUT Venlo-Haus	AUT Glashaus	AUT Folie konv.	AUT Folie bio.	ESP Folie	ITA Freiland	AUT Folie bio.*	ESP Folie*
Fläche/Ertrag								
Anbaufläche ha	72	72	71	20	7.907	14.888	20	7.907
Ertrag kg/ha	500.000	500.000	220.000	160.000	130.000	74.000	200.000	130.000
Maximalertrag kg/ha	600.000	500.000	300.000	200.000	140.000	100.000	250.000	140.000
Agrochemie								
N kg/ha	1.391	1.391	575	-	750	143	-	750
P kg/ha	302	302	109	-	149	68	-	149
K kg/ha	2.179	2.179	888	-	1.173	183	-	1.173
Mist kg/ha	-	-	-	30.000	60.000	400	30.000	60.000
Vinasse kg/ha	-	-	-	2.640	-	-	2.640	-
Wasser m3/ha	9.470	9.470	7.500	10.290	4.698	6.000	10.290	4.698
Pestizide kg/ha	8	-	-	-	26	56	-	26
CO2-Begasung kg/ha	150.000	150.000	-	-	-	-	-	-
Gewächshausstruktur								
Stahl kg/ha	5.500	5.500	781	781	-	-	1.953	-
Aluminium kg/ha	1.250	1.250	-	-	-	-	-	-
Glas kg/ha	6.700	8.667	-	-	-	-	-	-
Plexiglas kg/ha	583	-	-	-	-	-	-	-
Folie kg/ha	-	-	406	406	2.624	-	1.354	2.624
Verzinktes Eisen kg/ha	-	-	-	-	4.563	-	-	4.563
Beton kg/ha	25.203	25.203	-	-	6.377	-	-	6.377
Gewächshausmanagement								
Steinwollsubstrat kg/ha	4.390	4.390	-	-	-	-	-	-
Heizbedarf GJ/ha	7.906	11.047	-	4565**	-	-	9.985	2.500
Kulturarbeiten								
Traktor Mh/ha	310	310	125	56	125	59	112	125
Arbeitskraft Akh/ha	11.346	11.346	9.756	6.648	3.900	222	12.000	3.900
Verpackung/Lagerung								
Verarbeitung GJ/kg	-	-	-	-	-	0,0013	-	-
Transport								
LKW Nahtransport km	6	6	70	70	15	15	70	15
LKW Ferntransport km	-	-	-	-	2668	1608	-	2668

**) Übergangszeit Heizbedarf

CO₂-Bilanzen

Tabelle 43: CO₂-Bilanzen der acht Tomatenproduktionssysteme mit den Einzelwerten aller Inputparameter in kg CO₂/kg Tomaten (* markiert die hypothetischen Produktionssysteme). Q: eigene Berechnungen anhand GEMIS-Österreich 4.4

CO ₂ -Emissionen [kg CO ₂ /kg Tomaten]	1 AUT Venlo- Haus	2 AUT Glas- haus	3 AUT Folie konv.	4 AUT Folie bio.	5 ESP Folie	6 ITA Freiland	7 AUT Folie bio.*	8 ESP Folie*
Fläche/Ertrag								
Anbaufläche ha	72	72	71	20	7.907	14.888	20	7.907
Maximalertrag kg/ha	600.000	500.000	300.000	200.000	140.000	100.000	250.000	140.000
Ertrag kg/ha	500.000	500.000	220.000	160.000	130.000	74.000	200.000	180.000
Agrochemie								
N	0,0080	0,0080	0,0075		0,0166	0,0056		0,0120
P	0,0007	0,0007	0,0006		0,0013	0,0011		0,0010
K	0,0047	0,0047	0,0044		0,0098	0,0027		0,0071
Vinasse	-	-	-	0,0051	-		0,0040	-
Pestizide	0,0004	0,0004	-	-	0,0046	0,0175	-	0,0033
CO ₂ -Begasung	0,2800	0,2800	-	-	-	-	-	-
Gewächshausstruktur								
Stahl	0,0057	0,0057	0,0018	0,0025	-	-	0,0051	-
Aluminium	0,0669	0,0669	-	-	-	-	-	-
Glas	0,0174	0,0226	-	-	-	-	-	-
Plexiglas	0,0023	-	-	-	-	-	-	-
Folie	-	-	0,0036	0,0049	0,0390	-	0,0131	0,0282
Verzinktes Eisen	-	-	-	-	0,0182	-	-	0,0132
Beton	0,0075	0,0075	-	-	0,0073	-	-	0,0053
Gewächshausmanagement								
Steinwollsubstrat	0,0076	0,0076	-	-	-	-	-	-
Heizbedarf	0,6817	0,9526	-	-	-	-	0,5093	1,0523
Entsalzungsanlage	-	-	-	-	-	-	-	0,0569
Kulturarbeiten								
Maschinenstunden	0,0078	0,0078	0,0081	0,0050	0,0237	0,0115	0,0123	0,0154
Verpackung/Lagerung								
Herst.Konserven/Kühlung fr. T.	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,4735	0,0031	0,0031
Transport								
LKW Nahtransport	0,0071	0,0071	0,0825	0,0825	0,0177	0,0177	0,0825	0,0177
LKW Ferntransport	-	-	-	-	0,3005	0,1811	-	0,3005
Summe kg CO₂/kg Tomate	1,1009	1,3746	0,1116	0,1031	0,4418	0,7106	0,6294	1,5158
g CO₂/kg Tomate	1101	1375	112	103	442	711	629	1516
Alternative Heizformen								
Heizbedarf Öl	1,4859	2,0762	-	2,7346	-	-	4,6917	1,3052
Heizbedarf Erdgas	1,0028	1,4012	-	1,8455	-	-	3,1663	0,8808
Heizbedarf Hackschnitzel	0,1613	0,2254	-	0,2968	-	-	0,5093	0,1417
Heizbedarf Propangas ESP	1,1980	1,6739	-	2,2047	-	-	3,7826	1,0523

Curriculum Vitae

MICHAELA CLARISSA THEURL

Geburtsort / -datum: 24. April 1981 in Lienz/Osttirol

Kontakt: michaela.theurl@gmail.com

Ausbildung

- | | |
|-----------|--|
| 2007-2008 | Universität Klagenfurt – IFF Wien Soziale Ökologie, Diplomarbeit. |
| 2002-2008 | Universität Wien Studium der Biologie (1. Abschnitt), Studienzweig Ökologie (2. Abschnitt), Diplomfach: Humanökologie. |
| 2006-2007 | Wirtschaftsuniversität Wien - Ausbildung zur Abfallbeauftragten. |
| 2005-2006 | Universität für Bodenkultur - Studium der Agrarwissenschaften, Wien. |
| 2001-2002 | Università degli Studi Roma Tre - Beginn des Biologiestudiums, Rom. |
| 2000-2001 | Scuola Dante Alighieri - Italienisch Studium (PLIDA-Zertifikat), Rom. |
| 1995-2000 | Bundeshandelsakademie Lienz – Matura. |
| 1987-1991 | Volksschule und Bundesgymnasium/-realgymnasim Lienz. |

Sprachkenntnisse

Deutsch (Muttersprache); Italienisch, Englisch (gute Kenntnisse);
Spanisch, Französisch (Grundkenntnisse).

EDV-Kenntnisse

MS Office; Mac; GEMIS Version 4.4; Photoshop; Grundkenntnisse: ArcGis.