

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fachgebiet Technik im Gartenbau

## EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung gartenbaulicher Produktionsprozesse im Gewächshaus

Alexandra Kreuzpaintner

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende:	Univ.-Prof. Dr. V. Bitsch
Prüfer der Dissertation:	1. Univ.-Prof. Dr. J. Meyer (i. R.)
	2. Univ.-Prof. Dr. U. Schmidt (Humboldt-Universität zu Berlin)

Die Dissertation wurde am 12.08.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 30.09.2013 angenommen.



## **Danksagung**

An dieser Stelle bedanke ich mich bei allen, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Joachim Meyer für die Überlassung des Themas und die Betreuung der Arbeit. Insbesondere die fachliche Beratung und die wertvollen Anregungen trugen zum Gelingen dieser Arbeit bei. Herzlichen Dank für die stets offene Tür und die Möglichkeit meine Fragen zeitnah zu diskutieren. Danke für die fachliche und persönliche Förderung, die ich durch die Teilnahme an zahlreichen Tagungen, Messen und vor allem durch das promotionsbegleitende Fortbildungsprogramm des Graduiertenzentrums Weihenstephan der TUM Graduate School erfahren habe. Besonders bedanke ich mich für die Möglichkeit der Teilnahme am Stipendiatenprogramm „Manage and More“ der UnternehmerTUM GmbH sowie für die Unterstützung bei meinem Forschungsaufenthalt in den USA während meiner Promotionszeit.

Vielen Dank für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Herrn Prof. Dr. Uwe Schmidt danke ich für die Übernahme des Korreferats und die Bereitschaft im Rahmen der TUM Graduate School sich Zeit zu nehmen und mir als Mentor mit Rat und Tat zur Seite zu stehen. Besonders die vielen Gespräche und Diskussionen auf den Projektreffen und Tagungen waren für mich eine große Hilfe.

Frau Prof. Dr. Vera Bitsch danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Bei all meinen Kollegen, die mich während meiner Promotionszeit in den letzten vier Jahren so tatkräftig unterstützt haben, bedanke ich mich herzlich. Mein besonderer Dank gilt Herrn Martin Kahl, Herrn Stefan Kolbinger, Frau Gabriele Schneider und Frau Carina Menk für die stets große Hilfsbereitschaft und die konstruktiven Anregungen, die Sie mir entgegen gebracht haben.

Bei Herrn Dr. Laun sowie bei allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen am Queckbrunnerhof des Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz bedanke ich mich für die tatkräftige Mithilfe während der letzten vier Jahre. Besonders die freundliche Aufnahme, Hilfsbereitschaft und die anregenden Diskussionen haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Insbesondere Matthias Schlüpen und Lothar Rebholz, meinen beiden Kollegen am Queckbrunnerhof, danke ich für die allzeit umfassende Betreuung des Versuchsgewächshauses ZINEG und der durchgeführten Versuche.

Auch bei allen Mitarbeitern und Mitstreitern des ZINEG Projektes bedanke ich mich für die Unterstützung. Gerade die jährlichen Projekttreffen und die damit verbundene Möglichkeit meine Ergebnisse zu präsentieren und die anregenden Diskussionen waren für mich eine sehr große Hilfe bei der Erstellung meiner Doktorarbeit. Besonders Dr. Dennis Dannehl und Ingo Schuch danke ich für den stetigen Gedankenaustausch und die aufmunternden Worte zum Thema Doktorarbeit.

Herrn Prof. Dr. Heiner Lieth danke ich für die Aufnahme in sein Forschungsteam und für die umfassende Betreuung bei meinem Forschungsaufenthalt an der University of California, Davis in den USA. Fachlich, vor allem methodisch und persönlich konnte ich ungemein von dieser Erfahrung profitieren. Besonders die facettenreichen Diskussionen und die konstruktive Kritik gaben mir viele neue Anreize für meine Arbeit. Mein besonderer Dank geht auch an Frau Sharyn Lieth für die allzeit tolle Unterstützung, die ich erfahren habe.

Herrn Dr. Dannenberg spreche ich meinen Dank aus, dass er sich als Mentor im Rahmen des „Manage and More Stipendiatenprogramms“ Zeit genommen hat, um mich bei meiner Doktorarbeit und auch auf meinem persönlichen Lebensweg stets zu unterstützen.

Auch bei Herrn Prof. Dr. Hülsbergen bedanke ich mich für die fachliche Beratung und besonders für das umfangreiche Bereitstellen von Fachliteratur.

Meiner Mitbewohnerin Babara danke ich für die anregenden Diskussionen und vor allem für die moralische Unterstützung und die unvergesslich tolle Zeit während meiner Promotion.

Auch bei Dr. Arne Schieder und Dr. Daniela Röder vom Graduiertenzentrum Weihenstephan bedanke ich mich für die umfassende Unterstützung als Doktorandin.

Allen Mitarbeitern und Mitarbeiterin der UnternehmerTUM GmbH danke ich für die vielen Anregungen. Besonders bei den Betreuern des Manage and More Stipendiatenprogramms Frau Doris Prieller-Bruck, Sabrina Niederle, Isabella Pschorn, Petra Winter und meinen Mitstreitern bedanke ich mich, die mir durch diese Weiterbildung viele neue Anregungen vermittelt haben, die ich bei der Erarbeitung meiner Doktorthesis einsetzen konnte.

Für die wertvollen Anregungen und die moralische Unterstützung gerade in der Schlussphase meiner Arbeit bedanke ich mich bei Stefan.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern für die moralische Stütze, aber insbesondere für die allzeit umfangreiche und tolle Unterstützung auf meinen bisherigen Lebensweg.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	iv
Tabellenverzeichnis .....	vi
Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole.....	IX
1. Einleitung und Problemstellung .....	1
2. Stand des Wissens .....	2
2.1 Umweltmanagementsysteme.....	2
2.2 Systeme zur Bewertung von Umweltauswirkungen .....	5
2.2.1 Ökologische Buchhaltung.....	7
2.2.2 MIPS.....	8
2.2.3 PAS 2050.....	8
2.2.4 The Water Footprint Assessment Manual .....	9
2.2.5 PIUS .....	10
2.2.6 Ökobilanz.....	12
2.2.7 Richtlinien zur Bildung von Kennzahlen für die ökologische Bewertung .....	14
2.3 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Systeme zur Bewertung von Umweltauswirkungen .....	19
2.4 Ansätze in der Datenerfassung von Umweltauswirkungen.....	31
3. Zielsetzung .....	34
4. Material und Methoden.....	37
4.1 Beschreibung des Verbundprojektes ZINEG.....	37
4.2 Beschreibung des Versuchsgewächshauses .....	40
4.2.1 Standort und Lage .....	40
4.2.2 Konstruktion und technische Ausrüstung des ZINEG Gewächshauses .....	41
4.2.2.1 Grundkonstruktion.....	41
4.2.2.2 Gewächshausabteilung 1 .....	42
4.2.2.3 Gewächshausabteilung 2 .....	42
4.2.2.4 Gewächshausabteilung 3 .....	43
4.2.2.5 Zentrale Automatisierungstechnik des ZINEG Gewächshauses .....	43

4.3 Datenerfassung und Dokumentation .....	46
4.3.1 Darstellung der erfassten Ressourcen für die ökologische Bewertung .....	48
4.3.2 Datenquellen und Datentransfer .....	49
4.3.2.1 Regelungscomputer 1 (RAM).....	49
4.3.2.2 Regelungscomputer 2 (KliWaDu).....	49
4.3.2.3 Betriebsinterne Dokumentation des Kulturverfahrens.....	50
4.4 Grundauswertung .....	50
4.5 Durchführung der ökologischen Bewertung .....	53
4.5.1 Definition und Bestimmung der funktionellen Einheit .....	54
4.5.1.1 Gesamteinsatz.....	54
4.5.1.2 Einsatz pro Fläche .....	54
4.5.1.3 Einsatz pro mengenmäßige Produktionseinheit.....	54
4.5.2 Bewertung des Ressourcenverbrauches .....	56
4.5.2.1 Bewertung hinsichtlich der Ressourceneffizienz.....	56
4.5.2.2 Bewertung hinsichtlich des CO <sub>2</sub> -Äquivalents.....	56
4.6 Vergleich der ökologischen Bewertungen .....	58
4.6.1 Betriebsinterner Vergleich der Tomatenkulturen 2011 und 2012.....	58
4.6.2 Vergleich der verschiedenen CO <sub>2</sub> -Äquivalente beim Einsatz von unterschiedlichen Heizmaterialien.....	58
4.7 Pflanzenbauliche Versuche .....	59
4.7.1 Kulturversuch Salat.....	59
4.7.2 Kulturversuche Tomate.....	61
4.7.2.1 Kultivierung der Tomate in 2011 .....	62
4.7.2.2 Pflanzenbaulicher Versuch zur erntemengenspezifischen Verteilung des Ressourcenverbrauches .....	66
4.7.2.3 Kultivierung der Tomate in 2012 .....	66
5. Ergebnisse .....	69
5.1 Erntemengen der Tomatenversuche 2011 und 2012.....	70
5.1.1 Tomate 2011.....	70

5.1.2 Tomate 2012.....	71
5.2 Verteilung der Ressourcenverbräuche auf die funktionelle Einheit - 1 Kilogramm Tomate .....	73
5.2.1 ZINEG Gewächshaus.....	74
5.2.2 Gewächshausabteilung 1.....	77
5.2.3 Gewächshausabteilung 2.....	80
5.2.4 Gewächshausabteilung 3.....	83
5.3 Ergebnisse der Prozessdokumentation.....	86
5.3.1 Einmalige Ernte – Salat 2010 .....	86
5.3.2 Mehrmalige Ernte.....	92
5.3.2.1 Tomate 2011 .....	92
5.3.2.2 Tomate 2012 .....	98
5.4 Betriebsinterner Vergleich der Tomatenkulturen 2011 und 2012.....	103
5.4.1 Ressourceneffizienz.....	103
5.4.2 CO <sub>2</sub> -Äquivalente .....	105
5.5 Vergleich der CO <sub>2</sub> -Äquivalente beim Einsatz von fossilen und erneuerbaren Energieträgern .....	106
6. Diskussion und Schlussfolgerungen .....	110
6.1 Datengrundlage und –erfassung .....	110
6.2 Bewertungsansatz .....	111
6.3 Vollständigkeit.....	115
6.4 Aussagekraft und Übertragbarkeit der Fallbeispiele.....	116
6.5 Anwendbarkeit .....	120
7. Zusammenfassung .....	123
8. Summary .....	126
9. Literaturverzeichnis.....	128

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell des Umweltmanagement für die EN ISO 14001 .....	5
Abbildung 2: Arten von Kennzahlen .....	14
Abbildung 3: Klassen von Umweltkennzahlen.....	15
Abbildung 4: Menge an CO <sub>2</sub> -Äquivalenten pro 1000 kg geerntetes Produkt.....	29
Abbildung 5: Relative Zusammensetzung des CO <sub>2</sub> -Äquivalents bei verschiedenen Kulturen .....	30
Abbildung 6: Heizcontainer mit Wärmespeicher .....	44
Abbildung 7: Darstellung des modularen Aufbaus des KliWaDu-Systems .....	46
Abbildung 8: Schematische Übersicht von Datentransfer und –verarbeitung.....	47
Abbildung 9: Bepflanzungsplan der Gewächshausabteilungen 1 - 3 (Salat 2010).....	61
Abbildung 10: Bepflanzungsplan der Gewächshausabteilungen 1 - 3 (Tomate 2011).....	64
Abbildung 11: Bepflanzungsplan der Gewächshausabteilungen 1 - 3 (Tomate 2012).....	67
Abbildung 12: Zeitachse der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrüchte (ZINEG Gewächshaus) .....	74
Abbildung 13: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (ZINEG Gewächshaus)...	75
Abbildung 14: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (ZINEG Gewächshaus), aufgeteilt nach Ernteterminen .....	76
Abbildung 15: Zeitachse der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrüchte (Gewächshausabteilung 1).....	77
Abbildung 16: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 1).....	78
Abbildung 17: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 1), aufgeteilt nach Ernteterminen.....	79
Abbildung 18: Zeitachse der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrüchte (Gewächshausabteilung 2).....	80
Abbildung 19: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 2).....	81
Abbildung 20: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 2), aufgeteilt nach Ernteterminen.....	82
Abbildung 21: Zeitachse der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrüchte (Gewächshausabteilung 3).....	83
Abbildung 22: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 3).....	84

Abbildung 23: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 3), aufgeteilt nach Ernteterminen.....	85
Abbildung 24: Darstellung des Wasserverbrauches bei Salat 2010 .....	87
Abbildung 25: Zusammensetzung der CO <sub>2</sub> -Äquivalente in %, Salat 2010 .....	91
Abbildung 26: Darstellung des Wasserverbrauches bei Tomate 2011 .....	92
Abbildung 27: Zusammensetzung der CO <sub>2</sub> -Äquivalente in %, Tomate 2011 .....	97
Abbildung 28: Darstellung des Wasserverbrauches bei Tomate 2012 .....	98
Abbildung 29: Zusammensetzung der CO <sub>2</sub> -Äquivalente in %, Tomate 2012 .....	103
Abbildung 30: CO <sub>2</sub> -Äquivalent in kg für ein Kilogramm Tomaten .....	108

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kenngößen für den Bereich Ökologie (VDI Richtlinie 4070 Blatt 1).....	18
Tabelle 2:	Einzelbetriebliche landwirtschaftliche Umweltbewertungsverfahren .....	21
Tabelle 3:	Simulationsmodelle .....	22
Tabelle 4:	Lineare Optimierungsmodelle .....	23
Tabelle 5:	Expertensysteme .....	23
Tabelle 6:	Gewächshausabmessungen .....	41
Tabelle 7:	Heizwertrohdaten aus den Datenbanken GEMIS (2010) in MJ/Materialeinheit.....	53
Tabelle 8:	Heizwert in kWh/Heizmaterialeinheit .....	53
Tabelle 9:	CO <sub>2</sub> -Äquivalenzfaktor in kg/Heizmaterialeinheit .....	57
Tabelle 10:	CO <sub>2</sub> -Äquivalenzfaktor in kg/Verbrauchseinheit.....	57
Tabelle 11:	Prozentuale Aufteilung der Gesamternte des Ausbaus auf die einzelnen Gewächshausabteilungen.....	65
Tabelle 12:	Auflistung der Erntetermine und –mengen in Kilogramm (2011).....	70
Tabelle 13:	Aufteilung der Gesamternte des Ausbaus auf die einzelnen Gewächshausabteilungen in Kilogramm (2011).....	71
Tabelle 14:	Auflistung der Erntetermine und -mengen in Kilogramm (2012) .....	72
Tabelle 15:	Auswertung der generativen Phase (ZINEG Gewächshaus).....	76
Tabelle 16:	Auswertung der generativen Wachstumsphase (Gewächshausabteilung 1)..	79
Tabelle 17:	Auswertung der generativen Wachstumsphase (Gewächshausabteilung 2)..	82
Tabelle 18:	Auswertung der generativen Wachstumsphase (Gewächshausabteilung 3)..	85
Tabelle 19:	Wasserverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010 .....	87
Tabelle 20:	Verteilung des Elektroenergiebedarfs bei der Wärmemengengenerzeugung in %, Salat 2010 .....	88
Tabelle 21:	Elektroenergieverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010...	88
Tabelle 22:	Wärmemengen pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010 .....	88
Tabelle 23:	Heizmaterialverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010.....	89
Tabelle 24:	Düngemittelverbrauch (Vinasse) pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010.....	89
Tabelle 25:	Zeitlicher Ablauf des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, Salat 2010 .....	89
Tabelle 26:	Pflanzenschutzmittelverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010.....	90
Tabelle 27:	Verbrauchsgebundene CO <sub>2</sub> -Äquivalente pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010.....	90

Tabelle 28:	Wasserverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011.....	92
Tabelle 29:	Verteilung des Elektroenergiebedarfs bei der Wärmemengenerzeugung in %, Tomate 2011 .....	93
Tabelle 30:	Elektroenergieverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011.....	93
Tabelle 31:	Wärmemengen pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011.....	93
Tabelle 32:	Heizmaterial pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011.....	94
Tabelle 33:	Düngemittelverbrauch (Vinasse) pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011 .....	94
Tabelle 34:	Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2011, Abteilung 1.....	94
Tabelle 35:	Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2011, Abteilung 2.....	95
Tabelle 36:	Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2011, Abteilung 3.....	95
Tabelle 37:	Einsatz des Pflanzenschutzmittels Kumulus® WG pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch , Tomate 2011 .....	95
Tabelle 38:	Einsatz des Pflanzenschutzmittels Neudosan® Neu pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011 .....	96
Tabelle 39:	Einsatz des Pflanzenschutzmittels Spruzit® Neu pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011 .....	96
Tabelle 40:	Einsatz des Pflanzenschutzmittels HF Pilzvorbeuge pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch Tomate 2011 .....	96
Tabelle 41:	Verbrauchsgebundene CO <sub>2</sub> -Äquivalente pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011 .....	96
Tabelle 42:	Wasserverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012.....	98
Tabelle 43:	Verteilung des Elektroenergiebedarfs bei der Wärmemengenerzeugung in %, Tomate 2012 .....	99
Tabelle 44:	Elektroenergieverbrauch pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012.....	99
Tabelle 45:	Wärmemengen pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012.....	99
Tabelle 46:	Heizmaterial pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012.....	100

Tabelle 47:	Düngemittelverbrauch (Vinasse) pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012 .....	100
Tabelle 48:	Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2012, Abteilung 1.....	100
Tabelle 49:	Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2012, Abteilung 2.....	101
Tabelle 50:	Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2012, Abteilung 3.....	101
Tabelle 51:	Einsatz des Pflanzenschutzmittels Kumulus® WG pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012 .....	101
Tabelle 52:	Einsatz des Pflanzenschutzmittels HF Pilzvorbeuge pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012 .....	102
Tabelle 53:	Verbrauchsgebundene CO <sub>2</sub> -Äquivalente pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012 .....	102
Tabelle 54:	Vergleich des Ressourcenverbrauches pro kg Tomate der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 1) .....	104
Tabelle 55:	Vergleich des Ressourcenverbrauches pro kg Tomate der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 2) .....	104
Tabelle 56:	Vergleich des Ressourcenverbrauches der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 3).....	104
Tabelle 57:	Vergleich der CO <sub>2</sub> -Äquivalente der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 1).....	105
Tabelle 58:	Vergleich der CO <sub>2</sub> -Äquivalente pro kg Tomate der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 2) .....	105
Tabelle 59:	Vergleich der CO <sub>2</sub> -Äquivalente der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 3).....	106
Tabelle 60:	Wärmemengen für den Vergleich von Heizmaterialien bei Tomate 2012 pro Abteilung, pro m <sup>2</sup> und erntemengenspezifisch .....	106
Tabelle 61:	Menge an Heizmaterial für die Produktion von einem Kilogramm Tomate in 2012.....	107
Tabelle 62:	CO <sub>2</sub> -Äquivalente der verschiedenen Heizmaterialien für die Produktion von einem Kilogramm Tomate in 2012.....	107

## Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

ca.	circa
cm	Zentimeter
CO <sub>2</sub> -Äquivalente	Kohlenstoffdioxid Emissionsäquivalente
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DLR	Dienstleistungszentrum ländlicher Raum
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EMA	Environmental Management for Agriculture
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EMAS-VO	Eco Management and Audit Scheme Verordnung
ESI	Environmental Sustainability Index
ff.	folgende
ha	Hektar
jemih	Umweltinformationssystem
kg	Kilogramm
KliWaDu	Klima-Wasser-Dünger (Regelungstechnik)
km	Kilometer
KTBL	Kuratorium für Technik, Bauwesen und Landwirtschaft
KUL	Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung
KW	Kalenderwoche
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter

MIPS	Materialinput pro Serviceeinheit
MJ	Megajoule
Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter
OKFF	Oberkante Fertigfußboden
PAS 2050	Publicly Available Specification 2050
PIUS	Produktionsintegrierter Umweltschutz
RE	Rechnungseinheit: Maßzahl für die Umweltbelastung eines Unternehmens in der Ökologischen Buchhaltung (MÜLLER-WENK 1978)
REPRO	Computergestütztes Umwelt- und Betriebsmanagementsystem
RISE	Response-Inducing Sustainability Evaluation
UAG	Umweltauditgesetz (EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG), 2011).
USL	Umweltsicherungssystem Landwirtschaft
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
z.B.	zum Beispiel
%	Prozent

## 1. Einleitung und Problemstellung

Das Thema Ressourceneffizienz gewinnt in unserer Gesellschaft immer mehr an Bedeutung. So spielt auch in Landwirtschaft und im Gartenbau die effiziente Nutzung von Ressourcen bei der Produktion von Lebensmitteln eine wichtige Rolle. Der Unterglasgartenbau stellt eine wichtige Produktionsrichtung innerhalb des Gartenbaus dar. Hierbei werden gartenbauliche Produkte im geschützten Anbau kultiviert. Da eine Vielzahl von Ressourcen bei der Produktion im Gewächshaus eingesetzt wird, ist der nachhaltige und effiziente Umgang mit diesen wichtig.

Aufgrund des Drucks von Seiten der Öffentlichkeit, aber auch durch den Druck von politischer Seite, steigt der Anspruch, die Produktionsweise von Lebensmitteln objektiv und transparent zu kommunizieren. Deshalb nehmen die Anforderungen hinsichtlich der Dokumentation der Produktionsprozesse zu.

Informationsdruck herrscht nicht nur beim Handel direkt, sondern wird auch an die Gartenbaubetriebe weitergegeben. Sie müssen Rechenschaft in Form von Dokumentationsunterlagen an unterschiedlichste Gruppen ablegen. Der Handel fordert von seinen Lebensmittellieferanten und –produzenten schriftliche Nachweise, dass bestimmte Produktionsbedingungen eingehalten wurden. Beispielsweise müssen die bei GLOBAL GAP vorgeschriebenen sozialen und ökologischen Standards bei der Produktion eingehalten werden, was durch unabhängige Zertifizierungsgesellschaften überprüft wird.

Diese umfangreiche Beschaffung von Informationen kann sehr viel Zeit in Anspruch nehmen und Kosten verursachen und somit für einen Gartenbaubetrieb zu einer belastenden Aufgabe werden. Folglich sollte ein Dokumentations- und Bewertungssystem des Produktionsprozesses unterschiedliche Ansprüche der verschiedenen potentiellen Kundengruppen erfüllen, aber gleichzeitig geringen zusätzlichen Arbeitsaufwand für den Betrieb verursachen. Ein EDV-gestütztes Dokumentations- und Bewertungssystem gartenbaulicher Produktionsanlagen kann daher einen erheblichen Mehrwert für den Gärtner bedeuten.

Ein System, das diese Ansprüche erfüllen kann, sollte möglichst eigenständig und unabhängig Daten verwalten und auswerten. Die automatische Datenermittlung läuft hierbei über den Klimacomputer, der die Hauptdatenquelle darstellt. Zur Ergänzung des Datenpools sind nur wenige zusätzliche Informationen vom Gärtner einzugeben. Durch die produktbezogene Bewertung ist es dem Gärtner möglich, auf potentielle Anfragen seiner Kunden bezüglich der Ressourceneffizienz seiner Produktion schnell und einfach zu reagieren.

## 2. Stand des Wissens

Der Anspruch umweltbewusst und nachhaltig zu wirtschaften steigt. Um Aussagen über die Umweltauswirkungen, besonders der Ressourceneinsätze eines gartenbaulichen Produktionssystems treffen zu können, ist es unabdingbar, belastbare Zahlen zur Verfügung zu haben. Gerade die oft geforderte produktspezifische Bewertung von Umweltaspekten macht eine nachvollziehbare Zuordnung der einzelnen Umweltauswirkungen auf das verkaufsfähige Produkt notwendig.

### 2.1 Umweltmanagementsysteme

Um die Umweltleistung eines Unternehmens erfassen, bewerten und optimieren zu können, ist die Implementierung eines Umweltmanagementsystems notwendig. Dessen Kernaufgabe ist es, Umweltaspekte und die daraus entstehenden Umweltauswirkungen des unternehmerischen Handelns zu dokumentieren, zu bewerten und ständig zu verbessern. Die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung kann als Hilfsmittel innerhalb eines Umweltmanagementsystems gesehen werden.

Umweltmanagementsysteme stellen ein Instrument dar, innerhalb des Managements in einer Organisation Nachhaltiges Wirtschaften in einem Betrieb zu implementieren. Etabliert haben sich zwei Ansätze: die EN ISO 14001 (En ISO 14001 ff.) (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b) und die EG-Öko-Audit-Verordnung oder EMAS (EUROPÄISCHE WIRTSCHAFTSGEMEINSCHAFT (EWG), 1993), EMAS II Verordnung (EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG), 2001) bzw. EMAS III Verordnung (EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG), 2009). Die Umsetzung der aktuellen EMAS III Verordnung erfolgt durch das Umweltauditgesetz (EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG), 2011). In Aufbau und Inhalt ähneln sich die beiden Managementsysteme. Beide stellen eine Anleitung dar, die Umweltleistung eines Betriebes zu dokumentieren, zu kontrollieren und stetig zu verbessern und gegebenenfalls Maßnahmen umzusetzen, um diese Ziele zu erreichen. Seit 2001 ist die EN ISO 14001 in der EMAS-Verordnung in ihren Grundsätzen integriert (UMWELTGUTACHTERAUSSCHUSS (UGA), 2010). Auch die von vielen Betrieben angestrebte Zertifizierung kann bei beiden Normen erfolgen.

Die Anforderungen eines Umweltmanagementsystems nach EN ISO 14001 können folgendermaßen gegliedert werden (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b);

- **Allgemeine Anforderungen**

Bei der Einführung des Umweltmanagementsystems EN ISO 14001 ist darauf zu achten, dass die Anforderungen dieser Norm erfüllt werden. Dazu gehört auch, dass der Anwendungsbereich (Scope) festgelegt und dokumentiert wird.

- **Umweltpolitik**

Das oberste Führungsgremium eines Unternehmens muss seine Umweltpolitik und deren Anwendungsbereich festlegen. Die Umweltpolitik muss in ihrer Art und ihrem Umfang bezogen auf ihre Produkte oder Dienstleistungen gerechtfertigt sein. Die Verpflichtung der ständigen Verbesserung und Vermeidung von Umweltbelastungen und Einhaltung der geltenden rechtlichen Anforderungen ist ein zentraler Punkt. In der Umweltpolitik muss eine umweltbezogene Zielsetzung vorgesehen sein. Eine Dokumentation, Implementierung und Mitteilung an alle Mitarbeiter ist unabdingbar. Der Öffentlichkeit muss die Umweltpolitik einer Organisation zugänglich sein.

- **Planung**

Zuerst müssen für das jeweilige Produkt oder eine Dienstleistung die relevanten Umweltaspekte, die Auswirkungen auf die Umwelt haben bzw. haben können, identifiziert werden. Bei der Planung muss sichergestellt werden, dass die geltenden rechtlichen Verpflichtungen und Anforderungen (zu denen sich die Organisation verpflichtet hat) berücksichtigt und mit eingebunden werden. Die Zielsetzung und die damit verbundenen Einzelziele müssen mit der Umweltpolitik vereinbar, und somit in der Praxis umsetzbar und messbar sein. In einem Programm müssen die Verantwortlichen für das Erreichen dieser Zielsetzung festgehalten und ein Zeitrahmen bestimmt werden.

- **Verwirklichung und Betrieb**

Die praktikable Umsetzung der Umweltpolitik und ihre Planung sind für ein erfolgreiches Umweltmanagementsystem unabdingbar. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen ausreichend Ressourcen, unter anderem in Form von Personal und betriebsinterner Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden. Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Befugnisse müssen festgehalten und verteilt werden. Weiterhin ist entsprechendes qualifiziertes Personal mit der Umsetzung des Umweltmanagementsystems zu betrauen. Gegebenenfalls muss durch

Weiterbildung und Schulung der Kenntnisstand des qualifizierten Personals erhalten bzw. erhöht werden. Alle umweltrelevanten Informationen müssen verarbeitet, kommuniziert und dokumentiert werden. Es müssen eine Notfallvorsorge und eine Gefahrenabwehr bestehen, um schädliche Umweltauswirkungen zu verhindern oder wenigstens zu mindern.

- **Überprüfung**

Die Organisation muss ein Verfahren einführen, das es ihr erlaubt relevante Auswirkungen auf die Umwelt zu überwachen und zu messen. Bei der Messung ist es erforderlich, kalibrierte Messgeräte einzusetzen und deren Instandhaltung sicherzustellen. Wichtig ist es, Informationen zu dokumentieren und hinsichtlich der Umweltpolitik, der Zielsetzung und der umweltbezogenen Auswirkungen zu bewerten. Das interne Audit muss in festgehaltenen Abständen erfolgen und dient der Überprüfung des eingeführten Umweltmanagementsystems, seines Anwendungsbereiches und seiner Umweltaspekte. Gegebenenfalls müssen Änderungen, die zur Verbesserung beitragen, vorgenommen werden.

- **Managementbewertung**

In festgelegten Zeitabständen muss das oberste Führungsgremium das Umweltmanagementsystem hinsichtlich der Umweltpolitik, der Planung und der Verwirklichung bewerten. Hierbei müssen die Ergebnisse der internen Audits, sowie die Umweltleistung der Organisation aber auch externe Informationen (z.B. Beschwerden) ausgewertet werden. Gegebenenfalls müssen Änderungen an der Umweltpolitik, der Zielsetzung und anderen Stellschrauben vorgenommen werden, um die Verpflichtung der ständigen Verbesserung einzuhalten.

Abbildung 1 veranschaulicht den Aufbau und die bereits beschriebenen Kernanforderungen der EN ISO 14001. Zu betonen ist vor allem auch, dass ein Umweltmanagementsystem eine ständige Verbesserung der Umweltsleistung einer Organisation herbeiführen soll bzw. muss (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b).

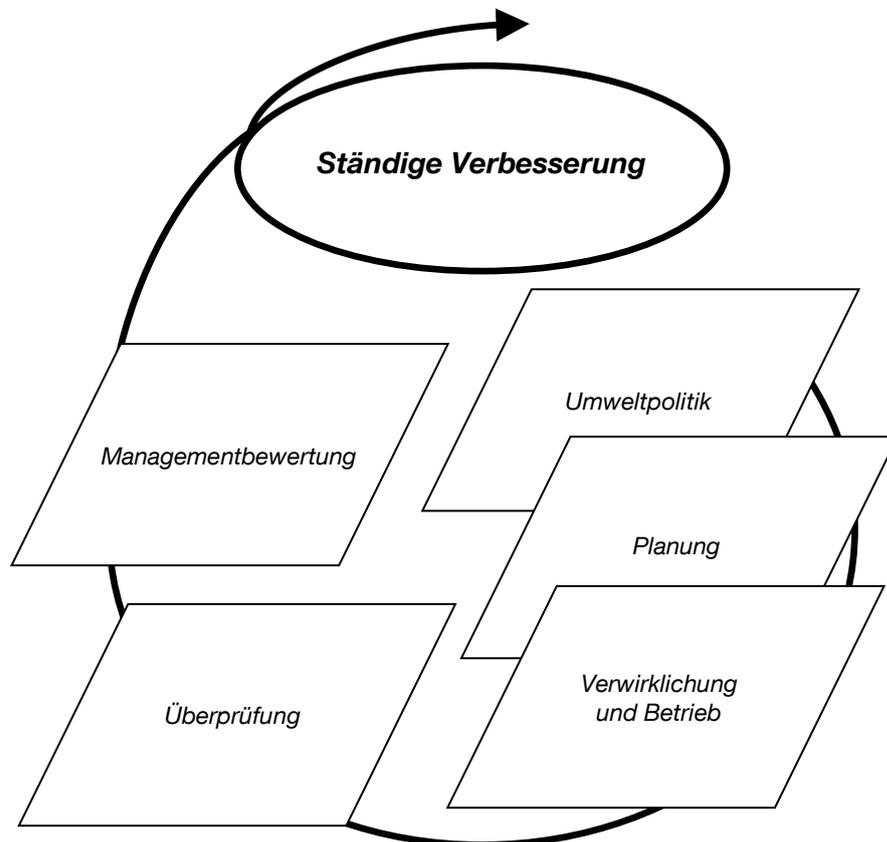


Abbildung 1: Modell des Umweltmanagement für die EN ISO 14001 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b) (verändert)

Somit ist die Identifizierung und Dokumentation aller relevanten Umweltaspekte ein Kernpunkt eines Umweltmanagementsystems (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b). Allerdings muss der Aufwand für die Datenerfassung verhältnismäßig sein. Die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung kann als Hilfsmittel innerhalb eines Umweltmanagementsystems gesehen werden. Sie stellt ein Instrument dar, um ausgewählte Ressourcenverbräuche einfach und schnell dokumentieren und bewerten zu können.

## 2.2 Systeme zur Bewertung von Umweltauswirkungen

Allen ökologischen Bewertungsmethoden gemein ist, dass an sie selbst bestimmte Anforderungen gestellt werden. So ist ein wichtiges Kriterium die Angemessenheit der

Bewertungsmethoden. Untersuchungsgegenstand, Umfang, Arbeitsaufwand und die Zielsetzung müssen im Verhältnis zum Nutzen der ökologischen Analyse stehen. Grundsätzlich kann zwischen einem umfassenden und einem partiellen Bewertungsverfahren unterschieden werden. Weitere Anforderungen für eine ökologische Schwachstellenanalyse sind die Standardisierung und Transparenz, die Bezugnahme auf das jeweilige Umweltkriterium, eine ökologische selbstverpflichtende Unternehmensführung sowie die Berücksichtigung rechtlicher Vorschriften z.B. der EG-Öko-Audit und eine EDV-Aufbereitung der Ergebnisse (BUNDESUMWELTMINISTERIUM UND BUNDESUMWELTAMT, 2001).

Es gibt zahlreiche Ansätze Umwelleistungen eines Produktionssystems zu erfassen und zu bewerten. Die unterschiedliche Herangehensweise und Vielfältigkeit erschwert einen Vergleich. Grundsätzliches Ziel ist die Bewertung von Umweltauswirkungen, um konkrete Aussagen über die Umwelleistung eines Prozesses treffen zu können. Nach BAUERSACHS (2005) unterscheiden sich die Ansätze prinzipiell bei:

**Umfang und Eigenschaft der Datenbasis:** der Datenpool selbst lässt sich in quantitative und qualitative Daten unterteilen. Bei der Auswertung von quantitativen Daten kann zwischen monetären und nicht-monetären Ansätzen unterschieden werden.

**Niveau der Datenaggregation:** allen Ansätzen gemeinsam ist eine Datenaggregation. Der Unterschied liegt im Umfang der Zusammenfassung der Daten. Bei der Ökologischen Buchhaltung (2.2.1) und MIPS (2.2.2) werden die Daten zu einer einzigen Größe und bei der Ökobilanz (2.2.6) und den Kennzahlen für das Umweltmanagement (2.2.7) zu mehreren Größen aggregiert. Die Kategorisierung zu einer einzelnen Kenngröße ist einfach und übersichtlich zu vergleichen. Allerdings verliert das Ergebnis an Schärfe und Aussagekraft durch den Informationsverlust. Folglich gehen die Transparenz und Nachvollziehbarkeit mit steigender Verdichtung verloren.

**Bewertungsansatz:** Durch die Bewertung anhand von einer oder nur weniger Kenngrößen ist es notwendig, dass das zugrunde liegende Verfahren stark schematisiert wird. Dadurch wird die Vergleichbarkeit vereinfacht und eine Automatisierung der Prozesse ermöglicht. Bei diesen hochformalisierten quantitativen Ansätzen gehen individuelle Aspekte verloren. Bei einer verbalen und kommentierten Wiedergabe der Basisdaten bei den verbalargumentativen bzw. qualitativen Ansätzen kann individuellen Aspekten Rechnung getragen werden. Dadurch können sowohl „weiche,, als auch „schwer quantifizierbare“ Aspekte in die Bewertung mit einfließen.

Im Folgenden werden einige ausgewählte Bewertungsansätze kurz inhaltlich beschrieben.

### 2.2.1 Ökologische Buchhaltung

Die ökologische Buchhaltung ist ein nicht-monetäres Informations- und Bewertungssystem. Sie ist analog zur klassischen Buchhaltung. Entwickelt wurde sie von MÜLLER-WENK (1978). Umweltbelastungen und -entlastungen werden in physikalischen Einheiten (z.B. kg) angegeben und auf Entnahme- bzw. Abgabekonten verbucht. Die Gewichtung der einzelnen Faktoren erfolgt mittels Äquivalenzkoeffizienten. Diese spiegeln die ökologische Knappheit wieder. Unterschieden werden kann zwischen der Ratenknappheit für regenerative und der Kumulativknappheit für nicht regenerative Ressourcen. Nach MÜLLER-WENK (1978) werden die Äquivalenzfaktoren folgendermaßen berechnet.

Äquivalenzkoeffizienten der Ratenknappheit

$$\ddot{A}K_R = \frac{1}{F_K - F} \times \frac{F}{F_K} \times 10^{12} \left[ \frac{RE}{kg} \right]$$

$F_K$  kritische Grenze, bei der inakzeptable Wirkungen eintreten d.h. wenn  $F=F_K$

$F$  jährlicher Verbrauch einer Ressource bzw. Verschmutzung eines Umweltgutes

$RE$  Rechnungseinheit

Um den Äquivalenzfaktor der Ratenknappheit zu berechnen, wird der Faktor 1 durch die Differenz aus der kritischen Grenze  $F_K$  und dem jährlichen Verbrauch  $F$  berechnet und mit dem jährlichen Verbrauch  $F$  durch die kritische Grenze  $F_K$  multipliziert. Wenn Werte aus der Praxis für  $F_K$  und  $F$  eingesetzt werden, ergeben sich meist hohe negative Zehnerpotenzen, deshalb wird das Ergebnis mit  $10^{12}$  multipliziert, um diese Eigenschaft zu beseitigen (MÜLLER-WENK, 1978).

Äquivalenzkoeffizienten der Kumulativknappheit

$$\ddot{A}K_K = \frac{1}{R - nF} \times \frac{nF}{R} \times 10^{12} \left[ \frac{RE}{kg} \right]$$

$R$  Höhe der vorhandenen Reserve einer Ressource

$nF$  Anzahl der Jahre, in denen die vorhandenen Ressourcen den jährlich Verbrauch an Ressourcen decken

$RE$  Rechnungseinheit

Der Äquivalenzfaktor der Kumulativknappheit wird analog zur Ratenknappheit berechnet. Allerdings wird die Anzahl der Jahre miteingerechnet, in denen die vorhandenen Reserven den jährlichen Verbrauch an Ressourcen decken (MÜLLER-WENK, 1978).

Die Umweltbelastungen und –entlastungen werden zu einer Größe aggregiert. Allerdings ist durch die Gewichtung die Vergleichbarkeit weiterhin gewährleistet. Die aggregierten Größen können dann einem internen zeitlichen Vergleich bzw. einem Benchmarking unterzogen werden. Insgesamt ist die ökologische Buchhaltung in der Praxis schwer umzusetzen aufgrund der Problematik der Messbarkeit der einzelnen Umwelteinflüsse (BURSCHEL et al., 2004) bzw. (MÜLLER CHRIST, 2001).

### 2.2.2 MIPS

Die MIPS Methode wurde entwickelt, um eine steigende Ökoeffizienz bewerten zu können. MIPS bedeutet Materialinput pro Serviceeinheit und gibt die Materialintensität an Ressourcen an, die benötigt wird, um ein Produkt (hier Serviceeinheit) herzustellen. Beschrieben werden kann sie wie folgt:

$$MIPS = \frac{MI}{S} = \frac{\sum(Mi \times MIMi)}{S}$$

MI (Materialinput)

Mi (Materiale i (wobei i=1,...n))

MIMi (Materialintensität des Material i)

S (Serviceeinheit)

Nach SCHMIDT-BLEEK (2004) stellt der Materialinput multipliziert mit der benötigten Menge den ökologischen Rucksack eines Produktes dar. Der Hauptkritikpunkt ist allerdings, dass keine Gewichtung der einzelnen eingesetzten Materialien bezogen z.B. auf Toxizität erfolgt, und es damit zu einer Verzerrung der berechneten MIPS kommen kann (MÜLLER CHRIST, 2001).

### 2.2.3 PAS 2050

Der PAS 2050 (Publicly Available Specification 2050) ist ein vom Department for Business, Innovation and Skills entworfene britische Richtlinie. Angelehnt ist sie an die Normen BS EN ISO 14040 und 14044. Ziel ist es die CO<sub>2</sub>-Äquivalente eines Produktes auf seinem gesamten Lebensweg zu erfassen. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent wird als Bewertungsgrundlage bei der Betrachtung des Erwärmungspotentials von Treibhausgasen zugrunde gelegt. Die erarbeiteten Ergebnisse sind vor allem für den internen Informationsaustausch vorgesehen. Es sollen anerkannte Methoden wie beispielsweise die Ökobilanzierung nach der BS EN ISO 14040 verwendet werden. Weiterhin sind die Grundsätze der Datenrelevanz und -gesamtheit, die Kontinuität in der angewandten Methodik, die Genauigkeit und die Transparenz des Verfahrens zu beachten. Die Datenbasis kann durch Messung, Berechnung oder Schätzung ermittelt werden. Allerdings muss auf die Qualität der Daten geachtet

werden, um ein zuverlässiges und aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Auch die Systemgrenzen müssen zu Beginn beschrieben werden. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt wie bei anderen Normen und Richtlinien auch in Form eines relativen Bezuges, der funktionellen Einheit. Wichtig hierbei ist die Verwendung einer gängigen Größe als Bezugsebene, zum Beispiel bei Gemüse ein Kilogramm. Bei der Kennzahlenbildung ist in der Praxis auf die unterschiedliche Aussagekraft von absoluten Mengen und gebildeten Verhältnissen zu achten. Gerade absolute Verbräuche und Emissionen sind wenig geeignet, um Vergleiche anzustellen. Da rein theoretisch die Bildung von Verhältnissen aus allen Daten möglich ist, ist auf eine sinnvolle und zweckmäßige Kennzahlenbildung zu achten. Folglich sind Verhältnisse zwischen dem Verbrauch oder der Emission in Bezug auf eine Zeitreihe oder (betriebswirtschaftliche) Leistung vorzuziehen (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2011).

#### **2.2.4 The Water Footprint Assessment Manual**

Von HOEKSTRA et al. (2003) wurde ein Konzept zum Wasser-Fußabdruck entworfen, welches durch die Water Footprint Network zu einem globalen Standard weiter entwickelt wurde. Die Erarbeitung eines Wasser-Fußabdrucks gliedert sich in vier Phasen. Allerdings ist eine Betrachtung einer oder mehrerer ausgewählter Phasen in separaten Studien möglich.

Phase 1: Setzen von Zielen und Systemgrenzen

Phase 2: Berechnen des Wasser-Fußabdruckes

Phase 3: Beurteilen hinsichtlich der Nachhaltigkeit

Phase 4: Formulieren hinsichtlich der Verantwortlichkeit

Unterteilt wird der Wasser-Fußabdruck weiterhin in drei Kategorien; Blauer Wasser-Fußabdruck (Grundwasser), Grüner Wasser-Fußabdruck (Regenwasser) und Grauer Wasser-Fußabdruck (Abwasser). Die verwendeten Daten werden hinsichtlich ihrer Qualität beurteilt und in drei Level unterteilt; globale Durchschnittsdaten (Level A), nationale Durchschnittsdaten (Level B) und geographisch und zeitlich abhängige erhobene Daten (Level C). Die Berechnung und Darstellung des Wassers-Fußabdrucks erfolgt ebenfalls in relativen Bezügen. So wird der Wasserverbrauch quantifiziert als Volumen pro Zeiteinheit, pro Produkteinheit, pro Fläche oder pro Ertrag. Somit steht bei der Bewertung der Produktion auch die Wassereffizienz im Vordergrund. Nachfolgendes Beispiel gibt Klärung, wie der Wasserverbrauch bei einer mehrjährigen Kultur zu bewerten ist. Bei einem Baum mit einer 20 jährigen Lebensdauer, bei dem allerdings erst nach sechs Jahren geerntet werden kann, wird der gesamte Wasserverbrauch (über einen Zeitraum von 20 Jahren) mit der Ernte aus 15 Jahren ins Verhältnis gesetzt.

Eine wichtige Phase (Phase 3) ist die Beurteilung des berechneten Ergebnisses hinsichtlich der Nachhaltigkeit. Hierbei wird vor allem auf die Beziehung zwischen der Knappheit oder Verfügbarkeit der Ressource Wasser, der Verursachung von negativen Umweltauswirkungen und dem Entstehen von sozialen Problemen durch den Verbrauch dieser geachtet. So wird die Nachhaltigkeit anhand geographischer und zeitlicher Verfügbarkeit anhand von Hotspots bewertet. Unter Hotspot wird eine Zeitspanne verstanden, in der es kritisch ist Wasser zu entnehmen (z.B. Trockenperiode).

### 2.2.5 PIUS

PIUS bedeutet Produktionsintegrierter Umweltschutz. Diese Richtlinie vom Verein Deutscher Ingenieure richtet sich vorwiegend an die Praktiker von kleinen und mittleren Unternehmen, die bei ihren Modernisierungs- und Produktionsprozessen auf die Kenntnisse beim Produktionsintegrierten Umweltschutz zurückgreifen wollen. Ziel ist es, durch technische und organisatorische Maßnahmen innerhalb der Produktionsabläufe Umweltbelastungen zu verringern. Ein wichtiger Punkt hierbei ist der geringere Einsatz von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie die effiziente Nutzung von Energieträgern (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2005). Dieser Anspruch der effizienten Ressourcennutzung wird auch in den Kriterien und Anforderungen der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ als hoher Stellenwert betont (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2006).

PIUS misst sich an den Kriterien der VDI Richtlinie „Nachhaltiges Wirtschaften“, welche im Kapitel 2.2.7 näher erläutert wird. Um das PIUS-Potenzial eines Produktionsprozesses bestimmen zu können, muss eine strukturierte und systematische Analyse des Ist-Zustandes erfolgen.

Nach der PIUS VDI Richtlinie 4075 Blatt 1 kann diese in sechs Schritte gegliedert und wie folgt beschrieben werden:

#### 1. Schritt: Festlegung der Wirkungsgrenzen

Im ersten Schritt werden die Grenzen der Analyse festgelegt. Diese können beschränkt sein auf einzelne Produktionsprozesse, Anlagen oder Standorte. Entscheidend für die Auswahl der Wirkungsgrenzen ist die Komplexität des zu untersuchenden Sachverhaltes und dessen Umweltrelevanz.

#### 2. Schritt: Identifikation der Ein- und Ausgangsströme

Nach einer Analyse der Ressourcenverbräuche werden die jeweiligen Ein- und Ausgangsströme innerhalb der Wirkungsgrenzen identifiziert und dokumentiert. Erfasst werden die Menge und die entstanden Kosten. Als Beispiel für die

Eingangsströme (Input) können Rohstoffe, Vorprodukte, Frischwasser, Energie und Hilfsstoffe bezeichnet werden. Zu den Ausgangsströmen (Output) können Produkte, Abwärme, Emissionen, Abfall, Abwasser, energiereiche Strahlung und Lärm gezählt werden.

### 3. Schritt: Feststellung der Rahmenbedingungen

Unter Rahmenbedingungen werden Zulässigkeitsbeschränkungen oder auch betriebsinterne Vorgaben verstanden. Es müssen somit Grenz- und Richtwerte festgelegt werden, um rechtliche, standortbezogene oder auch unternehmensbezogene Vorgaben zu überwachen und gegebenenfalls handeln zu können.

### 4. Schritt: Auswahl und Darstellung der Ein- und Ausgangsströme

Nachdem im zweiten Schritt die Ein- und Ausgangsströme identifiziert wurden, werden hier umwelt- und kostenrelevante In- und Outputs ausgewählt und eine Ist-Situation abgebildet. Wichtig ist hierbei eine Betrachtung und Auswahl hinsichtlich der wesentlichen Umweltbelastungen auch in Bezug auf die festgesetzten Rahmenbedingungen, der größten Ressourcenverbräuche und der verursachten höchsten Kosten.

### 5. Schritt: Analyse des PIUS-Potenzials

Unter dem PIUS-Potenzial wird das Verbesserungs- und Optimierungspotenzial verstanden, welches sich innerhalb von Prozessen oder Teilprozessen bei den einzelnen umwelt- und kostenrelevanten Einzahlungs- und Auszahlungsströmen ergibt. Das PIUS-Potenzial stellt hauptsächlich Umweltbelastung, Energieverbrauch und Materialeinsatz unter Berücksichtigung der entstanden Kosten dar. Ziel ist es, die für Kosten und Umwelt effektivsten Maßnahmen zu sondieren und umzusetzen.

### 6. Schritt: Darstellung des Verbesserungspotenzials durch PIUS im Vergleich zur Ist-Situation

Um den jeweiligen Entscheidungsträgern die Präsentation der Ergebnisse der PIUS Analyse zu erleichtern, werden die einzelnen Minderungspotenziale und der IST-Zustand in einer Übersicht gegenübergestellt. Dadurch kann die Relevanz der einzelnen Maßnahmen besser beurteilt werden.

Die Erfassung und Dokumentation der Daten ist auch beim Produktionsintegrierten Umweltschutz unabdingbar, um genaue Kenntnisse über den Ist-Zustand zu gewinnen. Die Umsetzung obliegt dem Unternehmen selbst, es wird lediglich eine unternehmensbezogene Dokumentation und die Umsetzung des Ergebnisses der bereits genannten sechs Schritte

empfohlen. Wichtig ist vor allem, dass betriebsspezifische Daten ihre Anwendung finden. Auch eine Ressourcenanalyse und eine Beurteilung der Relevanz und der jeweiligen Schwerpunkte sollte durchgeführt werden.

Eine Checkliste wurde von der Effizienz-Agentur NRW im sogenannten PIUS-Check® als Vorlage und Hilfestellung entwickelt und eingesetzt (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2005).

### **2.2.6 Ökobilanz**

Die Ökobilanz (EN ISO 14040) ist eine europäische Norm. Sie ist eine der zentralen Methoden, um ein Produkt bzw. eine Dienstleistung hinsichtlich seiner Umweltauswirkungen von der „Wiege bis zur Bahre“, also über dessen gesamten Lebensweg zu erfassen und zu bewerten. Gegliedert und beschrieben werden kann sie durch folgende vier Phasen.

#### **1. Phase: Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen**

Bei der Erstellung einer Ökobilanz wird zuerst die Zielsetzung erarbeitet. In dieser werden die beabsichtigte Anwendung, die Gründe für die Erstellung der Studie, die Zielgruppe und die Art der Berichterstattung festgelegt. Um die Breite, Tiefe und Einzelheiten der Ökobilanz schnell einordnen zu können, muss der Untersuchungsrahmen exakt definiert werden. Hierzu gehört eine Vielzahl von Punkten, die beachtet werden müssen. Im Folgenden werden die wichtigsten Punkte herausgegriffen und näher beschrieben.

Besonders wichtig ist die Festlegung der funktionellen Einheit. Durch diese wird ein relativer Bezug zwischen Input und Outputs geschaffen, der für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen wichtig ist. Weiterhin ist die Bestimmung des Referenzflusses von Bedeutung, um die mittlere Menge eines Prozesses erfassen zu können. Unter dem Referenzfluss wird ein „Maß für die Outputs von Prozessen eines vorhandenen Produktsystems, die zur Erfüllung der Funktion, ausgedrückt durch die funktionelle Einheit, erforderlich sind“ (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009a) verstanden. Auch die Festlegung der Systemgrenzen des zu untersuchenden Systems und die Beschreibung der vorhandenen Datenqualität sind ein wichtiger Bestandteil des Untersuchungsrahmens.

#### **2. Phase: Sachbilanz-Phase**

Die Sachbilanz-Phase ist ein iterativer Prozess und umfasst die Erhebung und Berechnung von Daten zur Erfassung relevanter Input- und Outputflüsse eines Produktsystems. Der Prozess der Datenerhebung kann sehr aufwendig sein und gegebenenfalls zu Einschränkungen führen, die im Untersuchungsrahmen angegeben sein müssen. Bei der Berechnung der erhobenen Daten ist neben dem

Berechnungsverfahren selbst auf eine Validierung der Daten und des Bezuges der Daten auf die einzelnen Prozessmodule bzw. auf den Referenzfluss der funktionellen Einheit zu achten. Bei der Berechnung von Produktionssystemen, die mehrere Produkte hervorbringen, ist eine Zuordnung der Umweltauswirkungen (Allokationsverfahren) durchzuführen.

### 3. Phase: Wirkungsabschätzung

Ein wichtiger Bestandteil der Ökobilanz ist eine Abschätzung der Umweltauswirkungen auf Grundlage des Ergebnisses der Sachbilanz. Hierbei werden die berechneten Daten der Sachbilanz einzelnen Wirkungskategorien zugeordnet und mit Indikatorwerten verglichen. Eine kritische Betrachtung und Bewertung hinsichtlich eventuell fehlender räumlicher und zeitlicher Dimension des Vergleiches und die im Untersuchungsrahmen festgelegten zu untersuchenden Umweltthemen wird empfohlen.

### 4. Phase: Auswertung

Die Auswertung soll im Hinblick auf das festgelegte Ziel und den Untersuchungsrahmen erfolgen. Dazu werden die Ergebnisse der Sachbilanz-Phase und der Wirkungsabschätzung gemeinsam und nach potenziellen Umweltwirkungen betrachtet.

Die gewonnenen Ergebnisse in den einzelnen Phasen werden in Form eines umfassenden Berichtes an die Zielgruppe aufbereitet. Dieser beinhaltet eine Darstellung der einzelnen Phasen, der verwendeten Daten, Annahmen und gegebenenfalls benutzte Einschränkungen. Zuletzt wird eine kritische Prüfung der erstellten Ökobilanz durchgeführt. Hierbei ist vor allem zu klären, ob die Anforderungen an Methodik, Daten, Auswertung und Berichterstattung den Grundsätzen einer Ökobilanz entsprechen. Die Prüfung kann durch einen internen, externen oder einen Ausschuss aus interessierten Kreisen vorgenommen werden (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009a).

### 2.2.7 Richtlinien zur Bildung von Kennzahlen für die ökologische Bewertung

Das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt haben gemeinsam im Handbuch Umweltcontrolling Umweltkennzahlen beschrieben. Nach STAEHLE (1969) können betriebliche Kennzahlen grundsätzlich als absolute Zahlen oder Verhältniszahlen verstanden werden. Abbildung 2 zeigt die weitere Unterteilung dieser Kennzahlen.

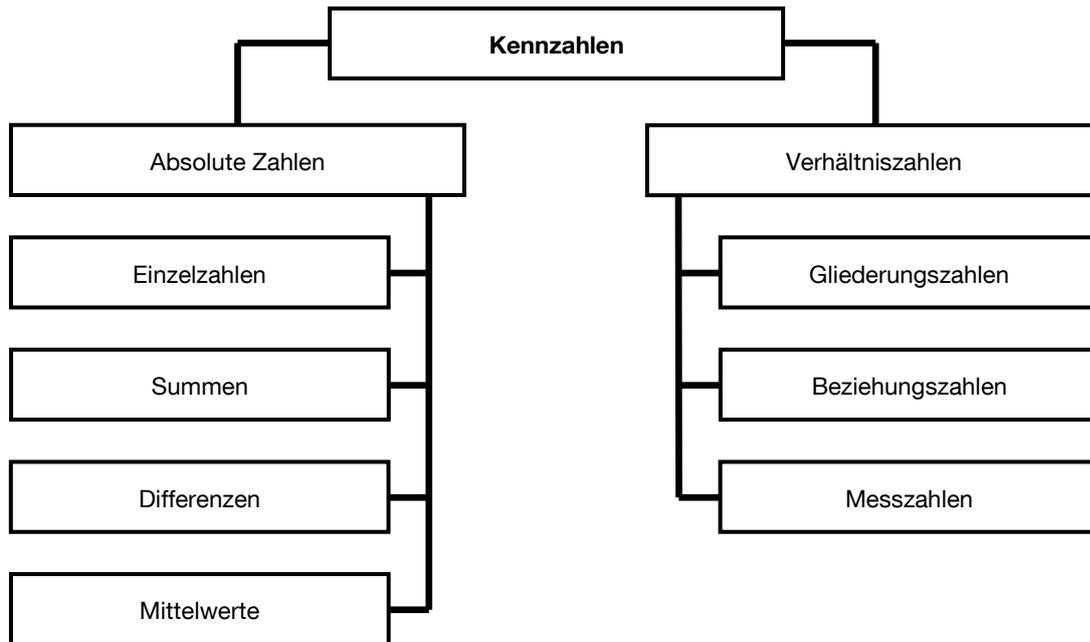


Abbildung 2: Arten von Kennzahlen  
(BUNDESUMWELTMINISTERIUM und BUNDESUMWELTAMT, 2001) (verändert)

Im Umweltcontrolling werden die ermittelten Umweltkennzahlen in drei Klassen unterteilt: Umweltleistungskennzahlen, Umweltmanagementkennzahlen und Umweltzustandsindikatoren. In Abbildung 3 wird die Zuordnung einiger ausgewählter Umweltaspekte zu den drei Klassen veranschaulicht.

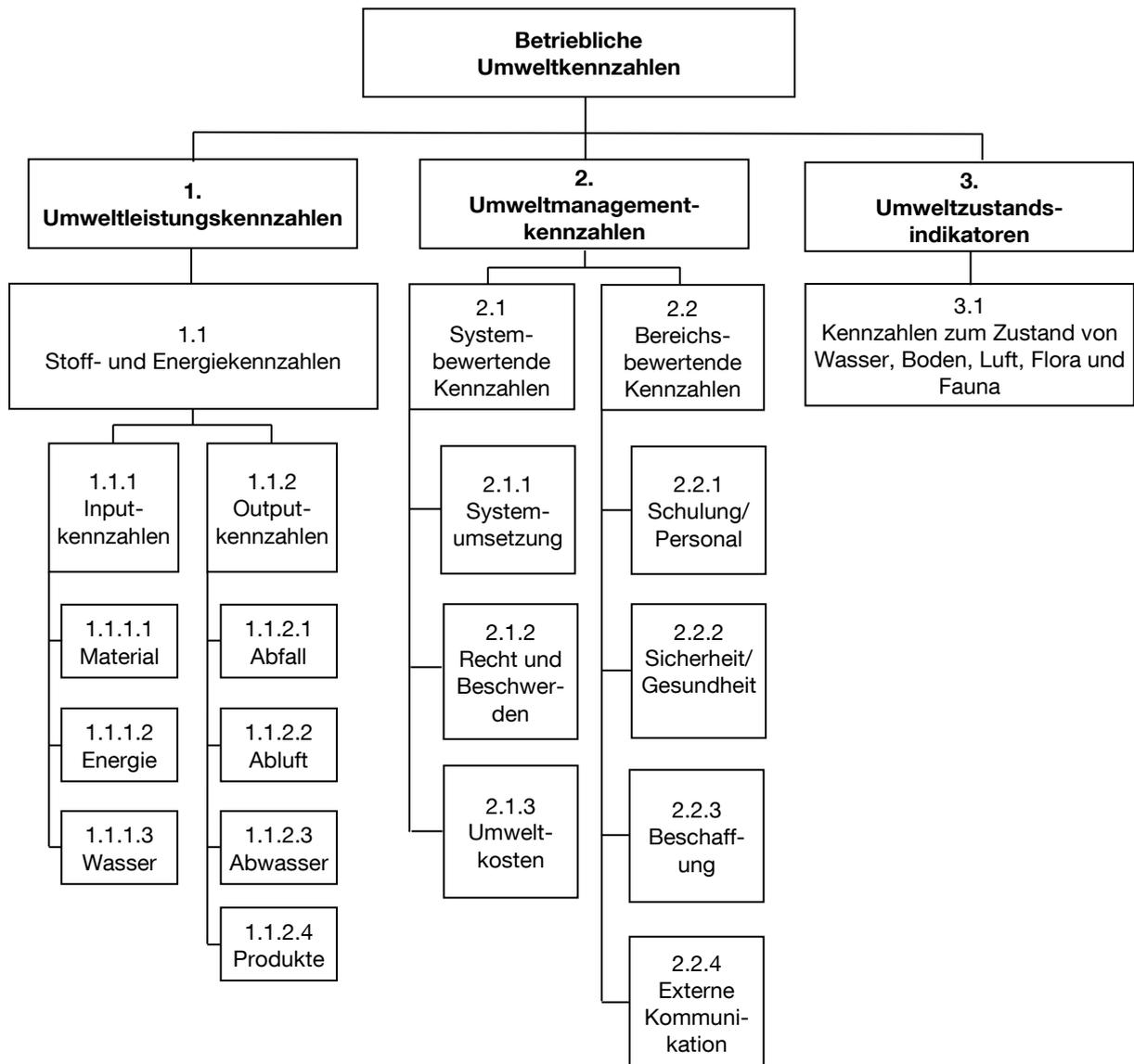


Abbildung 3: Klassen von Umweltkennzahlen  
(BUNDESUMWELTMINISTERIUM und BUNDESUMWELTAMT, 2001) (verändert)

### Umwelleistungskennzahlen

Sie messen die tatsächlichen Umweltauswirkungen einer Organisation und sind besonders als Einstieg geeignet. Wie Abbildung 3 zeigt, lässt sich diese Klasse (hierzu gehören die Stoff- und Energiekennzahlen) weiter unterteilen,

bei Energie wird beispielsweise zwischen drei Berechnungsarten unterschieden;

$$(1) \text{ Gesamtenergieeinsatz} = \text{Einsatz der einzelnen Energieträger [MWh]}$$

$$(2) \text{ Energieträgeranteil} = \frac{\text{Einsatz des Energieträgers [MWh]}}{\text{Gesamtenergieeinsatz [MWh]}}$$

$$(3) \text{ Spezifischer Energieeinsatz} = \frac{\text{Gesamtenergieeinsatz [kWh]}}{\text{Produkteinheit [kg oder Stück]}}$$

Gerade für kleine und mittlere Betriebe sind die Umwelleistungskennzahlen ein wichtiges Hilfsmittel, um eine ökologische Bewertung ohne großen Arbeitsaufwand durchführen zu können (BUNDESUMWELTMINISTERIUM UND BUNDESUMWELTAMT, 2001).

### Umweltmanagementkennzahlen

Sie stellen die Maßnahmen eines Unternehmens dar, um die negativen Umweltauswirkungen des Unternehmens zu mindern. Hierbei können die Kennzahlen ein wichtiges Instrument zur Steuerung sein.

### Umweltzustandsindikatoren

Durch diese wird die Qualität der Unternehmensumgebung, bezogen auf die Umwelt, charakterisiert. Dadurch kann ein Bezug zwischen einem Unternehmen und seiner Tätigkeit und eventuellen lokalen Umweltproblemen abgebildet werden.

Innerhalb der einzelnen Klassen kann ein Vergleich über einen bestimmten Zeitraum, ein Soll-Ist-Vergleich oder ein Betriebsvergleich durchgeführt werden (BUNDESUMWELTMINISTERIUM UND BUNDESUMWELTAMT, 2001).

Kenngößen sind zur Beschreibung des Ergebnisses ein probates Mittel, um komplexe Prozesse einfacher und vergleichbarer zu erfassen. Vor allem bei der betriebswirtschaftlichen ökonomischen Betrachtung ist eine Bewertung durch Kenngößen ein etabliertes und standardisiertes Verfahren (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2006).

Aber auch um soziale und ökologische Aspekte eines Unternehmens zu erfassen und zu bewerten, ist eine Aggregation von Daten zu einer oder mehreren Kenngößen eine geeignete Methode (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2006). Für die ökologische Bewertung

durch Kennzahlen gibt es unterschiedliche methodische Ansätze und Zielsetzungen, diese werden im Folgenden beschrieben.

In der VDI Richtlinie 4070 Blatt 1 werden ausgewählte Kenngrößen zur Bewertung des Nachhaltigen Bewirtschaftens eines Betriebes herangezogen. Vorbilder für diese VDI Richtlinie sind im Bereich Qualität die DIN ISO 9001 und im Bereich Umweltschutz die EN ISO 14001 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2006).

Tabelle 1 zeigt die von der VDI Richtlinie vorgeschlagenen Kenngrößen im Bereich Ökologie. Diese Kenngrößen können auf eine gesamte Organisation oder Teile davon angewendet werden (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2006).

Tabelle 1: Kenngrößen für den Bereich Ökologie (VDI Richtlinie 4070 Blatt 1)  
(VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2006) (verändert)

Kenngrößen	Berechnung	Einheit
Empfohlene Kenngrößen		
1. Rohstoffeinsatz	Ggf. Differenzierung nach Rohstoffen, nachwachsenden Rohstoffen, Hilfs- und Betriebsstoffen	[ME]
2. Energieverbrauch	Ggf. Differenzierung	[ME]
3. Wasserverbrauch	Ggf. Differenzierung nach Frischwasser und Brauchwasser	[ME]
4. Abwassermenge	Ggf. Differenzierung nach unbelastet, mit Schadstofffracht	[ME]
5. Emissionen in der Luft **)	z. B. CO <sub>2</sub> - Emissionen, Schwefeldioxid, Stickoxide, VOC, Staub, Schwermetalle	[ME]
6. Emissionen ins Abwasser **)	z. B. Chemischer Sauerstoffbedarf, Gesamt-Stickstoff, Gesamt-Phosphor, Schwermetalle	[ME]
7. Abfall	Abfallmenge, davon gefährliche Abfälle	[ME]
Weiterführende Kenngrößen		
8. Gefahrstoffe	Auflistung gemäß Gefahrstoffverordnung	[ME]
9. Gefahrstoffanteil	$(\text{Gefahrstoffmenge [ME]}) / (\text{Rohstoffeinsatz [ME]}) \times 100$	%
10. Anzahl genehmigungspflichtiger Anlagen		[ME]
11. Anteil des Einsatzes recycelter Materialien	$(\text{Anteil recycelter Materialien [ME, GE]}) / (\text{Gesamtmaterial Einsatz [ME, GE]}) \times 100$	%
12. Anteil regenerativer Energiequellen	$(\text{gedeckter Bedarf aus regenerativen Energiequellen [ME]}) / (\text{Energieverbrauch [ME]}) \times 100$	%
13. Anteil Verpackungen	$(\text{Gesamtverpackungsmenge [ME, GE]}) / (\text{produzierte Menge [ME, GE]}) \times 100$	%
14. Anteil Mehrwegverpackungen	$(\text{Menge Mehrwegverpackungen [ME]}) / (\text{Gesamtverpackungsmenge [ME]}) \times 100$	%
15. Innerbetriebliche Transportzeitquote	$(\text{innerbetriebliche Transportzeit [ZE]}) / (\text{Durchlaufzeit [ZE]}) \times 100$	%
16. Anteil der Umweltschutzinvestitionen	$(\text{Umweltschutzinvestitionen [GE]}) / (\text{Investitionen [GE]}) \times 100$	%
17. Aufwendungen zum betrieblichen Umweltschutz (Umweltkosten ***)	$(\text{Umweltkosten [GE]}) / (\text{Gesamtkosten [GE]}) \times 100$	%
18. Anteil Bestandsverluste	$(\text{Anteile nicht mehr verwertbarer Bestände [ME, GE]}) / (\text{produzierte Menge [ME, GE]}) \times 100$	%
19. Beschwerdefälle wegen Umweltbelastungen		[ME]
Ergänzende Kenngrößen		
20. Spezifische Verbräuche bzw. Emissionen *)	Die empfohlenen absoluten Kenngrößen können ins Verhältnis zu einer passenden Bezugsgröße gesetzt werden, beispielsweise produzierte Menge oder Netto-Wertschöpfung.	[ME/ME, GE]
21. Zielabweichung (Distance-to-target **)	$(\text{Schadstoffkonzentration [ME/l] oder [ME/m}^3\text{]}) / (\text{vorgegebener Grenzwert [ME/l] oder [ME/m}^3\text{]}) \times 100$	%

GE = Geldeinheit; ZE = Zeiteinheit; ME = Mengeneinheit

\*) Wenn möglich Ausweis aller Größen für die letzten fünf Jahre.

\*\*) Diese Liste ist durch spezielle betriebliche Emissionen zu ergänzen.

\*\*\*) siehe VDI 3800

\*) Beispiele: Energieverbrauch je t Produkt, Gefahrstoffmenge je t Produkt

\*\*) Soweit für spezielle Emissionen Grenzwerte definiert sind, kann diese Kenngröße für jede Emission separat berechnet werden.

Die VDI Richtlinie 4050 beschäftigt sich mit der Bildung von geeigneten betrieblichen Kennzahlen für das Umweltmanagement. Grundsätzlich kann zwischen zwei Arten von Kennzahlen unterschieden werden, den absoluten und den relativen Kennzahlen. In der Praxis werden vor allem zuerst absolute Mengen, Anteile und Quoten erhoben. Allerdings sind absolute Verbrauchs- bzw. Emissionswerte wenig geeignet, um eine Bewertung von Sachverhalten durchzuführen, da die Vergleichsmöglichkeiten fehlen. Aus diesem Grund ist ein Bezug zu einer Zeitreihe oder der betriebswirtschaftlichen Leistung notwendig. Durch die Bildung von relativen Kennzahlen können somit Verhältnisse zwischen Verbrauchs- bzw. Emissionswerten und der Leistung dargestellt werden. Da prinzipiell Kennzahlen aus allen Basisdaten gebildet werden können, ist besonders auf die Zweckmäßigkeit, Zuverlässigkeit und Aussagekraft zu achten. Ein wichtiges Maß für die Beurteilung der Zuverlässigkeit ist die Qualität der Basisdaten. Diese können gemessen, berechnet oder auch geschätzt werden (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2001).

### **2.3 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Systeme zur Bewertung von Umweltauswirkungen**

Die in Kapitel 2.2 vorgestellten Umweltbewertungsmethoden stellen allgemeine bzw. branchenübergreifende Ansätze dar und sind nahezu überall einsetzbar. Vor allem in der Industrie (z.B. Automobilindustrie) und dem verarbeitendem Gewerbe finden sie Anwendung. In Landwirtschaft und Gartenbau gibt es ebenfalls immer mehr das Bestreben, die umweltrelevanten Folgen bei der Produktion zu erfassen und diese gegebenenfalls zu verbessern. Allerdings ist der Anforderungskatalog der allgemein gültigen Umweltbewertungsansätze in der Anwendung für die landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Herausforderungen oft ungeeignet. Folglich muss die Methodik der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Problemstellung angepasst werden. Meist wurden die bereits etablierten Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung für Landwirtschaft und Gartenbau untersucht und Verbesserungsvorschläge integriert. So entstanden einige speziell für die Landwirtschaft und den Gartenbau angepasste Umweltbewertungsansätze.

In landwirtschaftlichen Betrieben gibt es bereits zur Kontrolle über die Einhaltung von Agrarrichtlinien etliche vorgeschriebene Dokumentationsarten. Ein Betrieb beispielsweise, der einen Antrag auf Agrarförderung stellt, ist verpflichtet schriftlich einen Flächen- und Nutzungsnachweis zu erbringen. In der pflanzenbaulichen Produktion müssen im Rahmen der Düngeverordnung Bodenuntersuchungsergebnisse und Nährstoffvergleiche aufgezeichnet werden. Durch Schlagkarteien werden zeitnah flächenbezogene Produktionsdaten erhoben und dokumentiert (SCHMIDT und KLÖBEL, 2007).

GEBAUER und BÄUERLE (2000) untersuchten die bereits vorhandenen betrieblichen Informationstechniken zur Unterstützung des betrieblichen und umweltbezogenen Planungs- und Entscheidungsprozesses für die Landwirtschaft. Darauf basierend stellten sie eine Übersicht über die vorhandenen betrieblichen Informationstechniken für die Landwirtschaft zusammen und erarbeiteten Empfehlungen für deren Einsatz.

Grundsätzliches Ziel von Umweltbewertungsverfahren ist es, Produktionssysteme in ihrer Umweltwirkung zu bewerten. Es werden Grenzbereiche definiert innerhalb derer Indikatoren betrachtet werden. Die Bewertung der qualitativen und quantitativen Maßgrößen erfolgt mit Skalen (GEBAUER und BÄUERLE, 2000).

Die in den Tabellen 2 bis 5 vorgestellten Ansätze stellen eine Auflistung von betrieblichen Umweltinformationstechniken für landwirtschaftliche Betriebe dar (GEBAUER und BÄUERLE, 2000).

Tabelle 2 zeigt eine Auswahl von einzelbetrieblichen Umweltbewertungsverfahren für die Landwirtschaft und beschreibt diese.

Tabelle 2: Einzelbetriebliche landwirtschaftliche Umweltbewertungsverfahren (GEBAUER und BÄUERLE, 2000), (verändert)

Kombinierte Technik	Kurzbeschreibung	Quelle
Indikatorenkonzept nach KNOBLOCH	Es handelt sich hierbei um ein Bewertungskonzept, welches zum Ziel hat, die bewirtschaftungsbedingten Umweltwirkungen mit Hilfe von Indikatoren abzubilden, deren Einordnung in Umweltgüteklassen vorzunehmen sowie letztendlich die einzelnen Bewertungen unter Beachtung bestehender Prioritäten zusammenzufassen. Das Konzept ist Bestandteil einer ökonomisch-ökologischen Untersuchung.	(KNOBLAUCH, 1994)
Indikatorenkonzept nach NIEBERG	NIEBERG stellte ein Indikatorenset vor dem Hintergrund zusammen, Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Betriebe im Zusammenhang mit Erwerbsform und Betriebsgröße zu analysieren. Ausgewählt wurden Indikatoren aus den Bereichen Düngung, Pflanzenschutz, Ackerflächennutzung und Landschaftsstruktur.	(NIEBERG, 1994)
Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL)	KUL ist ein EDV-gestütztes Verfahren zur Erfassung und Bewertung der Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktionssysteme anhand definierter Kriterien in den Kategorien: Nährstoffhaushalt, Bodenschutz, Pflanzenschutz-mitteleinsatz, Landschafts- und Artenvielfalt sowie Energiebilanz. Grenzwerte werden durch Toleranzbereiche definiert. Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgt über sogenannte Boniturnoten. KUL ist stark ackerbaulich orientiert.	(ECKERT und BREITSCHUH, 1997) (ECKERT et al., 1999)
Ökonomisch-ökologisches Kennzahlensystem nach REITMAYR	Dies ist ein rechnergestütztes Kennzahlensystem zur ökonomischen und ökologischen Beurteilung agrarischer Bewirtschaftungsformen. Verwendet wurde als Ausgangspunkt das Kostenrechnungssystem der relativen Einzelkosten mit einem prozessorientierten Ansatz. Die Erfassung der ökologischen Parameter erfolgt parallel zu den ökonomischen Kostenarten.	(REITMAYR, 1995)
Ökopunkte nach KNAUER	Das ergebnisorientierte, regional differenzierte Konzept im Bereich Naturschutz (Artenvielfalt) bewertet und honoriert ökologische Leistungen anhand von Ökopunkten, welche nach marktwirtschaftlichen Kriterien bestimmt werden.	(KNAUER, 1989) (KNAUER, 1992) (KNAUER, 1993) (KNAUER, 1995)
Ökopunktemodell Niederösterreich	Das EDV-gestützte ergebnisorientierte Bewertungs- und Bilanzierungsmodell zur Honorierung ökologischer Leistungen (Förderprogramm in Niederösterreich) betrachtet den Gesamtbetrieb ohne Tierhaltung. Die Beurteilung wird anhand von Ökopunkten vorgenommen. Das Punktesystem ist staatlich festgelegt.	(BACKHAUSEN und MAYRHOFER, 1999) (MAYRHOFER, 1997)
REPRO	Das EDV-gestützte Verfahren wird zur Analyse, Bewertung und Steuerung von Stoff- und Energieflüssen auf der Ebene des Landwirtschaftsbetriebes in Abhängigkeit der Betriebsstruktur, der Bewirtschaftungsintensität und der Verfahrensgestaltung herangezogen. Grundlage der Bewertung sind Agrar-Umweltindikatoren, denen Optimumbereiche zugeordnet wurden.	(DIEPENBROCK et al., 1999) (HÜLSBERGEN, 1997) (HÜLSBERGEN und DIEPENBROCK, 1997) (KALK et al., 1995)

Tabelle 3 stellt eine Auswahl von Simulationsmodellen für die Landwirtschaft dar. Unterschieden wird zwischen den naturwissenschaftlichen und den ökonomisch-ökologischen Simulationsmodellen (GEBAUER und BÄUERLE, 2000).

Tabelle 3: Simulationsmodelle  
(GEBAUER und BÄUERLE, 2000), (verändert)

<b>Kombinierte Technik</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Quelle</b>
Naturwissenschaftliche Simulationsmodelle		
CANDY	CANDY simuliert EDV-gestützt die Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik landwirtschaftlich genutzter Böden. Es können Berechnungen zu $N_{\min}$ im Frühjahr, zur Versorgung der Böden mit organischer Substanz, zu Bewirtschaftungsszenarien, zur Prognose über die standort- und bewirtschaftungstypische Versorgung der Böden mit organischer Substanz und zur Kalkulation einer umweltverträglichen Stickstoffdüngung angestellt werden.	(FRANKO, 1997)
Expert-N	Expert-N ist ein modular aufgebautes EDV-gestütztes Stickstoffsimulationsmodell. Es wird die Wasser-, Wärme- und Stickstoffdynamik im Boden und in der Pflanze simuliert. Es bieten sich folgende Einsatzmöglichkeiten: Berechnung umweltgerechter Düngempfehlungen, gezielte Informationen zur Bestandsführung, Vergleich der Simulationsergebnisse verschiedener N-Modelle.	(ENGEL, 1997)
Ökonomisch-ökologische Simulationsmodelle		
SimCrop	SimCrop ist ein EDV-gestütztes Entscheidungsunterstützungsmodell für den Pflanzenbau (Marktfruchtbau) in Brandenburg. Es bewertet spezifisch definierte Produktionsverfahren anhand ökonomischer und umweltrelevanter Kennziffern (Schadstoffbelastung und Energiebedarf) und ist nach dem Datenbankprinzip aufgebaut.	(ACKERMANN und SCHLAUDERER, 1997) (SCHLAUDERER und ACKERMANN, 1997)

Auch die aus der Ökonomie kommenden Linearen Optimierungsmodelle finden Anwendung in der Landwirtschaft. Hierbei werden die vorhandenen Modelle um ökologische Restriktionen ergänzt (vgl. Tabelle 4) (GEBAUER und BÄUERLE, 2000).

Tabelle 4: Lineare Optimierungsmodelle  
(GEBAUER und BÄUERLE, 2000), (verändert)

Kombinierte Technik	Kurzbeschreibung	Quelle
LP-Modell nach KILIAN	Dabei handelt es sich um ein wahlweise komparativ statisches oder rekursiv dynamisches Betriebsmodell. Dieses Modell wurde mit der Zielstellung entwickelt, die ökonomischen und ökologischen Wirkungen von markt- und preispolitischen Maßnahmen wie auch von Agrarumweltprogrammen auf betrieblicher Ebene zu bewerten.	(KILIAN, 2000)
Feedbase	Feedbase ist ein EDV-gestütztes Programm zur Futterplanung, welches neben der Bedarfsermittlung und Leistungsvorhersage auch in der Lage ist, den Anteil von N, P, K und Mg in den tierischen Ausscheidungen zu berechnen.	(BONFIG, 1996)

Tabelle 5 zeigt eine Auswahl an Expertensystemen. PRO\_Plant findet bereits Anwendung in der Praxis. Die Erfassung und Speicherung von Expertenwissen ist in einem EDV-gestützten System umgesetzt. Besonders die Schlussfolgerungs- und Erklärungsfähigkeit steht im Vordergrund. Meist wird ein begrenztes Aufgabenfeld betrachtet.

Tabelle 5: Expertensysteme  
(GEBAUER und BÄUERLE, 2000) (verändert)

Kombinierte Technik	Kurzbeschreibung	Quelle
PRO_PLANT	PRO_PLANT ist ein Beratungsprogramm für den Pflanzenschutz (regelbasiertes Expertensystem) zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf das absolut notwendige Maß.	(VOLK, 1998)
Güllex	Dieses wissensbasierte Gülle- und Informationsmanagement- und Informationssystem unterstützt den Beratungs- und Entscheidungsprozess im Flüssigmistmanagement.	(ENGEL, 1997)

ECKSTEIN und HOFFMANN (2007) untersuchten im Rahmen eines Pilotprojektes in Bayern das Öko-Audit nach EMAS in landwirtschaftlichen Betrieben. Die Bewertung erfolgte nach den Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL). Ergebnisse aus dem Pilotprojekt zeigen oft ein hohes Verbesserungspotenzial im Bereich der Umweltauswirkungen. Allerdings bewerteten die teilnehmenden Landwirte den zeitlichen Aufwand als überdurchschnittlich (ECKSTEIN und HOFFMANN, 2007).

Im Bereich Gartenbau untersuchte ALZINGER (2002) unterschiedliche Umweltmanagementsysteme und methodische Bewertungsansätze hinsichtlich ihrer Eignung. Als Ergebnis ist festzustellen, dass die Einführung eines Umweltmanagementsystems durchaus positive Eigenschaften auf den ganzen Betrieb haben kann. Die Umsetzung der EMAS-VO (bei Landwirtschaft und Gartenbau EG-Öko-Audit-Verordnung) bietet ein breites Spektrum, umweltrelevante Auswirkungen zu erfassen und zu dokumentieren. Der Ablauf untergliedert sich in vier Punkte. ALZINGER (2002) beschreibt diese in Bezug zum Gartenbau. Punkt eins ist die Umweltpolitik, welche mit der Selbstverpflichtung eines Betriebs zu einem umweltbewussten Handeln einhergeht. Hierbei orientiert sich der Gartenbau am besten beim integrierten Landbau des Pflanzenbaus. So sind geschlossene Stoffkreisläufe, ausgeglichene Düngungsbilanzen und der schonende Umgang mit Pflanzenschutzmitteln anzustreben. Nach der schriftlichen Darlegung der angestrebten Umweltpolitik erfolgt eine Bestandsaufnahme des Ist-Zustandes des betrieblichen Umweltschutzes. Hierzu werden die direkten und indirekten Umweltauswirkungen des Betriebes erfasst und eine Umweltzielsetzung erarbeitet. Der Gartenbaubetrieb muss hier vor allem den Wasser- und Energieverbrauch untersuchen. Durch eine regelmäßige Umweltbetriebsprüfung werden die Abläufe und Prozesse hinsichtlich ihrer Zielerreichung kontrolliert. Abschließend werden die Ergebnisse in einer Umwelterklärung dargestellt, die idealerweise eine Ökobilanz enthält. Nach REICHERT (2003) ist der Einsatz der EMAS-VO (bei Landwirtschaft und Gartenbau EG-Öko-Audit-Verordnung) vor allem bei kleinen und mittleren Betrieben, zu denen viele Gartenbaubetriebe gehören, hinsichtlich des Aufwand-Nutzen Verhältnisses zu prüfen. Ein wichtiger Punkt ist auch die Motivation und die Bereitschaft des Betriebsleiters, ein betriebliches Umweltmanagementsystem zu etablieren.

Auch die bereits erwähnte Ökobilanz findet Anwendung in der Landwirtschaft und im Gartenbau (GEIER, 2000). Die Vorgehensweise bei der Erstellung einer Ökobilanz ist der jeweiligen DIN Vorschrift (EN ISO 14040) entnommen. GEIER (2000) legt besonders den Schwerpunkt auf die Auswahl der Wirkungskategorien. Gerade in der Landwirtschaft wurde die Methodik der Ökobilanz in etlichen Fallstudien auf ihre Eignung untersucht. Das Thema der Ökobilanzierung wird in der Landwirtschaft sehr stark aufgegriffen und experimentell in der Praxis eingesetzt. GEBAUER und BÄUERLE (2000) nahmen auch die Ökobilanzierung als betriebliche Umweltinformationstechnik für die Landwirtschaft auf. Gerade in den letzten Jahren gewann dieses Bewertungsverfahren im landwirtschaftlichen Bereich an Bedeutung. Es wird hauptsächlich die Produktökobilanz eingesetzt.

Die betriebliche Dokumentation auch von Umweltauswirkungen wird mehr und mehr ein von den Marktpartnern geforderter normaler Prozess auch in der landwirtschaftlichen Produktion werden, wie eine von HÖVELMANN (2003) durchgeführte Studie zeigt. Auch in der Verwaltung wird es immer wichtiger im Hinblick auf z.B. cross compliance geeignete Kontrollsysteme zu etablieren, um die umweltrelevanten Auswirkungen erfassen zu können. In der Diskussion steht auch inwieweit Indikatorensysteme für die Verwaltung geeignet sind, um z.B. die gute fachliche Praxis von landwirtschaftlichen Betrieben beurteilen können. Ein Problem ist, dass die gewonnenen Zahlen auch gerichtlich bestehen müssen. Auch ist die wissenschaftlich geforderte Vollständigkeit mit einem sehr hohen zeitlichen Aufwand verbunden und damit für die Praxis uninteressant (BERG, 2003). WAHMHOFF (2003) stellte fest „....,denn nur, was man messen oder zu mindestens schätzen kann, kann man auch managen!“. Somit stellen Indikatoren Kenngrößen dar, mit denen der Zustand eines Systems durch Messung, Schätzung oder Aggregation beschrieben wird. Der Einsatz von Indikatoren zur Dokumentation und Bewertung von Umweltauswirkungen ist gerade in der Landwirtschaft ein sehr verbreitetes Umweltinstrument. Wichtig und vor allem aussagekräftig sind Effizienzindikatoren. Für die Generierung von allen Indikatoren ist eine fundierte Datenbasis unabdingbar. Für die Auswahl und die Umsetzung der Dokumentation von Indikatoren gibt es verschiedene Ansätze. 1997 erfasste die OECD eine grundsätzliche Liste mit Indikatoren, die in der Landwirtschaft wichtig sind (OECD, 1997).

Besonders erwähnt seien die Indikatorensysteme KUL und USL. KUL bedeutet Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft und wurde von der Arbeitsgruppe Breitschuh, Eckert und Mitarbeitern der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft entwickelt. Dieses Verfahren hat den Anspruch anhand von 22 Kriterien eine Umweltbewertung von landwirtschaftlichen Betrieben durchzuführen. Die Datenerhebung erfolgt mit Hilfe eines Fragebogens, den der Landwirt beantworten muss. Nach HEGE und BRENNER (2004) ist die Datenerhebung bei gut organisierten Landwirten selbst durchführbar, aber zeitaufwendig. Bei der Bewertung selbst wird der zu untersuchende Betrieb anhand der Kriterien einem Soll-Ist-Zustand-Vergleich unterzogen. Die Bewertung erfolgt anhand von Boniturnoten. Der Wert 1 entspricht dem Optimum, Werte zwischen 2 und 6 liegen im Toleranzbereich und Werte über 6 stellen ein Gefahrenpotenzial dar. Jedes Kriterium wird anhand dieser Boniturnoten bewertet (ECKERT und BREITSCHUH, 1997).

Das Umweltbewertungsverfahren USL (Umweltsicherungssystem Landwirtschaft) besteht aus 17 Kriterien, die bewertet werden (BREITSCHUH und ECKERT, 2002). Methodisch basiert das USL auf dem Indikatorensystem KUL. Die VDLUFA bietet allerdings mit dem USL

Verfahren eine Zertifizierung von landwirtschaftlichen Betrieben an (BREITSCHUH und ECKERT, 2002). Bislang wurden nach diesem Verfahren rund 228 Agrarbetriebe bundesweit auf die Belastungen, die von der Bewirtschaftung auf die Umweltschutzgüter (Boden/Bodenfruchtbarkeit, Wasser, Luft, Biodiversität) ausgehen, untersucht (BREITSCHUH und ECKER, 2007). BREITSCHUH und ECKERT (2007) betrachteten auch die Möglichkeiten des KUL-Verfahrens hinsichtlich der Anwendung in Betrieben des ökologischen Landbaus. Die Daten wurden in 20 Öko-Landbaubetrieben mit Hilfe des USL-Verfahrens des VDLUFA erfasst und ausgewertet. USL ist grundsätzlich aus Sicht der Administration geeignet für betriebliche Optimierung, Schwachstellenanalyse und für das Öko-Audit. Allerdings gilt es als ungeeignet für behördliche Entscheidungen (BERG, 2003).

Im Gartenbau gibt es ebenfalls Projekte zur Bewertung durch Indikatoren der Nachhaltigen Landwirtschaft. Gefunden bei ALZINGER (2002): Im Rahmen des Unilever Projektes „Partnership for Sustainability“ betreute die Landwirtschaftskammer Westfalen Lippe den Aufbau eines „Managementsystems zur nachhaltigen Landwirtschaft im Gemüsebau“. Ziel ist es, konkrete Messgrößen zu definieren, um ein nachhaltiges Wirtschaften bewerten zu können. Es liegen folgende vier Prinzipien zugrunde:

- Minimaler Rohstoff, Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatz
- Wasser, Luft und Boden aktiv schützen
- Bevorzugung des Einsatzes von natürlichem Dünger, Pflanzenschutzmethoden und regenerativen Energien
- Verbessern der lokalen Kulturlandschaft und Fördern der regionalen wirtschaftlichen und sozialen Strukturen

Die Bewertung ist ein Indikatoransatz, der durch zehn Parameter beschrieben wird. Diese sind Wasser, Luft, Boden, Nährstoffe, Pflanzenschutz, Energie, biologische Mannigfaltigkeit, Produktwert, soziale Gesichtspunkte und lokale Ökonomie. Die Überprüfung erfolgt in einer IST- oder Schwachstellenanalyse.

Die Modellentwicklung REPRO hat zum Ziel, einen computergestützten, system- und prozessorientierten Analyse- und Bewertungsansatz zu integrieren. Auch soll eine Kompatibilität zu anderen international anerkannten Indikatorenkonzepten sichergestellt werden (HÜLSBERGEN, 2003). Der Landwirtschaftsbetrieb wird als System vernetzter Stoff- und Energieflüsse beschrieben. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Knotenpunkten werden abgebildet. Der Aufbau ist modular. Standortdaten werden durch Stammdaten ergänzt, um möglichst eine umfassende Datenbasis zur Verfügung zu haben (HÜLSBERGEN, 2003). Das von HÜLSBERGEN (2003) entwickelte Computerprogramm REPRO

ist sowohl für den wissenschaftlichen Einsatz als auch als Anwendung in der Praxis konzipiert. Es ist bereits in zahlreichen Fallstudien in der Praxis bei landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt und untersucht worden. Bisher wurde das Modell REPRO bei rund 300 Betrieben angewandt. Somit steht bereits ein umfangreicher Datenpool für die Sekundärauswertung zur Verfügung. Der Einsatz erfolgte auch bei rund 20 Ökobetrieben (HÜLSENBERGEN und KÜSTERMANN, 2007). Vor allem an der Versuchsstation Scheyern wurde REPRO im ökologischen Landbau über mehrere Jahre eingesetzt und getestet (KÜSTERMANN und HÜLSBERGEN, 2005). Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des Bilanzierungsverfahrens von REPRO auch im Bereich Tierhaltung und im Hinblick auf den Gesamtbetrieb kann innerbetrieblichen Zusammenhängen Rechnung getragen werden. Somit wird es, möglich landwirtschaftliche Betriebe ganzheitlich zu betrachten (HÜLSBERGEN und SCHMIDT, 2013).

Nach NEHRING UND KÜSTERMANN (2003) stellt sich bei der Anwendung von REPRO im Praxisbetrieb folgender betrieblicher Nutzen heraus:

„Sensibilisierung der Betriebsleitung und der Mitarbeiter für Umweltbelange;  
verstärkte Berücksichtigung der Nährstoffbilanzen bei der Düngerstrategie;  
Aufdecken betrieblicher Schwachstellen;  
bessere Rückverfolgbarkeit durch zunehmende Dokumentation;  
erhöhte Rechtssicherheit.“

Eine Anpassung von REPRO findet auch für den Freilandgemüsebau statt. Für diese Modellierung werden die Stammdaten durch Feldversuche auf dem Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof des DLR Rheinpfalz gewonnen. Ziel dieses REPRO Moduls ist eine Anpassung an die Praxis Bedingungen des Feldgemüseanbaus unter besonderer Berücksichtigung des Bodenstickstoffhaushaltes (BÖCKER und ANDERMANN, 2011).

Die Programme ESI, EMA, INDIGO®, RISE stellen ebenfalls computergestützte Möglichkeiten dar, um umweltrelevante Sachverhalte in der landwirtschaftlichen Produktion zu erfassen und auszuwerten. Für den Gartenbau sei vor allem das von BAUERSACHS (2005) entwickelte Softwareprogramm jemih (Umweltinformationssystem) erwähnt. Dieses wurde speziell auf die Bedürfnisse der gartenbaulichen Produktion zugeschnitten und prototypisch implementiert. Es ist hauptsächlich für kleine und mittlere Betriebe, zu denen die gartenbaulichen Betriebe gezählt werden können, vorgesehen. Ziel dieser Arbeit ist es, ein betriebliches Umweltinformationssystem zu entwickeln, um Umweltaspekte gartenbaulicher Produktionssysteme mit einer Software (jemih) zu erfassen und zu bewerten (BAUERSACHS, 2005).

Der PAS 2050 1 (Assesment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products) stellt eine Spezifikation des in Kapitel 2.2.3 vorgestellten PAS 2050 dar und ist speziell auf die Bedürfnisse der gartenbaulichen Produktion ausgerichtet. Im Vordergrund steht die Erfassung aller CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei der gartenbaulichen Produktion. Die funktionelle Einheit ist definiert als Mengeneinheit, Funktion oder Eigenschaft eines gartenbaulichen Produktes. Alle Prozesse, bei denen CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert werden, sollen erfasst werden. Die Berechnung erfolgt in Abhängigkeit der bewirtschafteten Kulturfläche. Der Bewertungsbereich (Scope) richtet sich vom Saatgut, den Jungpflanzen und deren Lagerung, über Anbau und Lagerung der Hauptkultur bis hin zur Entsorgung. Die Datenerhebung erfolgt bei Jahreskulturen über einen Zeitraum von drei Jahren, mindestens aber von einem Jahr. Wobei Kulturpflanzen aus Gewächshäusern als Jahreskulturen behandelt werden sollen; Ausnahmen sind nur bei Kulturen vorzunehmen, die deutlich kürzer als ein Jahr angebaut werden. Aus den erhobenen Daten wird ein Durchschnittswert berechnet; bei mehrjährigen Kulturen über eine Zeitphase (meist Durchschnittswert aus drei Jahren), die alle Entwicklungsphasen beinhaltet (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2012).

Abbildung 4 zeigt eine Übersicht, wie viel CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei unterschiedlichen Gemüseproduktionen im Gewächshaus emittiert werden. Es werden zwischen 300 und 4700 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro 1000 kg geerntetes Produkt emittiert. Die Bandbreite der Werte kommt durch das Abbilden von verschiedenen Anbauszenarien, die sich durch die Gewächshausausstattung und den Ressourceneinsatz unterscheiden, zustande.

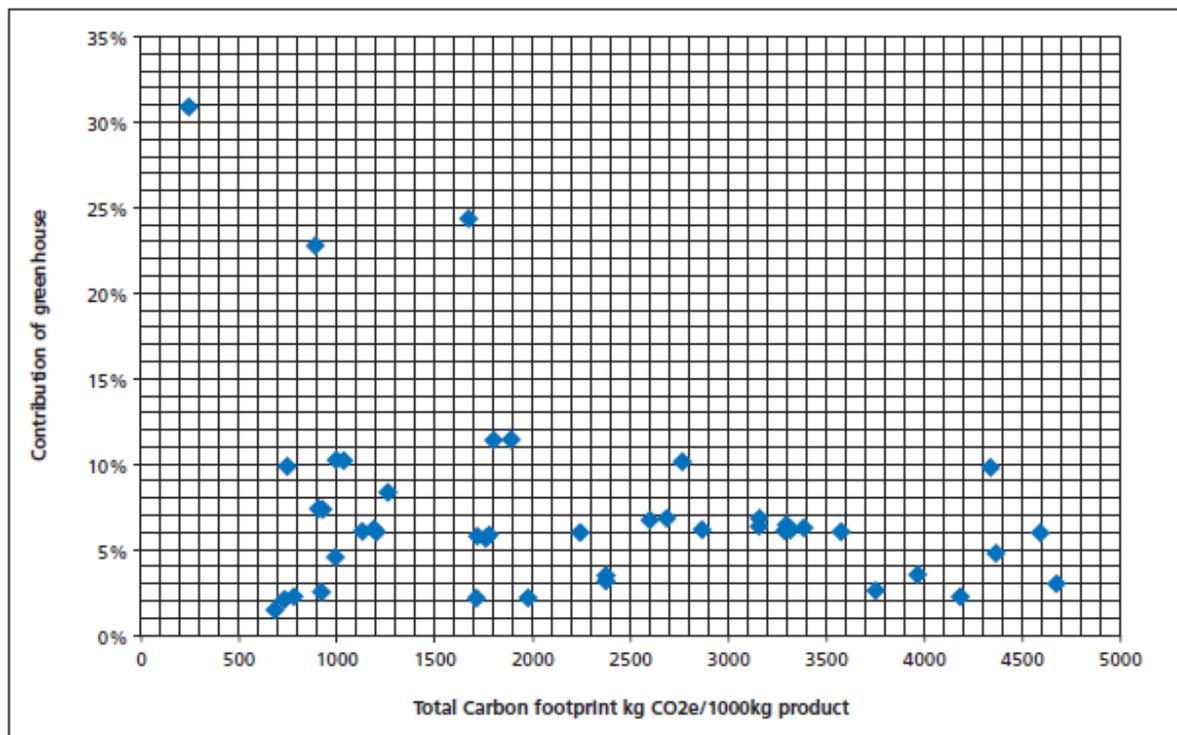


Abbildung 4: Menge an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro 1000 kg geerntetes Produkt  
(BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2012)

Abbildung 5 zeigt die Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents bei verschiedenen gartenbaulichen Kulturen auf. Bei der Produktion von Tomaten in Gewächshäusern in den Niederlanden werden 70 – 80 % der CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch den Einsatz von Energie verursacht. Die eingesetzten Materialien und Prozesse nehmen nur einem kleinen Teil des CO<sub>2</sub>-Äquivalents ein. Transport und Dünger sind nahezu zu vernachlässigen.

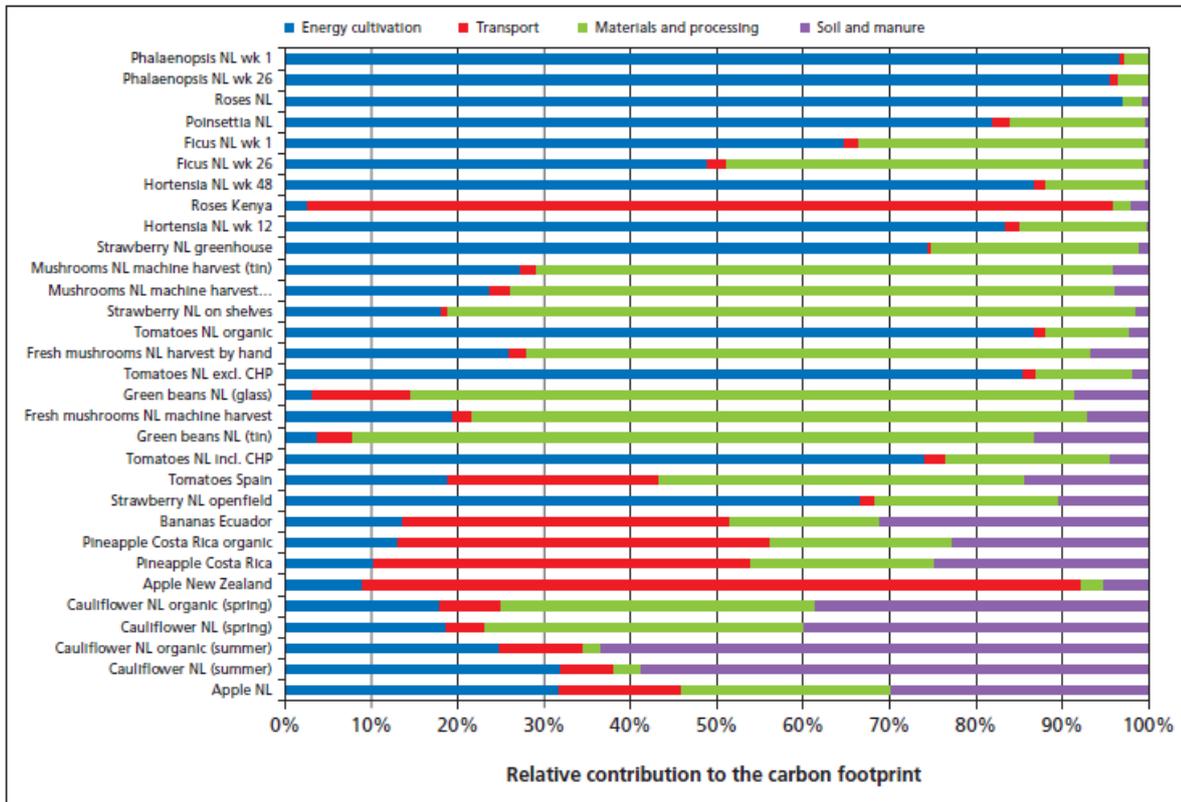


Abbildung 5: Relative Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents bei verschiedenen Kulturen (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2012)

Insgesamt sind in der Agrarwirtschaft und im Gartenbau bereits viele Ansätze vorhanden, relevante Umweltauswirkungen zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten. Vor allem Indikatorensysteme sind ein probates Mittel, um Umweltauswirkungen erfassen und bewerten zu können. Allerdings ist auf praktischer Ebene stets der zeitliche Aufwand zu beachten. Vor allem die Datenerfassung und -verarbeitung kann für viele kleine und mittlere Unternehmen, zu denen die meisten Gartenbaubetriebe gezählt werden können, ein unverhältnismäßiger Aufwand werden.

## 2.4 Ansätze in der Datenerfassung von Umweltauswirkungen

Grundlage aller landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Systeme zur Bewertungen von Umweltauswirkungen ist eine umfassende Datengrundlage. Ohne belastbare Zahlen ist keine Auswertung bzw. Bewertung möglich. Um die notwendigen Daten zu gewinnen, gibt es unterschiedliche Ansätze. Grundsätzlich können Daten durch Schätzung, Messung, Berechnung und durch den Einsatz von Fragebögen ermittelt werden. Die praktische Ausführung der Datendokumentation ist dem Betriebsleiter überlassen. Sie kann durch handschriftliche Aufzeichnung, per manuelle Eingabe in den PC oder einem Handheld-Computer, teilautomatisiert oder auch vollautomatisiert vorgenommen werden (BERNHARDT et. al, 2009).

Im Ackerbau findet vor allem die elektronische Schlagkartei Anwendung, um die Pflanzenproduktion zu dokumentieren. Durch diese können beispielsweise durchgeführte Behandlungsmaßnahmen wie Bodenbearbeitung, und der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel erfasst werden (BERNHARDT et. al, 2009).

Auch im Gartenbau gibt es das Bestreben, die Datenermittlung durch den Einsatz von Technik zu vereinfachen. Unterschiedliche technische Ansätze wurden sowohl für den Einsatz in der Freiland- als auch in der Gewächshauskultur entwickelt.

Durch das Einbinden von Informationen der durchgeführten Kulturmaßnahmen und Klimadaten in einer Datenbankanwendung können beispielsweise Informationen über die Produktion und die Produktqualität beim Anbau von Brokkoli bereitgestellt werden (KABERKERIS und GEYER, 2013). Ein weiterer Ansatz ist bereits vorhandene Technik, beispielsweise ein Smartphone, als mobile Datenerfassungssystem einzubinden, um den Produktionsprozess vor Ort dokumentieren zu können (ZIERER et al., 2012).

Um erfolgreich als Gärtner im Gewächshaus Pflanzen produzieren zu können, sind optimale Wachstumsbedingungen von entscheidender Bedeutung. So ist die Aufgabe der Klimaregelung im Gewächshaus die Einhaltung bestimmter vorgegebener Klimabedingungen. Der Einsatz von automatisierter Regeltechnik im Gewächshaus gewährleistet einstellbare Rahmenbedingungen des Gewächshausklimas bei gleichzeitigem niedrigem Arbeitsaufwand (ZABELTITZ, 1978).

Die Daten dieser Technik können auch genutzt werden, um eine Optimierung der Kultur und Informationen über die Produktion und den Produktionserfolg bereitzustellen. Im Folgenden werden einige Systeme und Konzepte dargestellt, die die abgespeicherten Daten der Regelungstechnik als Datenquelle nutzen.

Ein ganzheitliches Konzept stellt ProdIS-Plant dar, mit dem Ziel, ein Produktions-Informationen-System durch die Vernetzung von Klimaregelung, Kulturentwicklung und

Produktionsmitteleinsatz zur Optimierung des Betriebsergebnisses zu entwickeln (ZIERER et al., 2011). Durch den Aufbau einer Datenbank, in der alle Informationen über die eingesetzten Produktionsmittel, die Wachstumsbedingungen und den Pflanzenbestand zusammengeführt werden, wird eine Optimierung hinsichtlich des Produktionsmitteleinsatzes angestrebt. Nach Abschluss des Projektes ist es vorgesehen, ProDIS-Plant in ausgewählten Betrieben zu evaluieren und schließlich auch in der Praxis einzuführen (OHMAYER et al., 2010).

Die Software jemih ist ein betriebliches Umweltinformationssystem für den Gartenbau. Für die Modellierung werden Klimadaten und Wachstumsparameter der Kultur zugrunde gelegt. Ziel dieses Ansatzes ist es Umweltauswirkungen gartenbaulicher Produktionssysteme zu dokumentieren und zu bewerten. Der Ansatz wurde prototypisch in einer Software implementiert, um das vorgestellte Konzept zu veranschaulichen und die Realisierbarkeit nachzuweisen (BAUERSACHS, 2005).

KLIPA stellt eine Bewertungsplattform dar, um die Effizienz von Gewächshauskulturen mit Hilfe der Verknüpfung automatisch erfasster Klimadaten aus dem Gewächshaus und Pflanzenparameter zu beurteilen. Ziel dieser Bewertungsplattform ist es, eine umfassende Datenbasis für weiterführende Analysen und Bewertungen zu schaffen. Grundlage der Datenermittlung ist die automatische Erfassung der Daten, um den Betrieb und den Betriebsleiter zeitlich zu entlasten. Die Datengewinnung der Klimaparameter erfolgt automatisiert aus der Regelungstechnik. Die Pflanzenparameter werden mittels Bildverarbeitung gewonnen und in die Datenbank implementiert. Die Zielgruppen der Bewertungsplattform sind Gärtner sowie Technik- und Anbauberater. Die Bearbeitung des Projektes ist abgeschlossen und ausgewählte Bestandteile von KLIPA werden in die Praxis übernommen (RÖMER et al., 2012).

Insgesamt ist festzustellen, dass ProDIS-Plant, jemih und KLIPA zum Ziel haben gartenbauliche Produktionsprozesse durch eine Elektronische Datenverarbeitung zu dokumentieren und zu bewerten.

Der Klimacomputer ist somit nicht nur verantwortlich für optimale Klimabedingungen im Gewächshaus, sondern er kann darüber hinaus auch Daten für weitere externe Auswertungen und Betrachtungen bereitstellen. Vor allem die Nutzung des internen Datenpools kann für externe Bewertungen hinsichtlich der Ressourceneffizienz des Produktionsprozesses einen Mehrwert für den Gärtner bedeuten. So ergeben sich durch den Einsatz von automatisierter Regelungstechnik im Gewächshaus, welche die klimatischen Bedingungen im Gewächshaus regelt, neue Möglichkeiten bei der Datenerfassung von Ressourcenverbräuchen. SCHNEIDER (2004) untersuchte bereits die

Eignung von Klimacomputer als Datenquelle für die Berechnung von Ressourcenverbräuchen. Exemplarisch berechnete er den Bedarf an Wasser, Elektroenergie und Heizenergie auf der vorhandenen Datengrundlage des Regelungssystems der Firma KRIWAN.

### 3. Zielsetzung

Eine der Kernaufgaben von Umweltmanagementsystemen ist die Überprüfung von relevanten Auswirkungen auf die Umwelt. Es gilt diese zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten. Dabei muss der Aufwand der Datenerfassung verhältnismäßig sein. Grundsätzliches methodisches Vorgehen ist es, die verfügbaren Informationen zu aggregieren, um Aussagen über die Umweltleistung eines Prozesses oder Produktes treffen zu können. Um dies zu bewerkstelligen, wurden bereits eine Vielzahl von unterschiedlichen Bewertungsansätzen in Form von eingeführten Standards, Richtlinien und Konzepten generiert. Diese allgemeinen Bewertungsansätze sind vielseitig einsetzbar, werden jedoch oft nicht den besonderen Anforderungen bei landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betrieben gerecht. Aus diesem Grund wurden die unterschiedlichen Systeme zur Bewertung von Umweltauswirkungen, beispielsweise PAS 2050 und die Ökobilanz, hinsichtlich ihrer Eignung evaluiert.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Dokumentations- und Bewertungskonzept zu entwickeln, das es erlaubt, Daten zeitnah hinsichtlich des eingesetzten Ressourcenverbrauches bei der laufenden Produktion von gartenbaulichen Produkten im Gewächshaus bereitzustellen und produktbezogen auszuwerten. Eine Bewertung erfolgt hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Dieses Dokumentations- und Bewertungskonzept dient dem Gärtner als Quelle bei der Beantwortung von Kundenanfragen, beispielsweise in Bezug auf die Energieeffizienz oder der emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente seines Produktionsprozesses.

Grundlage für alle Bewertungsansätze ist eine fundierte Datenbasis und eine damit verbundene Datenerfassung. Den meisten vorhandenen Bewertungsansätzen gemeinsam ist, dass Daten verwendet werden, die nur eine Rückschau auf eine bereits geschehene Produktion erlauben. Um dem Gärtner aber die Möglichkeit zu geben, innerhalb einer laufenden Produktion aktiv zu agieren, ist es wichtig, aktuelle Daten aus dem laufenden Produktionsprozess zu erfassen. Diese Datenermittlung stellt meist ein Kernproblem dar, da sie meist mit hohem zeitlichem Aufwand verbunden ist. Beispielsweise wird bei bestehenden Ansätzen für die Landwirtschaft oft in der Praxis der zeitliche Aufwand der Datenermittlung als überdurchschnittlich eingestuft (ECKSTEIN und HOFFMANN 2007). Eine Anforderung an eine ökologische Bewertung ist aber, dass der Arbeitsaufwand verhältnismäßig sein muss (BUNDESUMWELTMINISTERIUM UND BUNDESUMWELTAMT, 2001). Gleichzeitig stellt die Qualität der Datenbasis ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der durchgeführten ökologischen Bewertung dar (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2001). Folglich

ist eine betriebsinterne Datenerfassung von aktuellen Daten aus dem laufenden Betrieb bei gleichzeitig niedrigem Arbeitszeitaufwand die Basis für weiterführende Bewertungsansätze. Abhilfe kann die Verwendung der Regelungstechnik, durch die eine Vielzahl von Daten gemessen und gespeichert wird, als Hauptdatenquelle schaffen. Das Einbinden der Regelungstechnik als Datenquelle findet bereits Anwendung in ProdiS-Plant (ZIERER et al., 2011) und KLIPA (RÖMER et al., 2012).

Um eine Einordnung des Ergebnisses der ökologischen Bewertung zu ermöglichen, muss ein Bezug zu einer betriebswirtschaftlichen Leistung hergestellt werden (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2001). Diese nachvollziehbare Zuordnung von Umweltauswirkungen auf die funktionelle Einheit (z.B. betriebswirtschaftliche Leistung) ist ein wichtiger Aspekt. Hierzu wird auch ein pflanzenbaulicher Versuch mit einer Tomatenkultur durchgeführt. Dieser Versuch stellt die Datengrundlage dar, um eine nachvollziehbare erntemengenspezifische Verteilung der Ressourcenverbräuche auf die Produkteinheit ein Kilogramm Tomate exemplarisch zu betrachten und zu entwickeln. Gerade durch die Bereitstellung von aktuellen produktbezogenen Daten aus der laufenden Produktion ergeben sich für den Gärtner Optimierungsmöglichkeiten.

Eine umfassende Bewertung der Ressourcenverbräuche findet hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der verbrauchsgebunden  $\text{CO}_2$ -Äquivalente statt. Das sind auch die Faktoren, auf die der Gärtner Einfluss hat und die er eigenständig ändern kann. Somit können dem Gärtner Informationen zur Verfügung gestellt werden, durch die er seine Produktion aktiv optimieren kann.

Eine durchgeführte Studie zeigt, dass die betriebliche Dokumentation von Umweltauswirkungen mehr und mehr ein von den Marktpartnern geforderter Prozess sein wird (HÖVELMANN 2003). Beispielsweise ist der Ressourcenverbrauch als Input beim PAS 2050 1 notwendig, um die  $\text{CO}_2$ -Äquivalente von gartenbaulichen Produkten bestimmen zu können (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2012). In Pilotprojekten werden auch immer mehr Daten über die Produktion abgefragt, wie beispielsweise der konkrete Energieverbrauch einer Produktion (Strissel, 2013). Deswegen ist die Bereitstellung der Ressourcenverbräuche als Dateninput für anwender- und nachfragerspezifische Auswertungen, beispielsweise für die Ökobilanzierung, von Bedeutung. Auch kann der Gärtner die Daten aus mehreren Kulturjahren miteinander vergleichen, daraus Optimierungsmaßnahmen für sich ableiten und dadurch seinen Betriebserfolg verbessern.

Die Bearbeitung erfolgt im Rahmen des Verbundforschungsprojektes ZINEG. Auf Grundlage der verfügbaren Daten des ZINEG-Versuchsgewächshauses am Queckbrunnerhof des DLR

Rheinpfalz wird die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung gartenbaulicher Produktionsprozesse im Gewächshaus exemplarisch erarbeitet. Die Grundauswertung der erfassten und dokumentierten Daten bildet die Ausgangslage für die Durchführung der ökologischen Bewertung. Anhand von drei pflanzenbaulichen Kulturen, einer Salatkultur und zwei Tomatenkulturen, wird das EDV-gestützte Dokumentations- und Bewertungskonzept iterativ erarbeitet und getestet.

## 4. Material und Methoden

Das Thema „EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung gartenbaulicher Produktionsprozesse im Gewächshaus“ ist im Verbundprojekt ZINEG (Zukunftsinitiative Niedrigenergie Gewächshaus) eingebunden. Die praktischen Versuche wurden am Versuchsgewächshaus am Queckbrunnerhof bei Schifferstadt durchgeführt. Die Bearbeitung erfolgt an der Technischen Universität München in Weihenstephan an der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung.

### 4.1 Beschreibung des Verbundprojektes ZINEG

ZINEG ist ein Verbundprojekt der vier Universitäten Leibniz Universität Hannover, Humboldt Universität zu Berlin, Hochschule Osnabrück und Technische Universität München. Schwerpunkt des Verbundprojektes ist die CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion gartenbaulicher Produkte unter Glas. Um diese zentrale Fragestellung aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu bearbeiten, verfolgt jede der Universitäten einen anderen methodischen Ansatz. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie der Landwirtschaftlichen Rentenbank unter Federführung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz mit Unterstützung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

Die Zielsetzung des Gesamtprojektes und die einzelnen Forschungsschwerpunkte können wie folgt beschrieben werden (KTBL, 2011).

#### Zielsetzung

Im Verbundvorhaben ZINEG wird die Pflanzenproduktion in Gewächshäusern bei minimalem Verbrauch fossiler Energie für die Heizung und damit deutlich reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht. Dazu werden in einem systemorientierten Ansatz technische und kulturtechnische Maßnahmen kombiniert und nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten ausgewertet. Die Bewertung der Konzepte erfolgt gemeinsam für alle Standorte durch die Humboldt-Universität zu Berlin und das Zentrum für Betriebswirtschaft im Gartenbau e.V. (ZBG) in Hannover (KTBL, 2011). Aus technischer Sicht wurden vier konzeptionelle Ansätze gewählt:

- Geschlossenes Gewächshaus mit Nutzung solarer Überschussenergie, Phytomonitoring und Optimierung des Gewächshausklimas (Berlin)
- Gewächshaus mit maximaler Wärmedämmung, geschlossener Betriebsweise, Solarenergienutzung und Integrationsstrategien (Hannover)
- Gewächshaus mit Wärmeschutzverglasung (Osnabrück)

- Foliengewächshaus mit maximaler Wärmedämmung und CO<sub>2</sub>-neutraler Beheizung nach dem Wärmemengenkonzept (Schifferstadt/ Queckbrunnerhof) (KTBL, 2011)

Im Detail werden an den Standorten folgende Themen bearbeitet.

### **Ökologische und ökonomische Bewertung (Bearbeitung in Berlin)**

- Erstellung einer Datengrundlage über die Produktionsbedingungen und die Ist-Situation in deutschen Unterglasbetrieben
- Ökonomische Bewertung von Maßnahmen zur Energieeffizienz
- Ökologische Bewertung basierend auf Stoff- und Energiebilanzen der unterschiedlichen Technologien der drei Gewächshäuser und der angewendeten Produktionsverfahren
- Beschreibung des Adaptionverhalten von Entscheidungsträgern im Gartenbau und Identifizierung von bedingenden Faktoren der Adoption bei energiesparenden Technologien
- Entwicklung von Methoden zur Unterstützung von Investitionsentscheidungen im Energiebereich (BOKELMANN, 2011)

### **Geschlossene Betriebsweise (Versuchsgewächshaus in Berlin)**

- Optimierung der Betriebsweise der Kollektoranlage (Kühlung, flexible Wärmepumpeneinbindung, Niedertemperaturspeicher, mehrlagige Energieschirme, Niedertemperaturheizungen) bei maximaler Energieausbeute unter günstigen Wachstumsbedingungen der Kulturen
- Steuerstrategien für das Gewächshausklima und die Wasser- und Nährstoffversorgung bei geschlossener Betriebsweise zur Optimierung von Wachstum, Ertrag und Qualität von Gemüsekulturen
- Methodenentwicklung zur energetischen Bewertung von Kollektorgewächshäusern zur Ermittlung des Einsparpotenzials und der Systemgrenzen
- Anwendung und Erweiterung der Phytomonitoring-Technologie für eine zerstörungsfreie Online-Messung von Fruchthaltstoffen – Beschreibung der Pflanzenreaktionen auf die Reduktion des Wärmeeinsatzes bzw. den geschlossenen Betrieb (SCHMIDT, 2011)

**Maximale Wärmedämmung (Versuchsgewächshaus in Hannover)**

- Reduzierung des Energieverbrauchs mittels einer maximalen Wärmedämmung (Isolierverglasung mit Argonfüllung und Antireflexbeschichtung), Stehwänden mit Steg-Vierfachplatten und drei Energieschirmen (Tageslichtschirm, Alugewebeschirm, Verdunkelungsschirm)
- Verringerung des Energieeinsatzes durch Solarenergienutzung über eine Tag-Nacht-Speicherung, Optimierung des Speichermanagements, energiesparende Regelstrategien und eine Temperatursummenstrategie
- Bewertung und Optimierung der Klimabedingungen durch Online-Messungen der Pflanzenreaktion (Phytomonitoring)
- Erarbeitung neuer Ansätze für Integrationsregelstrategien zur Produktion von Topfzierpflanzen und damit verbunden die Ermittlung des Integrations- und Kompensationspotenzials der unterschiedlichen Kulturen  
(TANTAU, 2011)

**Wärmeschutzverglasung (Versuchsgewächshaus in Osnabrück)**

- Untersuchung der Produktionseigenschaften und des Energieverbrauchs eines Niedrigenergie-Gewächshauses mit Wärmeschutzverglasung und Anpassung an die kulturspezifischen Bedürfnisse marktrelevanter Zierpflanzen
- Technische Maßnahmen zur Minderung der Luftfeuchtigkeit und Maßnahmen der Kulturführung zur Kompensation des verminderten Lichtangebotes
- Messung der realen Energieeinsparung
- Ökonomische Bewertung der Pflanzenqualität durch Praktiker der Topfpflanzenvermarktung  
(BETTIN und RÖMER, 2011)

**CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung (Versuchsgewächshaus in Schifferstadt/Queckbrunnerhof)**

- Demonstration der Einsparpotenziale von Foliengewächshäusern durch unterschiedliche Maßnahmen zur Wärmedämmung (Energieschirme, Mehrfacheindeckungen) mit dem Ziel der Wärmebedarfsminimierung
- CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung durch Verwendung eines Heizkessels für Holzpellets
- Optimierung der Wirkungsgrade der Wärmeerzeugung durch die Entkopplung der Heizleistung (Unterauslegung des Wärmeerzeugers) von der Entnahmeleistung durch

Lieferung der aktuell nicht benötigten Wärme an einen Wärmespeicher (Speicherladung)

- Optimierung von Regelstrategien zur Energieeinsparung und Klimaoptimierung
  - Dokumentation der Umweltauswirkungen verschiedener Gemüsekulturen im gewachsenen Boden (gläserne Produktion)
- (MEYER, 2011)

Der letztgenannte Punkt „Dokumentation der Umweltauswirkungen verschiedener Gemüsekulturen im gewachsenen Boden (gläserne Produktion)“ stellt das bearbeitete Thema dar.

## **4.2 Beschreibung des Versuchsgewächshauses**

Das Konzept der beschriebenen Datenerfassung, Dokumentation, Grundausswertung und ökologische Bewertung wurde prototypisch in einer Microsoft Excel® Tabellenkalkulation umgesetzt und exemplarisch an der ZINEG Gewächshausanlage auf dem Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof an drei Fallbeispielen eingesetzt. Das Versuchsgewächshaus wird im Folgenden beschrieben.

### **4.2.1 Standort und Lage**

Die Gewächshausanlage, in der die pflanzenbaulichen Versuche für diese Arbeit durchgeführt wurden, steht auf dem Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof des DLR Rheinpfalz. Das DLR Rheinpfalz stellt die konzentrierte Beratungs-, Versuchs-, Weiterbildungs- und Fachschulkompetenz des Landes Rheinland Pfalz im Gartenbau dar. Darüber hinaus ist durch die angewandte Forschungseinrichtung und durch den häufigen Kontakt zur gärtnerischen Praxis eine ausgezeichnete Möglichkeit zum Technologietransfer gegeben. Der Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof für Gemüsebau des DLR Rheinpfalz befindet sich in der Nähe von Schifferstadt (ca. 1,3 km vom Stadtrand entfernt) im Bundesland Rheinland Pfalz. Der Standort liegt zentral im größten Gemüseanbaugebiet Deutschlands im Landkreis Rhein-Pfalz-Kreis. Der gesamte Versuchsbetrieb umfasst ca. 22,5 ha Freiland und ca. 5000 m<sup>2</sup> Gewächshausfläche. 83 % werden konventionell und die restlichen 17 % nach Richtlinien des Bioanbaus (Bioland) bewirtschaftet.

Im ZINEG Gewächshaus wird nach Bioland Richtlinien kultiviert.

## 4.2.2 Konstruktion und technische Ausrüstung des ZINEG Gewächshauses

### 4.2.2.1 Grundkonstruktion

Die Versuchsanlage besteht aus einem Gewächshausblock in freistehender Venlo Bauweise. Die in Tabelle 6 dargestellten Systemmaße beziehen sich auf den gesamten Gewächshausblock. Aus einer Länge von 36,00 m und einer Breite von 28,80 m berechnet sich die Bruttogesamtfläche von 1036,80 m<sup>2</sup>. Die Firstrichtung des Gewächshauses verläuft von Nord-West nach Süd-Ost.

Tabelle 6: Gewächshausabmessungen

Maße	Abmessung	Einheit
Länge	36,0	m
Breite	28,8	m
Anzahl der Kappen	6 je 4,80	m
Traufhöhe	4,5	m
Stehwand	4,2	m
Sockelhöhe	0,3	m
Binderabstand	4,0	m
Bruttogesamtfläche	1036,8	m <sup>2</sup>

Die Gewächshausanlage gliedert sich in drei annähernd gleich große Gewächshausabteilungen (Abteilung 1, Abteilung 2 und Abteilung 3) die jeweils durch eine Länge von 36,0 m und einer Breite von 9,6 m charakterisiert werden. Es ergibt sich eine Grundfläche von 345 m<sup>2</sup> für Abteilung 1 und 3 und für Abteilung 2 von 355 m<sup>2</sup>. Jede Abteilung besitzt zwei Kappen. In den drei Gewächshausabteilungen sind als Ausrüstung sowohl unterschiedliche Stufen der Wärmedämmung als auch spezielle klimarelevante Techniken verbaut.

Allen Gewächshausabteilungen gemeinsam ist eine aufblasbare Doppelfolieneindeckung sowie eine durchgehende einseitige Dachlüftung. Um den Zugang zu den Gewächshausabteilungen eins, zwei und drei über die gesamte Breite zur Bodenbearbeitung zu gestatten, wurden in den Giebeln Hebe-/Senktore eingebaut. Die maximale Öffnungshöhe (Durchfahrtshöhe) beträgt 2,5 m. Die Außengiebel bestehen aus Plexiglas XT (Alltop) SDP 16 mm, die Außenstehwand von Abteilung 1 aus Plexiglas XT (Alltop) SDP 16 mm und die Außenstehwand von Abteilung 3 aus F-Clean Doppelfolie 2 x 100 µm; die Innenstehwände wie auch die Dacheindeckung (außer bei Abteilung 2) bestehen aus aufblasbarer Polyethylen-Doppelfolie 2 x 180 µm. Die Häuser haben je Kappe einseitig eine durchgehende Firstlüftungsklappe mit Drehpunkt an der Rinne

(KREUZPAINTNER et al., 2011). Die Eindeckung der Lüftungsklappen erfolgt mit aufblasbarer Polyethylen-Doppelfolie 2 x 180 µm (Gewächshausabteilung 1 und 2) und in Gewächshausabteilung 3 mit einer aufblasbarer F-Clean Doppelfolie 2 x 100 µm (KREUZPAINTNER et al., 2011). Die Unterkonstruktion besteht aus einem Punktfundament aus C25/30 Beton mit konstruktiver Bewehrung und einem Fertigteilssockel aus 60 mm starken Sandwichelementen. Der Sockel wird 0,20 m unter OKFF eingebaut, und weist eine Höhe von 0,30 m über OKFF auf. Aus dieser Sockelhöhe von 0,30 m und einer Stehwandhöhe von 4,20 m ergibt sich eine Traufhöhe von 4,50 m. Die feuerverzinkte Stahlstützenkonstruktion mit Gitterbindern nach DIN 11535 für Kulturgewächshäuser, die einen Abstand von 4,00 m aufweisen, trägt die sechs längsgerichteten Kappen mit einer Breite von 4,80 m. Zur Aufnahme der Eindeckung wurden Alu-Spezialprofile verwendet.

#### **4.2.2.2 Gewächshausabteilung 1**

Da einer der Schwerpunkte dieses Projektes energetische Untersuchungen bei der Verwendung von unterschiedlichen Schirmsystemen sind, ist Abteilung 1 als „Standartvariante“ mit einem Energieschirm aus Acrylgewebe mit Aluminiumanteil im Dachbereich ausgestattet (KREUZPAINTNER et al., 2011).

Zusätzlich zur freien Dachlüftung wurde eine insektendichte Zwangslüftung installiert. Dazu wurden in die Stehwand drei Abluftventilatoren eingebaut. Die Luftverteilung erfolgt über einen insektendichten (blattlaussicheren) Luftschlauch (KREUZPAINTNER et al., 2011). Die vorgegebene Gesamtleistung soll einen 30-fachen Luftwechsel je Stunde (ca. 50.000 cbm/h) ermöglichen. Die Ventilatoren werden über das Klimaregelsystem (RAM) drehzahl geregelt angesteuert (KREUZPAINTNER et al., 2011).

#### **4.2.2.3 Gewächshausabteilung 2**

Abteilung 2 ist als maximale Isolierstufe geplant und daher mit zwei Energieschirmen im Dachbereich und einem Energieschirm an den Stehwänden ausgestattet (KREUZPAINTNER et al., 2011). Der Energieschirm der oberen Lage besteht aus einem Verdunklungsgewebe, dessen aluminisierte Seite nach unten gerichtet ist. Die untere Lage ist als typische Verdunklung mit einem an den Stehwänden heruntergezogenen System ausgeführt. In diesem Fall ist die aluminisierte Seite nach oben gerichtet. Durch beide Schirmanlagen zusammen soll ein Thermoskanneneffekt mit maximaler Isolierwirkung erzielt werden. Die Schirme sind separat steuerbar. Ein Rollschirm an jedem Gewächshausgiebel rundet hier die Isolierung ab (KREUZPAINTNER et al., 2011).

#### 4.2.2.4 Gewächshausabteilung 3

Durch die Eindeckung mit F-Clean-Folie im Dach und an der Außenstehwand und durch die Ausrichtung der Gewächshausanlage ist Abteilung 3 das Schiff mit der höchsten Strahlungsdurchlässigkeit; als weitere Eigenschaft dieser Folie ist die erhöhte UV-Durchlässigkeit der Bedachung mit den zu untersuchenden pflanzenbaulichen Auswirkungen zu beachten.

Um eine hohe Energieeinsparung auch am Tage und in den Morgenstunden zu erreichen, ist Abteilung 3 mit zwei Energieschirmen im Dachbereich ausgestattet. Der Energieschirm der oberen Lage und der Stehwandrollschirm weisen zusammen einen Schattierwert von 50 % auf. Das verwendete Material ist ein Streifengewebe. Der Schirm der unteren Lage ist aus einem lichtdurchlässigen Streifengewebe und wird als Tagesenergieschirm bezeichnet. Die Schirme sind unabhängig voneinander steuerbar (KREUZPAINTNER et al., 2011).

#### 4.2.2.5 Zentrale Automatisierungstechnik des ZINEG Gewächshauses

Die unterschiedlichen Automatisierungssysteme des ZINEG Gewächshaus können zentral gesteuert werden und werden im Folgenden beschrieben.

#### Beschreibung der Heizungsanlage

Aufgrund der Aufgabenstellung, das Gewächshaus CO<sub>2</sub>-neutral zu heizen, erfolgt die Wärmeversorgung mit einem Pellet-Heizkessel. Dieser ist mit dem Pelletlager gemeinsam in einem Heizcontainer neben dem Gewächshaus untergebracht. Das Heizungssystem wird durch einen 15 m<sup>3</sup> großen Pufferspeicher vom Gewächshaus entkoppelt (Abbildung 6). Dadurch können die Wärmeerzeugung und der –verbrauch getrennt werden. Beispielsweise kann dadurch das Gewächshaus eine höhere Heizleistung entnehmen als der Kessel zur gleichen Zeit produzieren könnte. Durch die Ladevorgänge des Speichers kann der Wirkungsgrad der Kesselanlage erhöht werden. Damit können längere Laufzeiten im Vollastverfahren erreicht werden. So kann beispielsweise der Kessel bei einem gefüllten Speicher ausgeschaltet werden und muss nicht im Teillastbetrieb betrieben werden.

Die Laufzeit für eine Füllung des Speichers beträgt etwa acht Stunden. Als Heizmaterial kommen sechs Millimeter große Holzpellets mit der Bezeichnung DIN Plus zum Einsatz, die über einen Tankwagen in den Bunker eingeblasen werden. Im Pelletlager können etwa 15 t Brennstoff gelagert werden (KREUZPAINTNER et al., 2011). Die verwendeten Pellets der Firma Wagner GmbH wurden von der Firma DIN CERTO, einer Zertifizierungsgesellschaft der TÜV Rheinlandgruppe und des Deutschen Instituts für Normung e.V., untersucht. Die Pellets erfüllen die ÖNorm und die DIN Plus Norm.

Die vorgegebene Heizleistung der Wärmeerzeugung beträgt 150 Kilowatt bei einer ausgelegten Temperaturdifferenz von  $\Delta T = 20 \text{ K}$ .



Abbildung 6: Heizcontainer mit Wärmespeicher  
(KREUZPAINTNER et al., 2011)

Die Wärmeverteilung erfolgt über eine oberirdische Heiztrasse vom Warmwasserpufferspeicher in das Gewächshaus. Jede Gewächshausabteilung hat eine Mischgruppe einschließlich eines Wärmemengenmessers. Als Heizung ist in allen Häusern eine Alu-Flossenrohr-Heizung als Hebe-/Senkheizung über den Pflanzbeeten installiert, pro Beet zwei Rohrstränge über- und nebeneinander. Der Vorlauf befindet sich oben, der Rücklauf unten. An den äußeren Stehwänden sorgt jeweils ein doppelter Rohrstrang für eine ausgeglichene Temperaturverteilung (KREUZPAINTNER et al., 2011).

### **Beschreibung der Klimaregelung durch den Klimacomputer**

Die Gewächshausanlage wird über einen gewächshauspezifischen Steuerrechner, den CC600 der Firma RAM (Regel- und Messtechnische Apparate GmbH, Herrsching) geregelt.

Dieser ist in zwei Ebenen strukturiert:

- Unterstationen für die Prozessebene
- Bedien- und Leitrechner

Die Unterstationen übernehmen je nach technischer Ausstattung der Häuser folgende Steuerfunktionen:

- Raumheizung über Vegetationsheizflächen
- Firstlüftung
- Mechanische Lüftung (nur Abteilung 1)
- Wärmedämmung und Schattierung (innen)
- CO<sub>2</sub>-Düngung
- Störungserfassung und -meldung

Zur Automatisierungstechnik gehören alle erforderlichen Sensoren zur Erfassung der Gewächshausinnentemperatur, der Luftfeuchte, der CO<sub>2</sub>-Konzentration, der Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkreise und der Wärmemengen.

Über eine meteorologische Station werden Außentemperatur und -feuchte, solare Einstrahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie der Niederschlag erfasst. Wobei letztgenannter nicht in der Niederschlagsmenge erfasst wird, sondern nur als Ereignis mit „Ja“ oder „Nein“ dokumentiert wird.

### **Management- und Bedieneinrichtungen**

Der Bedien- und Leitreechner verfügt darüber hinaus über eine anwenderspezifische Software zur Langzeitdatenspeicherung und Prozessvisualisierung. Auch der Zugriff auf die Datenquelle (MySQL Datenbank) des RAM Klimacomputers und damit auf die aufgezeichneten Rohdaten ist jederzeit möglich.

Durch Anbindung des Bedien- und Leitrechners an das Datennetz der Liegenschaft ist auch die Weitergabe von Prozessdaten an die PC-Arbeitsplätze der Nutzer möglich. Diese Management- und Bedieneinrichtung ist im April 2012 upgedatet worden.

Die Verbindung zwischen dem Bedienrechner des RAM Klimacomputers und dem Arbeitsrechner in Weihenstephan (Technische Universität München) wird über die Software Teamviewer hergestellt. Von 2009 bis Anfang 2012 wurde die Version 5 verwendet. Seit Mai 2012 wird die Version 7 eingesetzt. Dadurch ist ein direkter Zugriff und Datentransfer möglich.

### **Beschreibung des Bewässerungssystems KliWaDu**

Die Bewässerung erfolgt am Queckbrunnerhof mit dem System KliWaDu, da dieses dort bereits vorhanden war und dadurch kostengünstiger eingesetzt werden kann. Die Software hierzu wurde am Institut Gemüsebau der Fachhochschule Weihenstephan entwickelt. Die erforderliche Hardware wurde von der Firma Positronik entwickelt und vertrieben. Abbildung 7 veranschaulicht den modularen Aufbau und die Funktionsweise des

Bewässerungssystem. Als Steuerungsgröße wird die Bodenfeuchte zugrunde gelegt. Dazu wird diese mit Tensiometern bestimmt.

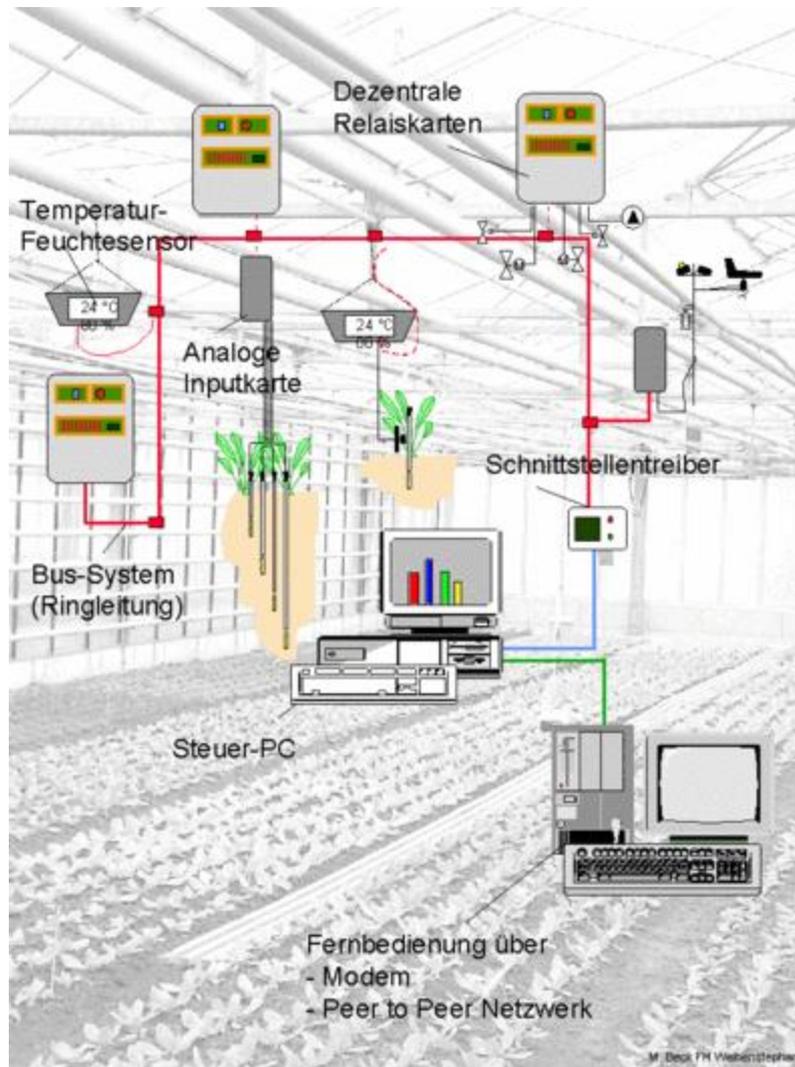


Abbildung 7: Darstellung des modularen Aufbaus des KliWaDu-Systems (BECK, 2012)

Ein direkter Zugriff über die Software „Teamviewer“ ist nicht möglich, da die Daten auf einem nicht zugriffsbefugten Rechner abgespeichert werden (internes Behördennetz Rheinland-Pfalz).

### 4.3 Datenerfassung und Dokumentation

Um eine ökologische Bewertung durchführen zu können, ist eine umfassende Erfassung und Dokumentation der Daten von Bedeutung. Zuerst werden die zu erfassenden Ressourcenverbräuche für die ökologische Bewertung beschrieben. Dann werden die Datenquellen und der Datentransfer erläutert. Als Hauptdatenquelle können der

Regelungscomputer oder auch mehrere Regelungscomputer betrachtet werden. Die betriebsinterne Dokumentation des Kulturverfahrens kann vor allem als Datenquelle beim Pflanzenschutzmittel- und Düngemittelverbrauch genutzt werden; aber auch Informationen über die Kulturführung können entnommen werden.

Abbildung 8 zeigt eine schematische Übersicht von Datentransfer und -verarbeitung. Die interne Datenbank des Klimacomputers, Microsoft Query® und die Rohdatenbank der Microsoft Excel® Prozessdokumentation stellen den automatisierten Datenaustausch dar. Die interne Datenbank ist hierbei eine MYSQL Datenbank des Klimacomputers. Auf diesem werden die gemessenen Daten abgespeichert. Microsoft Query® ist ein Zusatzprogramm und ermöglicht auf externe Datenbanken (außerhalb Microsoft Excel®) zuzugreifen und Daten auszulesen. Microsoft Query® ist somit eine anpassbare Schnittstelle zwischen dem RAM Klimacomputer und Microsoft Excel®. Die Abfrage mit Hilfe des Microsoft Query® ist automatisiert und die abgefragten Daten werden in die Microsoft Excel® Tabellenkalkulation transferiert. Die Schnittstellenfunktion wird somit von Microsoft Query® übernommen und ausgeführt.

Die Aufbereitung der Daten aus der Dateneingabe und der erfassten Rohdaten des Klimacomputers erfolgt in Form einer Grundausswertung. Darauf aufbauend folgt die ökologische Bewertung hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

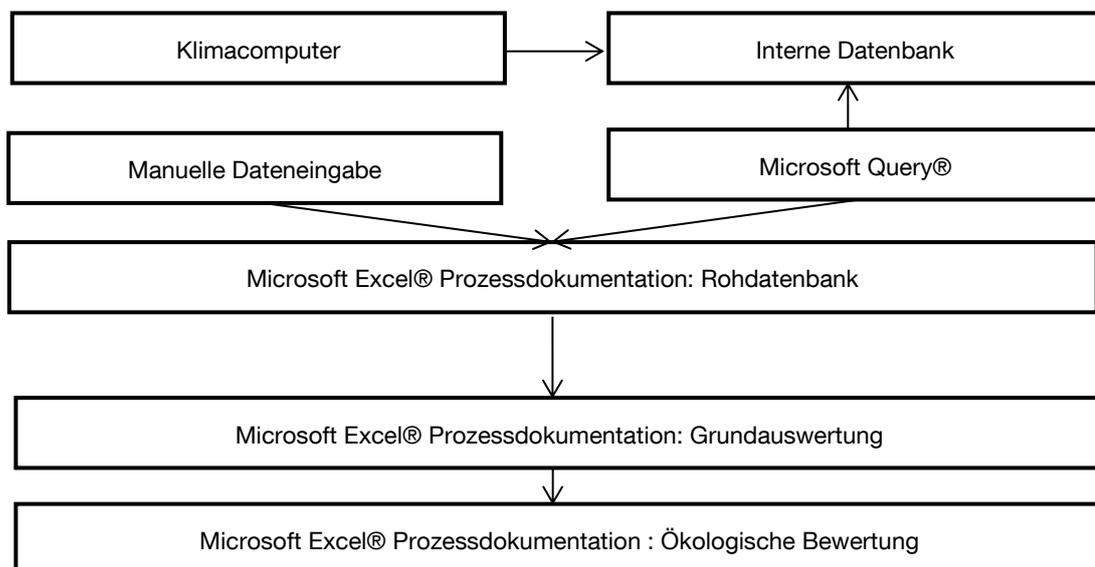


Abbildung 8: Schematische Übersicht von Datentransfer und -verarbeitung

### **4.3.1 Darstellung der erfassten Ressourcen für die ökologische Bewertung**

Ein Umweltaspekt wird definiert als „Bestandteil der Tätigkeiten oder Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, der auf die Umwelt einwirken kann“ (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009a). Der Ressourcenverbrauch kann daher als Umweltaspekt bei der Produktion von gartenbaulichen Produkten betrachtet werden (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009a). Somit ist es wichtig den Einsatz von Ressourcen, welche umweltrelevante Auswirkungen haben, zu dokumentieren, auszuwerten und zu bewerten.

#### **Wasserverbrauch**

Der Einsatz von Wasser bei der Pflanzenproduktion ist ein bedeutender Produktionsfaktor. Gerade in Gegenden, in denen Wasser zu einer knappen Ressource gehört, sind sein sparsamer Einsatz und vor allem die Kontrolle des nachhaltigen Umgangs mit ihm von Bedeutung. Als Datenquelle für die Dokumentation des Wasserverbrauches kann der Regelungscomputer genutzt werden. Die gewonnenen Wasserverbräuche werden als Dateninput bei der Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente genutzt.

#### **Elektroenergieverbrauch**

Eine Dokumentation und Bewertung des Elektroenergieverbrauches ist sowohl aus ökologischen wie auch ökonomischen Gründen sinnvoll. Der Elektroenergieverbrauch wird mit Hilfe von Elektroenergiezähler erfasst und in der internen Datenbank des Regelungscomputers gespeichert. Damit kann der Regelungscomputer als Datenquelle verwendet werden. Die gewonnenen Elektroenergieverbräuche werden für die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents benötigt.

#### **Heizmaterialverbrauch**

Bei steigenden Rohstoffpreisen für Heizmaterialien ist es wichtig, den mengenmäßigen Verbrauch einer Produktion zu kennen, um gegebenenfalls Einsparmaßnahmen identifizieren zu können. Der Regelungscomputer misst und zeichnet den Wärmeverbrauch auf. Auf Grundlage des Wärmeverbrauchs kann die Wärmeenergie berechnet werden. Für die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents ist der Heizmaterialverbrauch ein sehr wichtiger Dateninput.

#### **Düngemittelverbrauch**

Um aktuelle Daten darüber zu erhalten, wird der Düngemittelverbrauch erfasst und bewertet. Der Düngemittelverbrauch wird in der betriebsinternen Dokumentation des Kulturverfahrens festgehalten. Die gewonnen Daten werden als Input bei der Berechnung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents benötigt.

## **Pflanzenschutzmittelverbrauch**

Als Datenquelle für den Pflanzenschutzmittelverbrauch kann die betriebsinterne Dokumentation des Kulturverfahrens verwendet werden. Die gewonnenen Daten werden als Input bei der Berechnung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents benötigt.

### **4.3.2 Datenquellen und Datentransfer**

Für die Dokumentation wurden am ZINEG Gewächshaus die folgenden drei Datenquellen ausgewählt: Regelungscomputer 1 (RAM), Regelungscomputer 2 (KliWaDu), und die betriebsinterne Dokumentation des Kulturverfahrens.

Im Folgenden werden die Datenquellen und der Datentransfer näher beschrieben. Auf Besonderheiten, die am Queckbrunnerhof vorzufinden sind, wird hingewiesen.

#### **4.3.2.1 Regelungscomputer 1 (RAM)**

Für die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung des gartenbaulichen Produktionsprozesses stellt die Regelungstechnik die Hauptdatenquelle dar.

Durch die interne Datenbank des Klimacomputers stehen eine Vielzahl von Informationen an Wetterdaten, Gewächshausklimadaten und Verbräuche zur Verfügung.

Durch Microsoft Query® werden die Außentemperatur, die Beleuchtungsstärke, die Außenstrahlung, der Außenwind und der Außenniederschlag in die Rohdatenbank transferiert. Weiterhin wird für jede Gewächshausabteilung separat die Innentemperatur in die Rohdatenbank übertragen (ebenfalls durch Microsoft Query®).

Wärmebedarf und Elektroenergieverbrauch werden aus der internen Datenbank der Regelungstechnik getrennt für jede Gewächshausabteilung durch Microsoft Query® in der Rohdatenbank bereitgestellt.

#### **4.3.2.2 Regelungscomputer 2 (KliWaDu)**

Das Bewässerungssystem KliWaDu stellt am Queckbrunnerhof eine Besonderheit dar. Oft ist das Bewässerungssystem im Klimacomputer des Gewächshauses integriert und wird von diesem ausgeführt. Damit ist eine automatische Datenermittlung mit Hilfe des Klimacomputers in der Regel grundsätzlich möglich. Am Queckbrunnerhof wurden die Daten der Bewässerung im KliWaDu System dokumentiert, für die Weiterverarbeitung daraus entnommen und manuell in die Rohdatenbank transferiert. Es wurden die Menge des Wassers in Litern und der Zeitpunkt der Bewässerung für jede Gewächshausabteilung festgehalten. Die Wassermenge und der Bewässerungszeitpunkt werden in der Rohdatenbank festgehalten.

#### **4.3.2.3 Betriebsinterne Dokumentation des Kulturverfahrens**

Die Kulturdaten wurden auf dem Queckbrunnerhof betriebsintern in einer Microsoft Excel® Anwendung dokumentiert und dann manuell in die Rohdatenbank transferiert. So wird durch diese Datenquelle der Einsatz von Dünge- sowie Pflanzenschutzmitteln in ihrer Art und Menge erfasst. Um die pflanzenbaulichen Versuche auf dem Queckbrunnerhof detailliert erfassen zu können, wird diese betriebsinterne Dokumentation, um alle weiteren wichtigen Informationen über das Kulturverfahren erweitert. So werden auch die Anbaufläche, der Zeitpunkt der Aussaat und der Ernte und weitere versuchsspezifische Informationen festgehalten. Weiterhin werden alle gärtnerischen Eingriffe dokumentiert. Alle relevanten Informationen werden in der Rohdatenbank festgehalten.

#### **4.4 Grundausswertung**

Die Rohdaten werden in der Grundausswertung für die weitere Begutachtung aufbereitet. Darunter sind zwei Bearbeitungsschritte zu verstehen. Beim ersten werden Lücken in den Datenreihen in Form von nicht aufgezeichneten Daten behandelt. Aufgrund von technischen Problemen ist es möglich, dass die Datenaufzeichnung unterbrochen wird und Daten somit fehlen. Um bei der anschließenden Bewertung keine Falschinformation zu erhalten, werden die fehlenden Daten nicht bei der weiteren Berechnung berücksichtigt. Ein zweites Problem stellen die unterschiedlichen zeitlichen Aufzeichnungsintervalle von Klimacomputern dar. So können die Daten des Klimacomputers zum Beispiel im Zweiminutentakt oder Zehnminutentakt gemessen und aufgezeichnet werden. Um eine einheitliche Zeitbasis für die Bewertung zur Verfügung zu haben, werden aus den Daten zuerst Stundenwerte gebildet. Aus diesen werden dann im nächsten Schritt Tagessummen berechnet.

Die Daten der Ressourcenverbräuche Wasser, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel werden pro Tag erfasst und für die in Kapitel 4.3.1 ausgewählten Ressourcen in der Grundausswertung zu Gesamtverbräuchen aggregiert. Darunter wird die Auswertung aller erfassten Daten über den Dokumentationszeitraum verstanden.

Im letzten Bearbeitungsschritt der Grundausswertung werden alle Werte des jeweiligen Dokumentationsparameters über den gesamten Dokumentationszeitraum aufsummiert.

##### **Wasser**

Die erfassten Werte liegen in Tagessummen in l pro Gewächshausabteilung vor und werden lediglich über den gesamten Dokumentationszeitraum aufsummiert.

## Elektroenergie

Hier liegen die Werte als Messwert in kWh pro Gewächshausabteilung vor und es wird die Summe über den gesamten Dokumentationszeitraum gebildet. Es wird sowohl der Elektroenergieverbrauch erfasst, der in den Gewächshausabteilungen selbst benötigt wird als auch der für die Bereitstellung der Wärmemenge erforderlich.

Der Elektroenergieverbrauch des Heizungskessels, der die notwendige Wärmemenge produziert, wird auf die einzelnen Abteilungen verteilt. Hierzu wird die prozentuale Verteilung des Wärmebedarfs der einzelnen Abteilungen bestimmt. Dieses Verhältnis wird dann zur Verteilung getrennt auf den Elektroenergieverbrauch übertragen. Der gesamte Elektroenergieverbrauch addiert sich somit aus dem gemessenen Elektroenergieverbrauch einer Gewächshausabteilung und dem Elektroenergieverbrauch, der für die Erzeugung der Wärmemenge der jeweiligen Gewächshausabteilung bereitgestellt werden muss.

## Heizmaterial

Um die Wärmemengenergie und damit den Verbrauch an Heizmaterial ermitteln zu können, wird als erstes die benötigte Wärmemenge ermittelt. Diese kann je nach technischer Ausstattung auf zwei verschiedene Arten erfasst werden. Sofern vorhanden, kann die Wärmemenge mit Hilfe eines installierten Wärmemengenmesser aufgezeichnet werden. Die Daten können dann mit Hilfe des Klimacomputers dokumentiert und von diesem ausgelesen werden. Wenn keine messtechnische Erfassung möglich ist, wird die Wärmemenge rechnerisch ermittelt.

Die Berechnung des Wärmeverbrauchs im Gewächshaus erfolgt nach MEYER (2010).

$$q_{cs} = \sum_{t=1}^{8760} \left( U_{cs} \times \frac{A_s}{A_g} \times (\theta_i - \theta_a) - q_{r,e} \times T_r \times \eta_r \right)$$

$q_{cs}$ = Wärmeverbrauch	[W/m <sup>2</sup> a <sup>-1</sup> ]
$U_{cs}$ = Wärmeverbrauchsbeiwert	[W/m <sup>2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$A_s$ = Hüllfläche	[m <sup>2</sup> ]
$A_g$ = Grundfläche	[m <sup>2</sup> ]
$\theta_i$ = Innentemperatur	[°C]
$\theta_a$ = Außentemperatur	[°C]
$q_{r,e}$ = Globalstrahlung außen	[W m <sup>-2</sup> ]
$T_r$ = Durchlässigkeit für Globalstrahlung	[-]
$\eta_r$ = Wirkungsgrad der Energieumsetzung	[-]
t = Zeit	[h]

Der Wärmeverbrauchscoeffizienten  $U_{cs}$  kann folgendermaßen rechnerisch bestimmt werden (MEYER, 2010).

$$U_{cs} = \frac{\sum^{Nacht} Q_{cs}}{A_s/A_g \times (\theta_i - \theta_a) \times t}$$

$U_{cs}$	= Wärmeverbrauchscoeffizient	[W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$Q_{cs}$	= Energieverbrauch	[Wh]
$A_s$	= Hüllfläche des Gewächshauses	[m <sup>2</sup> ]
$A_g$	= Grundfläche	[m <sup>2</sup> ]
$\theta_i$	= Innentemperatur	[°C]
$\theta_a$	= Außentemperatur	[°C]
t	= Zeit	[h]

Es können auch Daten des Wärmebedarfs eines Gewächshauses mit Hilfe des Simulationsprogramm HORTEX erhoben werden. HORTEX stellt ein Programm zur Planung der Energieversorgung von Gewächshausanlagen dar. Die Berechnung und Simulation des Wärmebedarfs für ein Gewächshaus basiert auf dem  $U_{cs}$  Berechnungsmodell (LANGNER, 2013).

Im ZINEG Gewächshaus am Queckbrunnerhof wird die Wärmemenge in jeder Gewächshausabteilung durch einen induktiven Durchflussmesser vom Typ Optiflux 1000 und durch einen Messwertumformer vom Typ ICF 100 W der Firma Krohne gemessen. Aufgezeichnet werden die Daten vom Klimacomputer der Firma RAM.

Wenn die Wärmemenge und -energie bekannt ist, kann die Menge an Heizmaterial berechnet werden. Hierzu wird die bekannte Wärmemenge durch den Heizwert des Heizmaterials dividiert. Die erfassten Werte werden in kWh pro Gewächshaus über den gesamten Dokumentationszeitraum aufaddiert.

Für die Auswertung der Wärmemengen werden die in den Gewächshausabteilungen gemessenen Werte verwendet. Verluste die durch den Jahreswirkungsgrad der Heizungsanlage definiert sind, werden nicht berücksichtigt, da keine belastbaren Zahlen vorliegen und Annahmen hierzu große Ungenauigkeiten bedeuten.

Tabelle 7 stellt die Heizwertrohdaten, welche aus der GEMIS Datenbank entnommen sind, dar. Diese Daten werden in der Einheit MJ/kg angegeben. Es wurde jeweils aus der GEMIS Datenbank ein möglichst aussagekräftiges Produkt für das jeweilige Heizmaterial repräsentativ ausgewählt. Die GEMIS Bezeichnung wurde ebenfalls vermerkt.

Tabelle 7: Heizwertrohdaten aus den Datenbanken GEMIS (2010) in MJ/Materialeinheit

Heizmaterial	Bezeichnung in GEMIS	Heizwert	Einheit	Quelle
Holz	Holz-generisch	10,7	MJ/kg	GEMIS
Holzpellets	Holz-DE-Pellets-2010	16,2	MJ/kg	GEMIS
Heizöl EL	Öl-leicht-DE	42,6	MJ/kg	GEMIS
Erdgas	Erdgas-DE	33,8	MJ/m <sup>3</sup>	GEMIS

Aus den GEMIS Heizwertrohdaten wird der jeweilige Heizwert in kWh pro Materialeinheit berechnet. Die Umrechnung ist in der GEMIS Datenbank mit  $(1 \frac{MJ}{kg} = 277,778 \times 10^{-3} \frac{kWh}{kg})$  hinterlegt. Somit wird der Heizwert aus der GEMIS Datenbank in MJ/kg multipliziert mit dem Faktor  $277,778 \times 10^{-3} \frac{kWh}{kg}$ . Für das Heizmaterial „Holzpellets“ wird der Heizwert mit 4,9 kWh/kg angenommen, da dieser Wert vom Hersteller der Holzpellets, die beim ZINEG Gewächshaus benutzt werden, so angegeben wurde (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Heizwert in kWh/Heizmaterialeinheit

Heizmaterial	Heizwert	Einheit
Holz	2,9	kWh/kg
Holzpellets	4,9	kWh/kg
Heizöl EL	11,8	kWh/kg
Erdgas	9,4	kWh/Nm <sup>3</sup>
Fernwärme	1,0	kWh
Elektroenergie	1,0	kWh

### Düngemittel

Die erfassten Werte des eingesetzten Düngemittels (Vinasse) werden in der jeweiligen Einheit pro Gewächshaus über den gesamten Dokumentationszeitraum aufsummiert.

### Pflanzenschutzmittel

Die durch handschriftliche Dokumentation erfassten Werte eines jeden eingesetzten Pflanzenschutzmittels werden in der jeweiligen Einheit pro Gewächshaus über den gesamten Dokumentationszeitraum zusammengezählt.

## 4.5 Durchführung der ökologischen Bewertung

Eine schnelle Übertragbarkeit des Ergebnisses anhand der in der Grundausswertung berechneten absoluten Zahlen ist schwer möglich. Deshalb ist es wichtig relative Bezüge bei den einzelnen Zahlenwerten herzustellen, um eine vergleichende Betrachtung zu erleichtern. Die Bewertung stellt einen relativen Bezug der absoluten Werte zu einer

Bezugsebene dar, beispielsweise der Verbrauch (absoluter Wert) pro Fläche (Bezug) oder der erntemengenspezifischer Verbrauch z.B. auf das Kilogramm Erntemenge (Bezug) oder pro Stück (Bezug).

Ein probates Mittel ist hierbei, wie in Kapitel 2.2.7 bereits erwähnt, die Berechnung von Umweltkennzahlen. Vor allem die Bildung von Umweltleitungskennzahlen ist ein geeignetes Instrument, Ressourceninput und -effizienz darzustellen (BUNDESUMWELTMINISTERIUM UND BUNDESUMWELTAMT, 2001).

#### **4.5.1 Definition und Bestimmung der funktionellen Einheit**

Bei vielen, vor allem ökologischen Bewertungssystemen, hat sich als relatives Bezugssystem die funktionelle Einheit durchgesetzt (vgl. Kapitel 2.2). Darunter wird der „quantifizierte(r) Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit“ verstanden (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009a). Somit ist eine Bestimmung der unterschiedlichen funktionellen Einheiten von Bedeutung, um die Vergleichbarkeit bei unterschiedlichen Bewertungssystemen zu gewährleisten. Nur wenn der Scope der Bewertung eindeutig mit klar erkennbaren Grenzen bestimmt ist, ist eine klare Nachvollziehbarkeit und Einordnung des Ergebnisses gewährleistet. Im Folgenden werden die einzelnen ausgewählten funktionellen Einheiten beschrieben.

##### **4.5.1.1 Gesamteinsatz**

Der Gesamteinsatz bezieht sich auf die Summe aller Werte in relativem Bezug auf den gesamten Dokumentationszeitraum und -ort. Der Dokumentationsort entspricht hier der einzelnen Gewächshausabteilung. Damit wird ein zeitlich und örtlich begrenzter Vergleich bzw. eine Einordnung des Ergebnisses aus der Grundausswertung möglich. Der ermittelte Wert entspricht dem zahlenmäßigen Wert aus der Grundausswertung.

##### **4.5.1.2 Einsatz pro Fläche**

Bei der funktionellen Einheit „Einsatz pro Fläche“ wird ein relativer Bezug zwischen den absoluten Werten, die über den gesamten Dokumentationszeitraum erfasst wurden, auf die Gewächshausabteilungsgrundfläche bezogen. Dadurch wird ein Vergleich bzw. eine Einordnung des dokumentierten Ergebnisses bezogen auf die Fläche erreicht.

##### **4.5.1.3 Einsatz pro mengenmäßige Produktionseinheit**

Der relative Bezug der Zahlenwerte aus der Grundausswertung auf die einzelne mengenmäßige Produkteinheit stellt bei der Gemüseproduktion ein komplexes Problem dar. Die Zuordnung des Ressourcenverbrauches und der CO<sub>2</sub>-Äquivalente von der Produktion zur verkaufsfertigen Produktionseinheit ist ein vielschichtiger Prozess. Gerade die Frage wie viel Menge von einer Ressource (erntemengenspezifischer Verbrauch) oder von einem

CO<sub>2</sub>-Äquivalent bei einem gartenbaulichen Produkt, beispielsweise bei einem Salatkopf oder einem Kilogramm Tomate berechnet wird, ist eine Frage der Methodik der Zuordnung. Grundsätzlich kann zwischen zwei unterschiedlichen Ebenen dieser funktionellen Einheit unterschieden werden. Die Unterscheidung ergibt sich durch die Art der Ernten. Hierbei ist vor allem darauf zu achten, was bei dem jeweiligen gartenbaulichen Produkt geerntet wird und was damit hier die funktionelle Einheit darstellt. So können die Gesamtpflanze aber auch nur Teile wie z.B. die Früchte einer Pflanze ein Ernteprodukt sein. Das Bewertungsverfahren unterscheidet sich somit in der Zuordnung des Ressourcenverbrauches bzw. des CO<sub>2</sub>-Äquivalents hinsichtlich des Ernteproduktes. Es wird zwischen der einmaligen und der durchlaufenden mehrmaligen Ernte unterschieden.

### **Relativer Bezug für Ernteprodukte der einmaligen Ernte**

Als Ernteprodukt wird die gesamte Pflanze verstanden. Die Ernteeinheit kann entweder pro Stück oder eine Mengenangabe z.B. Kilogramm sein. Hierzu gehören z.B. Kopfsalate (Stück) oder Spinat (Kilogramm). Um eine Bewertung hinsichtlich der funktionellen Einheit „Einsatz pro mengenmäßige Produkteinheit“ durchführen zu können, muss daher hinsichtlich der Ernteeinheit unterschieden werden. Bei der Ernteeinheit Stück wird der aufsummierte Gesamtverbrauch aus der Grundausswertung eines Gewächshauses durch die Anzahl der geernteten Pflanzen dividiert. Bei der Ernteeinheit Kilogramm wird der Gesamtverbrauch aus der Grundausswertung durch die gesamte Erntemenge in Kilogramm dividiert.

### **Relativer Bezug für Ernteprodukte der durchlaufenden mehrmaligen Ernte**

Als Ernteprodukt können Teile einer Pflanze, vor allem deren Früchte, verstanden werden. Um die dokumentierten Daten in Bezug auf die verkaufsfähige Produkteinheit bewerten zu können, ist eine sinnvolle und nachvollziehbare Zuordnung auf die funktionelle Einheit Produktmenge (z.B. Kilogramm) notwendig. Aber gerade die schlüssige Abbildung des relativen Bezuges zwischen Ressourcenverbrauch bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalente und der verkaufsfähigen Produktmenge z.B. ein Kilogramm stellt ein Problem dar. Als Beispiel sei hier die Tomatenpflanze aufgeführt und deren Ernteprodukt ein Kilogramm Tomatenfrüchte (hier funktionelle Einheit). Es ergibt sich die Fragestellung, wie der Ressourcenverbrauch dem einzelnen Kilogramm Tomaten nachvollziehbar zugeordnet werden kann. Aus diesem Grund wurde am Queckbrunnerhof bei dem durchgeführten Tomatenversuch 2011 diese Fragestellung in den Versuchsaufbau mit integriert. Durch Rückrechnung wird geklärt, wie der Ressourcenverbrauch der vegetativen Wachstumsphase der Tomatenpflanze und der Ressourcenverbrauch der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrucht dem einzelnen geernteten Kilogramm Tomate zugeordnet wird. Auf Basis dieses Ergebnisses wird der

relative Bezug gebildet, indem der Gesamtverbrauch aus der Grundausswertung durch die gesamte Erntemenge in Kilo dividiert wird.

#### **4.5.2 Bewertung des Ressourcenverbrauches**

Nach der Festlegung der funktionellen Einheiten erfolgt eine ökologische Bewertung anhand der zwei Kriterien Ressourcenverbrauch bzw. Ressourceneffizienz und verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Dadurch kann eine grundsätzliche Aussage über die ökologische Verträglichkeit einer Produktion getroffen werden.

##### **4.5.2.1 Bewertung hinsichtlich der Ressourceneffizienz**

Die Bewertung erfolgt in Bezug auf die in Kapitel 4.5.1 festgelegten funktionellen Einheiten. Darunter wird die Bildung eines relativen Bezuges der erfassten Werte verstanden. Das bedeutet, dass bei jeder der Ressourcen Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Pflanzenschutzmittel, und Düngemittel der Gesamtverbrauch, der Verbrauch pro Fläche (m<sup>2</sup>) und der Verbrauch pro mengenmäßige Produkteinheit berechnet werden.

##### **4.5.2.2 Bewertung hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Äquivalents**

Auch die verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, welche durch Ressourcenverbräuche verursacht werden, stellen einen Umweltaspekt dar, den es zu bewerten gilt. CO<sub>2</sub>-Äquivalente stellen dar, wie viel an Treibhausgasen emittiert wird. Somit ist die Ermittlung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bei der Produktion von gartenbaulichen Produkten ein wichtiger Beitrag. Berechnet werden die verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, die beim Einsatz der Ressourcen Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Pflanzenschutzmittel und Düngemittel entstehen. Diese verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden durch den tatsächlichen Ressourcenverbrauch im jeweiligen Gewächshaus bestimmt.

Somit ist die Grundlage bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente eine umfassende Dokumentation und Bewertung des Ressourcenverbrauches. Die Datenbasis wird durch betriebsexterne Daten (CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren) ergänzt. Für die Berechnung der verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden die CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren aus externen Datenquellen wie der GEMIS Datenbank (GEMIS, 2010) und der PROBAS Datenbank des Umweltbundesamt (PROBAS, 2012) entnommen.

Nachfolgend werden die zugrunde gelegten CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren und die Berechnungsschritte in Bezug auf die einzelnen Dokumentationsparameter aufgezeigt.

Für die einzelnen Heizmaterialien wurden die CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren aus der Szenarienrechnung der GEMIS Datenbank entnommen (vgl. Tabelle 9). Bei den CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren sind die Durchschnittswirkungsgrade der Heizungssysteme zugrunde gelegt.

Tabelle 9: CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktor in kg/Heizmaterialeinheit (GEMIS, 2010)

Heizmaterial	CO <sub>2</sub> -Äquivalenzfaktor	Einheit
Holz	0,06	kg/kg
Holzpellets	0,12	kg/kg
Heizöl	3,13	kg/l
Erdgas	2,41	kg/m <sup>3</sup>
Fernwärme	0,3	kg/kWh
Elektroenergie	0,58	kg/kWh

Tabelle 10 zeigt die CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren von Wasser, Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln. Wasser weist einen Wert von 0,000399 kg/kg auf. Der CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktor in kg/kg für den Dokumentationsparameter Pflanzenschutzmittel ist als Durchschnittswert angegeben und beträgt 12,3 kg/kg (PROBAS, 2012). Nach THEURL (2008) kann für Vinasse, das ein Abfallprodukt bei der Zuckerrübenverarbeitung darstellt und als Düngemittel am Queckbrunnerhof eingesetzt wird, ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 0,005 kg/kg pro Liter veranschlagt werden.

Tabelle 10: CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktor in kg/Verbrauchseinheit

Ressource	CO <sub>2</sub> -Äquivalenzfaktor	Einheit	Quelle
Wasser	0,000399	kg/kg	Probas, 2012
Pflanzenschutzmittel	12,3	kg/kg	Probas, 2012
Düngemittel (Vinasse)	0,005	kg/l	Theurl, 2008

Auch die CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden durch die drei relativen Bezüge (Gesamtemission, Emission pro m<sup>2</sup> und pro mengenmäßige Produkteinheit) bewertet. Die Gesamtemission wird auf der Grundlage des CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktors und des Gesamtressourcenverbrauches berechnet.

$$CO_{2eq}(\text{Gesamtemission}) \\ = CO_2\text{-Äquivalenzfaktor} \times \text{Ressourcenverbrauch (Gesamtverbrauch)}$$

Die Emission pro Quadratmeter ist eine Division der Gesamtemission durch die Größe der Gewächshausanlage (hier Gewächshausabteilung in Quadratmetern). Bei der Bewertung hinsichtlich der Produkteinheit wird entweder das Bewertungssystem der Ernteprodukte der einmaligen Ernte oder das der durchlaufenden mehrmaligen Ernte angewandt (vgl. 4.5.1.3).

## **4.6 Vergleich der ökologischen Bewertungen**

Die Ergebnisse der Prozessdokumentation der Tomatenkulturen 2011 und 2012 werden für einen Vergleich aufbereitet und gegenübergestellt. Der Vergleich erfolgt anhand des Produktionsprozesses.

Auch wird der Einsatz von unterschiedlichen Heizmaterialien exemplarisch an der Tomatenkultur 2012 gegenübergestellt und bewertet.

### **4.6.1 Betriebsinterner Vergleich der Tomatenkulturen 2011 und 2012**

Beim betriebsinternen Vergleich der Tomatenkulturen 2011 und 2012 interessieren vor allem die Unterschiede, die sich durch die unterschiedliche technische Ausstattung der drei Gewächshausabteilungen und durch die unterschiedliche Kulturführung der Jahre 2011 und 2012 ergeben.

Der Tomatenversuch 2011 stellte einen Vorversuch dar. Im Jahr 2012 wurden dann die Kulturführung durch folgende Maßnahmen optimiert;

- Umstellung der Temperaturführung auf die Wärmesummenstrategie
- Optimierte und umfassende Nutzung der Schirme
- Entfeuchtungsstrategie, dadurch Energieeinsparung
- Längere Kulturdauer, dadurch deutlich höherer Ernteertrag

Dadurch waren vor allem Einsparungsmöglichkeiten beim Heizmaterialverbrauch bei gleichzeitig höherem Ernteertrag durch längere Kulturdauer möglich.

Eine Gegenüberstellung findet hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der CO<sub>2</sub>-Äquivalente der beiden Tomatenkulturen 2011 und 2012 statt. Als relative Bezugsebene wird die Produkteinheit ein Kilogramm Tomate verwendet.

### **4.6.2 Vergleich der verschiedenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente beim Einsatz von unterschiedlichen Heizmaterialien**

Die Zielsetzung des Verbundforschungsprojekts ZINEG (vgl. 4.1) wird wie folgt beschrieben: „Im Verbundvorhaben ZINEG wird die Pflanzenproduktion in Gewächshäusern bei minimalem Verbrauch fossiler Energie für die Heizung und damit deutlich reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht.“ (KTBL, 2011). Unter diesem Gesichtspunkt ist eine gesonderte Betrachtung des Wärmebedarfs und des verbrauchten Heizmaterials und der dadurch entstehenden CO<sub>2</sub>-Äquivalente des ZINEG Versuchsgewächshauses am Standort Queckbrunnerhof von Bedeutung.

Hierbei ist nicht nur eine Betrachtung des absoluten Gesamtverbrauches und des Verbrauches pro m<sup>2</sup> von Heizmaterialien wichtig, sondern vor allem der erntemengenspezifische Verbrauch. Dadurch können vor allem Aussagen über die Ressourceneffizienz des eingesetzten Heizmaterials getroffen werden. Denn nur wenn das Verhältnis zwischen dem Aufwand an Ressourcen und dem Nutzen in Form von geernteten Tomaten miteinbezogen wird, kann ein Vergleich der einzelnen Abteilungen hinsichtlich der Energieeffizienz erfolgen. Vor allem aber ist eine Bewertung hinsichtlich der emittierten erntemengenspezifischen CO<sub>2</sub>-Äquivalente wichtig, um fossile und erneuerbare Heizmaterialien zu vergleichen.

Die Betrachtungen erfolgen exemplarisch an der Tomatenkultur 2012, da diese die längste Kulturperiode aufweist. Somit erstreckt sich die Dokumentation und Bewertung des Wärmebedarfes, des eingesetzten Heizmaterials und die Menge an daraus emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalents von Mitte Februar bis Ende November 2012.

## **4.7 Pflanzenbauliche Versuche**

Um das Konzept der Dokumentation und Bewertung von Umweltauswirkungen experimentell anhand von unterschiedlichen gartenbaulichen Kulturen testen zu können, wurden verschiedene Gemüsekulturen im Zeitraum 2010 – 2012 im ZINEG Gewächshaus am Queckbrunnerhof angebaut.

Die Kultivierung der Gemüsepflanzen erfolgte im Grundbeet. Es wurden in jeder der drei Gewächshausabteilungen vier Beete mit einer Breite von 1,90 m entlang der Firstlinie angelegt. Die Beete wurden durch drei Zwischenwege mit einer Breite von 0,33 m getrennt und durch zwei Randwege von 0,5 m begrenzt. Somit ergaben sich die Mitten der Beete bei 1,45 m, 3,68 m, 5,91 m und 8,14 m.

### **4.7.1 Kulturversuch Salat**

Im Zeitraum von September bis Dezember 2010 wurden in allen drei Abteilungen verschiedene Salatsorten angebaut. Die Kulturdauer im ZINEG Gewächshaus betrug rund 60 Tage. Es wurden zwei bunte Eichblattsalate der Sorten „Piman“ und „E 19.0821“ und ein roter Kopfsalat der Sorte „Teodore“ und ein grüner Kopfsalat der Sorte „Fenston“ ausgewählt. Die Sortenwahl erfolgte aufgrund einer weiteren Fragestellung im Rahmen des ZINEG Projektes. Diese hat die Auswirkung der UV-Strahlung der F-Clean-Folie auf die Rotfärbung der einzelnen Salatsorten untersucht.

Die Salate wurden am 23.08.2010 ausgesät. Die Aussaat erfolgte zuerst in 46 Kisten, davon 15 Kisten der Sorte „Fenston“, 10 Kisten „Piman“, 13 Kisten „E 19.0821“ und 8 Kisten

„Teodore“. Für die letztgenannte Sorte „Teodore“ mussten 7 Kisten am 31.08.2010 nachgesät werden. Am 21.09.2010 wurden die jungen Salatpflanzen in die vorbereiteten Beete des ZINEG Gewächshauses eingepflanzt. Der Abstand der einzelnen Pflanzen betrug in der Reihe 30 cm und zu den anderen Pflanzreihen 40 cm.

Abbildung 9 veranschaulicht die Bepflanzung in den einzelnen Gewächshausabteilungen. Die angelegten Grundbeete (vgl. 4.7) unterteilten sich in je vier Parzellen mit 6 m Länge. Um Randeffekte zu vermeiden, wurde jeweils an den Beeträndern eine Parzelle als Ausbau mit der Salatsorte „Fenston“ angelegt. Unter dem Begriff Ausbau werden die Randparzellen verstanden, welche nicht für den Sortenversuch ausgewertet werden. Um zufällige Unterschiede in den Versuchsbedingungen (z.B der Bodengüte) auszugleichen, wurden die einzelnen Versuchsparzellen randomisiert innerhalb eines Beetes angelegt. Die Beete eins bis vier können jeweils als ein Block und damit als vollständige Wiederholung betrachtet werden. Somit sind in einer Gewächshausabteilung vier Wiederholungen einer jeden Salatsorte vorhanden. Innerhalb der einzelnen Gewächshausabteilungen besteht eine Kontinuität im Bepflanzungsplan. Um den Pflanzbestand vor Unkraut zu schützen und Wärme im Erdreich zu halten, wurde eine Mulchfolie ausgebracht. Die ausgebrachte Pflanzenanzahl zu Versuchsbeginn wurde mit 1700 Salatpflanzen für jede Abteilung des Gewächshauses bestimmt. Im weiteren Kulturverlauf wurde bedarfsgerecht bewässert (erst Kopfbewässerung auf rund 326 m<sup>2</sup>, dann Tropfbewässerung in der Kultur auf 144 m<sup>2</sup>), gedüngt und biologischer Pflanzenschutz eingesetzt. Die Bewässerungsmenge der Tropfbewässerung wurde aufgrund der Bodenfeuchte ermittelt. Dazu wurde diese mit Tensiometern bestimmt. Die Kultivierung erfolgte nach den Bioland Richtlinien.

Gewächshausabteilung 1	Seitenrand							Weg
	Beet 1	Ausbau "Fenston"	Teodore	E.19.0821	Piman	Fenston	Ausbau "Fenston"	
	Beet 2	Ausbau "Fenston"	E.19.0821	Teodore	Fenston	Piman	Ausbau "Fenston"	
	Beet 3	Ausbau "Fenston"	Piman	Fenston	Teodore	E.19.0821	Ausbau "Fenston"	
	Beet 4	Ausbau "Fenston"	Fenston	Piman	E.19.0821	Teodore	Ausbau "Fenston"	
Seitenrand								
Gewächshausabteilung 2	Seitenrand							Weg
	Beet 1	Ausbau "Fenston"	Teodore	E.19.0821	Piman	Fenston	Ausbau "Fenston"	
	Beet 2	Ausbau "Fenston"	E.19.0821	Teodore	Fenston	Piman	Ausbau "Fenston"	
	Beet 3	Ausbau "Fenston"	Piman	Fenston	Teodore	E.19.0821	Ausbau "Fenston"	
	Beet 4	Ausbau "Fenston"	Fenston	Piman	E.19.0821	Teodore	Ausbau "Fenston"	
Seitenrand								
Gewächshausabteilung 3	Seitenrand							Weg
	Beet 1	Ausbau "Fenston"	Teodore	E.19.0821	Piman	Fenston	Ausbau "Fenston"	
	Beet 2	Ausbau "Fenston"	E.19.0821	Teodore	Fenston	Piman	Ausbau "Fenston"	
	Beet 3	Ausbau "Fenston"	Piman	Fenston	Teodore	E.19.0821	Ausbau "Fenston"	
	Beet 4	Ausbau "Fenston"	Fenston	Piman	E.19.0821	Teodore	Ausbau "Fenston"	
Seitenrand								

Abbildung 9: Bepflanzungsplan der Gewächshausabteilungen 1 - 3 (Salat 2010)

#### 4.7.2 Kulturversuche Tomate

Um eine breite Datenbasis bei der Auswertung der mehrmaligen Ernte zur Verfügung zu haben, wurden zwei Tomatenkulturen als Fallbeispiele verwendet. Im ersten Jahr wurde der Bewertungsansatz erarbeitet, im zweiten Jahr wurde die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung getestet. Die Kultivierung der Tomaten erfolgte in den Jahren 2011 und 2012 nach Bioland Richtlinien. Im Folgenden werden die Kulturmaßnahmen und die Versuchsdurchführung beschrieben.

#### 4.7.2.1 Kultivierung der Tomate in 2011

Der 2011 durchgeführte Tomatenversuch bediente unterschiedliche Fragestellungen. Im Rahmen dieser wurden folgende Versuchsparameter dokumentiert und untersucht: Längenwachstum, Triebdurchmesser, Blütenstände, Blühbeginn, Fruchtansatz, Fruchtfestigkeit, Ertrag, Sortierung, Einzelfruchtgewicht, Zuckergehalt und Inhaltsstoffe.

Im Zeitraum von Februar bis November 2011 wurden in allen drei Abteilungen veredelte Tomatenpflanzen kultiviert. Es wurden die Sorten „Campari“ (eine Aromasorte mit mittelgroßen Einzelfrüchten), „Loreto“ (große pflaumenförmige Einzelfrüchte), „Mecano“ (große Früchte, die in der Traube geerntet werden) und „Valdeza“ (eine runde Einzelfrucht mit gutem Geschmack, aber mehltauanfälliger) angebaut. Als Unterlage wurde die Sorte „Emperador“ und als Veredelung wurden die obengenannten Sorten verwendet.

Die Tomatensamen wurden am 15.11.2010 ausgesät. Für die als Unterlage dienenden Tomatenpflanzen wurde eine Keimtemperatur von 25 °C verwendet. Die Sortentomaten wurden bei einer Temperatur von 22 °C zum Keimen gebracht. Die Veredelung erfolgte am 16.12.2010. Danach erfolgte das Köpfen der Pflanzen und der Austrieb wurde zweitriebig weiterkultiviert. Am 07.01.2011 wurden die Pflanzen umgetopft. In der Kalenderwoche 3 wurden die Pflanzen gestäbt und gerückt. Die veredelten zweitriebigen Tomatenpflanzen wurden am 17.02.2011 in die vorbereiteten Beete in das ZINEG Gewächshaus gepflanzt. Anfangs wurden die jungen Tomatenpflanzen bei einer Temperatur von 20°/18 °C, später dann bei einer Temperatur von 18°/16 °C aufgezogen. Die Kultivierung der Aussaat und der Jungpflanzen erfolgte nicht im ZINEG Gewächshaus, sondern in einem benachbarten Gewächshaus auf dem Queckbrunnerhof.

Die Klimaregelung für den Tomatenversuch 2011 ist wie folgt festgelegt worden. Die relative Luftfeuchte soll einen Tages- und Nachtsollwert von 75 % nicht überschreiten. Die Einstellung der relativen Feuchte bei 75% war eine Vorsichtsmaßnahme, um das System erst einschätzen zu können.

Die Tomaten wurden in den ersten drei Wochen, während der Anwachsphase, unter folgenden Temperaturbedingungen kultiviert. Der Tagessollwert betrug 18 °C. Bei einer Temperatur von 24 °C und zwei Stunden vor Sonnenuntergang (Cool evening) wurde abgelüftet. In der Nacht wurde ein Nachtsollwert von 16 °C gehalten. Nach der Anwachsphase wurden die Tomaten bei niedrigeren Temperaturen kultiviert. Der Tagessollwert wurde mit 16 °C eingestellt. Die Lüftung aktivierte sich bei 24 °C und zwei Stunden vor Sonnenuntergang, um zu entfeuchten. In der Nacht wurde eine Temperatur von 14 °C gefahren und die Schirme um 10 % geöffnet, um zu entfeuchten.

Der Anbau der Pflanzen erfolgte einreihig pro Beet in allen Gewächshausabteilungen gleich unter Verwendung von Mulchfolie. Der Pflanzabstand betrug zu den anderen Reihen (Beeten) 100 cm und in der Reihe 40 cm. Die Kultivierung erfolgte mit dem Layersystem. Bioclipse wurden zum Stabilisieren der Pflanzen eingesetzt. Rein rechnerisch standen auf einem Quadratmeter 1,2 Tomatenpflanzen.

Abbildung 10 zeigt den Bepflanzungsplan der einzelnen Gewächshausabteilungen. In jeder Abteilung gibt es vier Beete mit jeweils einer Parzelle der vier Sorten. In jeder Parzelle sind zehn zweitriebige Pflanzen angebaut. Jeder Triebreihe wird eine Nummer zugewiesen. Die Nummerierung erfolgt durch eine dreistellige Zahl. Die erste Ziffer definiert die Gewächshausabteilung (2 für Gewächshausabteilung 1, 3 für Gewächshausabteilung 2 und 4 für Gewächshausabteilung 3). Die letzten beiden Zahlen geben die Triebreihe an. Mit der Nummerierung wird in jeder Gewächshausabteilung vom Weg aus gesehen links begonnen. Gegenüberliegende Nummern einer Sorte ergeben jeweils alle zehn zweitriebigen Pflanzen. Um Standortvorteile bzw. -nachteile auszuschließen, werden die jeweiligen Sorten ebenfalls randomisiert angebaut. Zu den einzelnen Gewächshausabteilungen besteht eine Kontinuität im Bepflanzungsplan. Randeffekte werden durch den Ausbau (Sorte „Campari“) verhindert, diesen Parzellen wurden keine Nummern zugewiesen. Die einzelnen auszuwertenden Versuchspartzen wurden nummeriert. In den Beeten ist zwischen den einzelnen Sorten jeweils ein Abstand von 0,8 m (zwei Lehrstellen) vorhanden. Zwischen den einzelnen Beeten ist ein Abstand von 0,33 m. Um die praktische Arbeit zu erleichtern, ist in jeder Gewächshausabteilung ein Seitenrand von einem halben Meter eingeplant. Der eingezeichnete Weg ist mit Steinplatten befestigt, und führt durch das ganze ZINEG Gewächshaus und hat eine Breite von einem Meter.

Gewächshausabteilung 1	Seitenrand											Weg
	Beet 1	Ausbau "Campari"	Valdeza	204	Mecano	203	Loreto	202	Campari	201	Ausbau "Campari"	
				205		206		207		208		
	Beet 2	Ausbau "Campari"	Mecano	212	Valdeza	211	Campari	210	Loreto	209	Ausbau "Campari"	
				213		214		215		216		
	Beet 3	Ausbau "Campari"	Loreto	220	Campari	219	Valdeza	218	Mecano	217	Ausbau "Campari"	
				221		222		223		224		
	Beet 4	Ausbau "Campari"	Campari	228	Loreto	227	Mecano	226	Valdeza	225	Ausbau "Campari"	
				229		230		231		232		
	Seitenrand											
Gewächshausabteilung 2	Seitenrand											Weg
	Beet 1	Ausbau "Campari"	Valdeza	304	Mecano	303	Loreto	302	Campari	301	Ausbau "Campari"	
				305		306		307		308		
	Beet 2	Ausbau "Campari"	Mecano	312	Valdeza	311	Campari	310	Loreto	309	Ausbau "Campari"	
				313		314		315		316		
	Beet 3	Ausbau "Campari"	Loreto	320	Campari	319	Valdeza	318	Mecano	317	Ausbau "Campari"	
				321		322		323		324		
	Beet 4	Ausbau "Campari"	Campari	328	Loreto	327	Mecano	326	Valdeza	325	Ausbau "Campari"	
				329		330		331		332		
	Seitenrand											
Gewächshausabteilung 3	Seitenrand											Weg
	Beet 1	Ausbau "Campari"	Valdeza	404	Mecano	403	Loreto	402	Campari	401	Ausbau "Campari"	
				405		406		407		408		
	Beet 2	Ausbau "Campari"	Mecano	412	Valdeza	411	Campari	410	Loreto	409	Ausbau "Campari"	
				413		414		415		416		
	Beet 3	Ausbau "Campari"	Loreto	420	Campari	419	Valdeza	418	Mecano	417	Ausbau "Campari"	
				421		422		423		424		
	Beet 4	Ausbau "Campari"	Campari	428	Loreto	427	Mecano	426	Valdeza	425	Ausbau "Campari"	
				429		430		431		432		
	Seitenrand											

Abbildung 10: Bepflanzungsplan der Gewächshausabteilungen 1 - 3 (Tomate 2011)

Geerntet wurden die Tomaten immer nach dem gleichen System. Die Erntekisten wurden vorab mit den einzelnen Nummern beschriftet. Der Ausbau wurde in nicht nummerierten Kisten geerntet und gewogen und das Gewicht der Kiste selbst abgezogen. Durch Aufsummieren der geernteten Tomatenmenge wurde das Gesamtgewicht der Tomaten aus dem Ausbau zum jeweiligen Erntedatum berechnet. Somit wurde nur die Gesamtmenge des Ausbaus des gesamten ZINEG Gewächshauses bestimmt. Die Tomaten der nummerierten Pflanzenreihe wurden in die identisch nummerierten Erntekisten geerntet und gewogen. Es

wurde wiederum das Gewicht der Leerkiste abgezogen. Somit konnte das Gesamtgewicht jeder nummerierten Pflanzenreihe ermittelt werden. Wenn die Erntegewichte der zwei gegenüberliegenden Nummern zusammengezählt werden, erhält man das Gesamtgewicht der jeweiligen Parzelle. Addiert man zum Beispiel die Erntegewichte der Nummern 200 und 208 erhält man das Gesamtgewicht der abgeernteten Tomate „Campari“ aus Gewächshausabteilung 1 (von der ersten Parzelle links aus gesehen in (Abbildung 10)). Es wurde zumeist montags und donnerstags geerntet. Die Ausnahmen entstanden durch Feier- und Urlaubstage. Die Tomaten wurden hauptsächlich auf dem Pfalzmarkt verkauft.

Um für die Bewertung die Gesamterntemenge pro Gewächshausabteilung zur Verfügung zu haben, wurde die Erntemenge des Ausbaus prozentual verteilt. Die Verteilung erfolgte nach dem gleichen prozentualen Verhältnis, wie die Tomaten aus dem Sortenversuch pro Gewächshausabteilung geerntet wurden (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Prozentuale Aufteilung der Gesamternte des Ausbaus auf die einzelnen Gewächshausabteilungen

Erntetermin	Erntedatum	Abteilung 1 in %	Abteilung 2 in %	Abteilung 3 in %
1	19. Mai	0,26	0,18	0,56
2	26. Mai	0,33	0,23	0,44
3	01. Jun	0,30	0,33	0,37
4	06. Jun	0,26	0,29	0,45
5	16. Jun	0,42	0,33	0,24
6	22. Jun	0,28	0,35	0,37
7	30. Jun	0,34	0,36	0,29
8	14. Jul	0,37	0,32	0,30
9	21. Jul	0,34	0,31	0,35
10	28. Jul	0,23	0,34	0,43
11	11. Aug	0,29	0,30	0,41
12	18. Aug	0,31	0,32	0,36
13	25. Aug	0,24	0,28	0,48
14	01. Sep	0,33	0,33	0,34
15	08. Sep	0,31	0,32	0,38
16	16. Sep	0,34	0,31	0,35
17	22. Sep	0,35	0,30	0,35
18	30. Sep	0,37	0,28	0,35
19	06. Okt	0,38	0,30	0,33
20	13. Okt	0,49	0,31	0,20
<b>Durchschnitt Ø</b>		0,32	0,30	0,38

#### **4.7.2.2 Pflanzenbaulicher Versuch zur erntemengenspezifischen Verteilung des Ressourcenverbrauches**

Eine wichtige Fragestellung für diese Arbeit war die Zuordnung des Ressourcenverbrauches auf die Ernteprodukte der durchlaufenden mehrmaligen Ernte (vgl. 4.5.1.3). Zielsetzung dieses Versuches war es, festzustellen ob der Ressourcenverbrauch auf einzelne Wachstumsphasen und damit auf ein Kilo Tomate unterschiedlich verteilt werden muss. Um die Zeitdauer der vegetativen und generativen Wachstumsphase bestimmen zu können, wurden die einzelnen Trosse jede Woche einmal (meist freitags), sobald die erste Blüte vorhanden war, markiert. Bei der Ernte der Trosse wurden somit der Blühbeginn, das Erntedatum und das Erntegewicht einzeln bestimmt. Es wurde die Sorte „Mecano“ ausgewählt, da diese als Tross mit sechs Tomaten geerntet wurde, und es somit aus versuchstechnischen Gründen leichter war ein Markierungsband zu befestigen. In jeder der drei Gewächshausabteilungen wurden jeweils fünf Pflanzen von jeder der vier Parzellen ausgewählt und die Trosse über die gesamte generative Wachstumsphase von Kalenderwoche 11 bis 33 markiert, und bis einschließlich Kalenderwoche 34 geerntet. Das bedeutet pro Gewächshausabteilung waren es 20 und damit insgesamt 60 ausgewählte Pflanzen der Sorte „Mecano“ für diesen Versuch.

#### **4.7.2.3 Kultivierung der Tomate in 2012**

Da die Tomaten im darauffolgenden Jahr 2012 nahezu identisch kultiviert worden sind, wird bei der folgenden Beschreibung der Kulturmaßnahmen nur noch auf die Unterschiede zum Jahr 2011 eingegangen.

Im Ausbau wurde 2012 eine neue Veredelung verwendet, die Sorte „Baylee“, eine Nachfolgerin der Sorte „Campari“. Ansonsten blieben die verwendeten Unterlagen mit „Emperador“ und die Veredelungssorten gleich.

Die Aussaat erfolgte am 09.12.2011. Den darauffolgenden Monat, am 05.01.2012 wurde dann veredelt. Die Veredelung erfolgte nach dem gleichen Ablauf wie im Jahr 2011. Die veredelten Pflanzen wurden dann in der KW 2 geköpft, in der KW 4 getopft, und in der KW 6 gestäbt und verrückt. Die Aussaat und das Kultivieren der Jungpflanzen wurden wiederum nicht im ZINEG Gewächshaus, sondern in einem benachbarten Gewächshaus am Queckbrunnerhof vorgenommen. Die jungen Tomatenpflanzen wurden am 22.02.2012 in die vorbereiteten Beete gepflanzt. Die Kultivierung und der Anbau der Jungpflanzen erfolgten wie im Jahr 2011.

Abbildung 11 zeigt den Bepflanzungsplan des ZINEG Gewächshauses in 2012.

<b>Gewächshausabteilung 1</b>	Seitenrand											<b>Weg</b>
	<b>Beet 1</b>	Ausbau "Baylee"	Valdeza	204	Mecano	203	Loreto	202	Campari	201	Ausbau "Baylee "	
				205		206		207		208		
	<b>Beet 2</b>	Ausbau "Baylee"	Mecano	212	Valdeza	211	Campari	210	Loreto	209	Ausbau "Baylee "	
				213		214		215		216		
	<b>Beet 3</b>	Ausbau "Campari"	Loreto	220	Campari	219	Valdeza	218	Mecano	217	Ausbau "Campari"	
				221		222		223		224		
	<b>Beet 4</b>	Ausbau "Campari"	Campari	228	Loreto	227	Mecano	226	Valdeza	225	Ausbau "Campari"	
				229		230		231		232		
	Seitenrand											
<b>Gewächshausabteilung 2</b>	Seitenrand											<b>Weg</b>
	<b>Beet 1</b>	Ausbau "Baylee"	Valdeza	304	Mecano	303	Loreto	302	Campari	301	Ausbau "Baylee"	
				305		306		307		308		
	<b>Beet 2</b>	Ausbau "Baylee"	Mecano	312	Valdeza	311	Campari	310	Loreto	309	Ausbau "Baylee"	
				313		314		315		316		
	<b>Beet 3</b>	Ausbau "Campari"	Loreto	320	Campari	319	Valdeza	318	Mecano	317	Ausbau "Campari"	
				321		322		323		324		
	<b>Beet 4</b>	Ausbau "Campari"	Campari	328	Loreto	327	Mecano	326	Valdeza	325	Ausbau "Campari"	
				329		330		331		332		
	Seitenrand											
<b>Gewächshausabteilung 3</b>	Seitenrand											<b>Weg</b>
	<b>Beet 1</b>	Ausbau "Baylee"	Valdeza	404	Mecano	403	Loreto	402	Campari	401	Ausbau "Baylee"	
				405		406		407		408		
	<b>Beet 2</b>	Ausbau "Baylee"	Mecano	412	Valdeza	411	Campari	410	Loreto	409	Ausbau "Baylee"	
				413		414		415		416		
	<b>Beet 3</b>	Ausbau "Campari"	Loreto	420	Campari	419	Valdeza	418	Mecano	417	Ausbau "Campari"	
				421		422		423		424		
	<b>Beet 4</b>	Ausbau "Campari"	Campari	428	Loreto	427	Mecano	426	Valdeza	425	Ausbau "Campari"	
				429		430		431		432		
	Seitenrand											

Abbildung 11: Bepflanzungsplan der Gewächshausabteilungen 1 - 3 (Tomate 2012)

Da eine zentrale Fragestellung im ZINEG Projekt die energieeffiziente Produktion von Kulturen im Gewächshaus ist, wurde die Klimaführung 2012 so gewählt, dass höhere Einsparpotentiale, unter Ausnutzung der technischen Ausstattung des ZINEG Gewächshauses, möglich sind.

Die Kultivierung der Tomate erfolgte in der Anwuchsphase bei einer Temperatur von 18°C am Tag und 16 °C in der Nacht. Der Lüftungssollwert wurde sowohl am Tag als auch in der Nacht bei 22 °C eingestellt. Zusätzlich wurde lichtabhängig entfeuchtet. Bei Erreichen von 85 % relativer Luftfeuchte wurde gelüftet. Dieser Wert (85 % relative Feuchte) wurde aus den positiven Erfahrungen aus dem Versuchsjahr 2011 abgeleitet. Die Heizung wurde zusätzlich aktiviert bei einer relativen Feuchte von 90 %. Die maximale Vorlauftemperatur wurde beim Klimacomputer CC600 der Firma RAM bei 30 °C eingestellt. Der Schirm wurde licht-, temperatur- und zeitabhängig gesteuert.

Geerntet wurden die Tomaten nach dem gleichen Schema wie im Jahr 2011. Allerdings wurde der Ausbau pro Gewächshausabteilung abgewogen. Für das Jahr 2012 liegen die Erntegewichte der Tomatenernte für jede Abteilung einzeln vor.

Die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung der Tomatenkultur 2012 im ZINEG Gewächshaus erfolgte von Kulturbeginn (Pflanzung der Tomatenjungpflanzen im ZINEG Gewächshaus) am 22.02.2012 bis zum Kulturende am 29.11.2012.

## 5. Ergebnisse

Anhand des Vorversuches Tomate 2011 wurde das Konzept der Prozessdokumentation iterativ erarbeitet. Im Rahmen dieses Vorversuches wurde die Fragestellung bearbeitet, wie die Ressourcenverbräuche dem einzelnen Kilogramm Tomate zugeordnet werden können. Im darauffolgenden Jahr 2012 wurde an einer weiteren Tomatenkultur das Konzept der Prozessdokumentation exemplarisch durchgeführt.

Im Ergebnisteil werden zuerst die Erntemengen der Tomatenversuche aus den Jahren 2011 und 2012 aufgezeigt. Im Anschluss wird die Aufteilung des Ressourcenverbrauches auf die funktionelle Einheit „erntemengenspezifischer Verbrauch“ dargestellt.

Anschließend werden die Ergebnisse zu den drei Prozessdokumentationen „Salat 2010, „Tomate 2011“ und „Tomate 2012“ gezeigt. Hier werden die zahlenmäßigen Ressourcenverbräuche von Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln aufgeführt und die dazugehörigen verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente aufgezeigt.

Im Anschluss werden die Ressourceneffizienz und die CO<sub>2</sub>-Äquivalente der beiden Tomatenkulturen aus den Jahren 2011 und 2012 gegenübergestellt und miteinander verglichen.

Abschließend wird an der Kultur „Tomate 2012“ ein Vergleich von unterschiedlichen Heizmaterialien in Bezug auf die emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente durchgeführt.

## 5.1 Erntemengen der Tomatenversuche 2011 und 2012

### 5.1.1 Tomate 2011

In Tabelle 12 werden die Erntemengen in Kilogramm mit den dazugehörigen 20 Ernteterminen dargestellt. Der Ausbau stellt die Erntemenge aller Randparzellen des gesamten ZINEG Gewächshauses dar.

Tabelle 12: Auflistung der Erntetermine und –mengen in Kilogramm (2011)

Erntetermin	Erntedatum	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3	Ausbau	Gesamt
1	19. Mai	50,5	34,5	110,0	110,1	305,1
2	26. Mai	184,7	131,4	246,6	167,8	730,6
3	01. Jun	135,9	146,1	166,5	74,6	523,0
4	06. Jun	133,5	147,0	234,0	144,6	659,2
5	16. Jun	110,6	87,4	62,8	77,6	338,5
6	22. Jun	80,0	99,4	104,7	89,4	373,5
7	30. Jun	120,3	127,7	102,7	96,2	446,8
8	14. Jul	73,8	63,5	59,9	45,7	243,0
9	21. Jul	71,3	64,0	74,1	65,5	274,9
10	28. Jul	55,1	82,6	104,3	55,7	297,7
11	11. Aug	76,7	80,1	109,9	80,1	346,8
12	18. Aug	73,4	75,1	85,2	51,7	285,3
13	25. Aug	54,5	62,8	109,7	69,9	297,0
14	01. Sep	67,9	67,3	69,5	45,8	250,5
15	08. Sep	57,6	59,3	70,8	54,4	242,1
16	16. Sep	113,3	102,6	115,4	94,3	425,6
17	22. Sep	90,2	78,5	91,5	121,7	381,9
18	30. Sep	130,5	97,6	124,8	61,9	414,8
19	06. Okt	76,0	59,5	65,7	15,6	216,8
20	13. Okt	96,1	62,1	39,6	36,8	234,5
<b>Gesamt</b>		1852,0	1728,5	2147,6	1559,4	7287,6

Tabelle 13 zeigt die Erntemengen des Ausbaus für jede Gewächshausabteilung separat.

Tabelle 13: Aufteilung der Gesamternte des Ausbaus auf die einzelnen Gewächshausabteilungen in Kilogramm (2011)

Erntetermin	Erntedatum	Ausbau Abteilung 1	Ausbau Abteilung 2	Ausbau Abteilung 3
1	19. Mai	28,5	19,5	62,1
2	26. Mai	55,1	39,2	73,5
3	01. Jun	22,6	24,3	27,7
4	06. Jun	37,5	41,3	65,8
5	16. Jun	32,9	26,0	18,7
6	22. Jun	25,2	31,3	32,9
7	30. Jun	33,0	35,0	28,2
8	14. Jul	17,1	14,7	13,9
9	21. Jul	22,3	20,0	23,2
10	28. Jul	12,7	19,0	24,0
11	11. Aug	23,1	24,1	33,0
12	18. Aug	16,2	16,6	18,8
13	25. Aug	16,8	19,3	33,8
14	01. Sep	15,2	15,1	15,5
15	08. Sep	16,7	17,2	20,5
16	16. Sep	32,3	29,2	32,8
17	22. Sep	42,2	36,7	42,8
18	30. Sep	22,9	17,1	21,9
19	06. Okt	5,9	4,6	5,1
20	13. Okt	17,9	11,6	7,4
<b>Gesamt</b>		495,9	461,8	601,7

Durch die berechneten Gesamtmengen des Ausbaus für die einzelnen Gewächshausabteilungen konnte die gesamte Erntemenge pro Abteilung rechnerisch bestimmt werden. Geerntet wurden in Abteilung 1 (2348 kg), in Abteilung 2 (2190 kg) und in Abteilung 3 (2749 kg) (vgl. Summe aus Tabelle 12 und 13).

### 5.1.2 Tomate 2012

Tabelle 14 zeigt die Erntemengen und die dazugehörigen Erntetermine. Die Erntemengen der 54 Erntetermine werden für jede Gewächshausabteilung separat dargestellt. Die durch Wiegung bestimmte Erntemenge des Ausbaus ist bereits in der Erntemenge der jeweiligen Abteilung enthalten. In der Abteilung 1 wurden 5100 kg, in der Abteilung 2 4200 kg und in der Abteilung 3 6200 kg geerntet.

Tabelle 14: Auflistung der Erntetermine und -mengen in Kilogramm (2012)

<b>Erntetermin</b>	<b>Erntedatum</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>	<b>Gesamt</b>
1	23. Apr.	4,0	6,1	28,1	38,2
2	26. Apr.	6,4	11,8	22,4	40,5
3	30. Apr.	22,2	18,9	37,2	78,3
4	3. Mai.	44,6	59,0	94,2	197,8
5	7. Mai.	93,7	60,3	148,9	302,9
6	10. Mai.	54,1	39,8	86,9	180,8
7	14. Mai.	115,8	110,8	156,4	383,1
8	18. Mai.	128,9	119,4	178,9	427,2
9	21. Mai.	96,4	84,8	134,3	315,4
10	24. Mai.	94,5	99,9	108,2	302,6
11	29. Mai.	177,7	151,9	200,8	530,4
12	1. Jun.	126,5	98,4	136,4	361,4
13	5. Jun.	108,6	88,5	146,7	343,8
14	8. Jun.	121,6	80,2	90,7	292,6
15	11. Jun.	81,8	64,4	100,5	246,7
16	14. Jun.	95,6	61,0	77,8	234,4
17	18. Jun.	99,4	75,4	143,1	317,8
18	21. Jun.	76,8	68,3	90,4	235,5
19	25. Jun.	135,6	92,2	151,6	379,4
20	28. Jun.	104,1	93,6	110,5	308,1
21	2. Jul.	115,3	114,0	113,9	343,2
22	5. Jul.	129,8	94,4	144,4	368,6
23	9. Jul.	126,6	98,3	143,8	368,8
24	12. Jul.	67,7	82,2	105,3	255,2
25	16. Jul.	38,2	20,3	40,4	99,0
26	19. Jul.	114,3	107,4	177,6	399,3
27	23. Jul.	104,6	85,3	136,0	325,9
28	26. Jul.	93,2	59,5	81,9	234,7
29	30. Jul.	176,0	114,5	177,5	468,0
30	2. Aug.	103,3	96,5	145,1	344,8
31	6. Aug.	129,7	77,7	132,2	339,7
32	9. Aug.	57,7	53,8	77,0	188,5
33	13. Aug.	120,5	74,4	135,0	329,9
34	16. Aug.	89,6	65,7	69,9	225,1
35	20. Aug.	118,6	71,9	115,2	305,7
36	23. Aug.	99,8	72,8	129,9	302,6
37	27. Aug.	151,7	119,1	157,1	427,9

Erntetermin	Erntedatum	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3	Gesamt
38	30. Aug.	67,1	66,1	66,6	199,8
39	3. Sep.	73,4	75,1	97,7	246,2
40	10. Sep.	65,4	59,9	91,4	216,7
41	14. Sep.	50,9	53,8	83,4	188,1
42	17. Sep.	52,1	61,1	90,1	203,3
43	20. Sep.	56,3	44,1	96,4	196,8
44	24. Sep.	75,8	62,2	107,9	245,9
45	27. Sep.	64,4	60,6	74,2	199,2
46	1. Okt.	77,0	76,4	109,7	263,1
47	8. Okt.	162,0	120,5	167,6	450,1
48	15. Okt.	83,2	68,8	111,3	263,2
49	22. Okt.	103,4	75,7	77,6	256,7
50	29. Okt.	100,7	80,0	107,5	288,1
51	5. Nov.	107,9	94,9	157,3	360,1
52	12. Nov.	109,3	95,2	141,1	345,6
53	19. Nov.	112,7	82,4	111,4	306,6
54	26. Nov.	114,8	70,2	138,5	323,4
<b>Gesamt</b>		5101,1	4139,7	6155,5	15396,4

Insgesamt wurde im Jahr 2012 (Gesamtmenge: 15000 kg) deutlich öfter und mehr an verkaufsfähigen Tomaten geerntet als im Jahr 2011 (Gesamtmenge: 7300 kg).

## 5.2 Verteilung der Ressourcenverbräuche auf die funktionelle Einheit - 1 Kilogramm Tomate

Ziel war es festzustellen, ob eine unterschiedliche Verteilung der Ressourcenverbräuche bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf die vegetative und generative Wachstumsphase der Tomate nötig ist, oder ob eine gleichmäßige Verteilung des Gesamtverbrauches bzw. der Gesamtemission auf die gesamte Erntemenge möglich ist. Durch die experimentelle Bestimmung der vegetativen und generativen Zeitdauer der Wachstumsphase konnten hierzu Daten ermittelt werden.

Um eine möglichst breite Datenbasis zur Verfügung zu haben, wurden jeweils eine Auswertung der Daten für das gesamte ZINEG Gewächshaus und für jede Gewächshausabteilung separat durchgeführt.



Abbildung 13 zeigt die generative Wachstumsphase der abgeernteten Tomatenfrüchte in Wochen. Jede Farbe stellt die benötigte Wochenanzahl bis zur Reifung dar. Im ZINEG Gewächshaus umfasste die generative Wachstumsphase der Tomatenfrüchte 7 bis 12 Wochen. Dabei reifen rund 43 % der Tomatentrosse innerhalb von 9 Wochen und 32 % innerhalb von 10 Wochen. Die restlichen 25 % teilen sich auf die Wochen 7, 8, 11 und 12 auf.

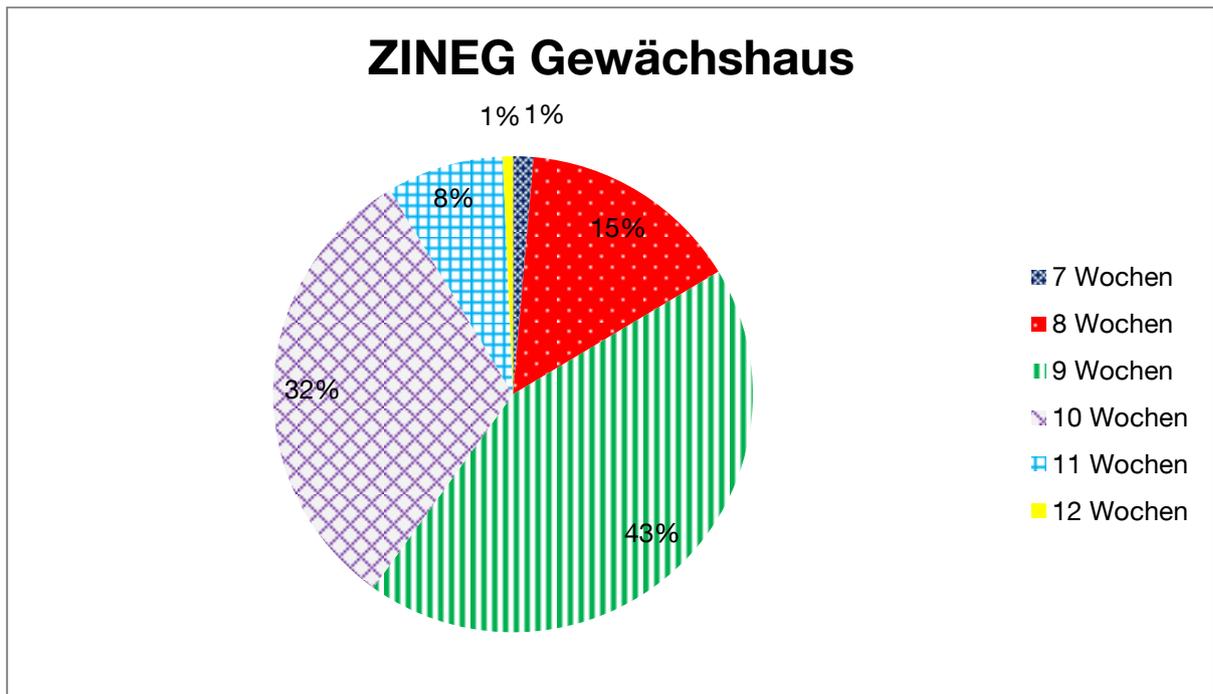


Abbildung 13: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (ZINEG Gewächshaus)

Abbildung 14 stellt die Länge der generativen Wachstumsphase in Wochen pro Erntetermin dar. In der Kalenderwoche 20, also nach 9 Wochen ab Beginn der ersten Blüte, wurde zum ersten Mal im ZINEG Gewächshaus geerntet. Es zeigt sich, dass bei den Ernteterminen in den Kalenderwochen 21 bis 25 die Mehrheit der Tomatentrosse nach 10 Wochen erntereif war. Ab dem siebten Erntetermin waren rund ein bis zwei Drittel der Tomatentrosse nach 9 Wochen erntereif.

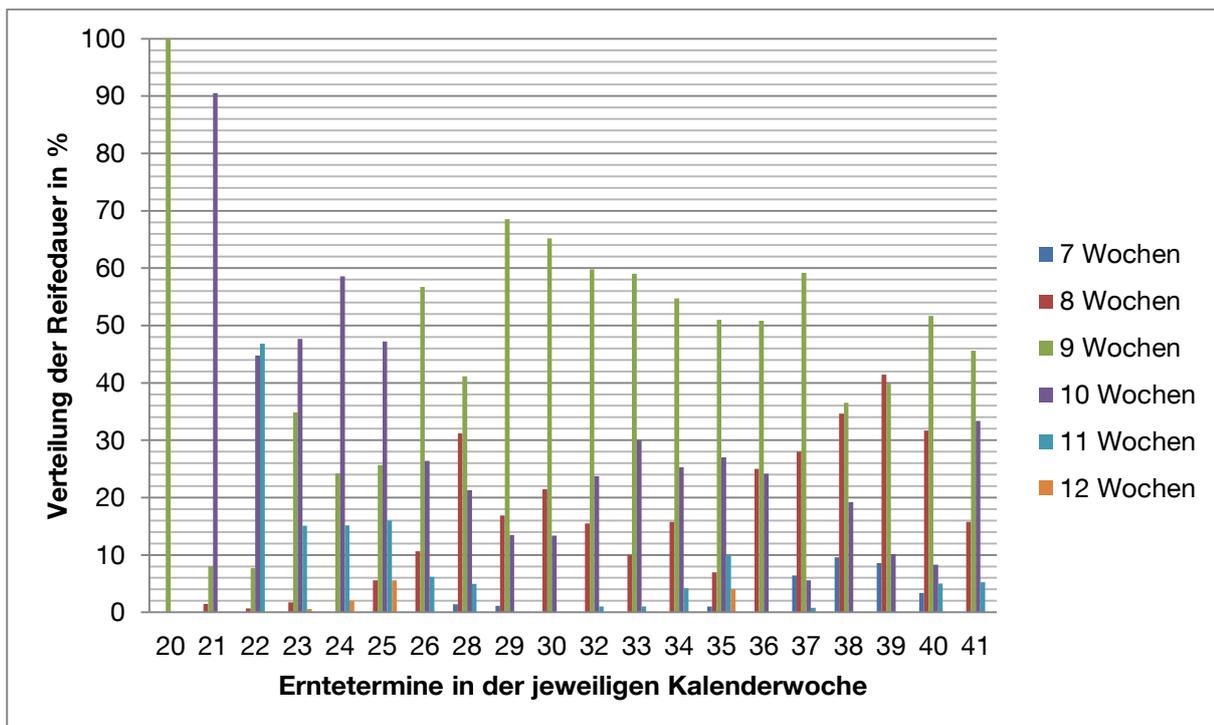


Abbildung 14: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (ZINEG Gewächshaus), aufgeteilt nach Ernteterminen

Im Mittel benötigte ein Tomatentross 9 Wochen von der Blüte bis zur erntereifen Tomate. Die Abweichung vom Mittelwert beträgt hierbei 0,7 Wochen. 75 % aller Tomaten reifen in den Wochen neun und zehn ab. Lediglich 2,1 % sind nicht im Intervall von 12 Wochen abgereift (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Auswertung der generativen Phase (ZINEG Gewächshaus)

ZINEG Gewächshaus (gesamt)						
Generative Wachstumsphase in Wochen	7	8	9	10	11	12
Anzahl der geernteten Tomatentrosse	30	327	948	687	172	15
Verteilung in %	1,4	15,0	43,5	31,5	7,9	0,7
Mittelwert in Wochen	9					
Mittelwertabweichung in Wochen	0,7					

### 5.2.2 Gewächshausabteilung 1

Abbildung 15 zeigt, dass die markierten Tomatentrosse in der Gewächshausabteilung 1 maximal zwischen 9 und 12 Wochen benötigten, um zu einem verkaufsfertigen Tross abzureifen. Die beiden letzten Ernten (violetter und weißer Balken) werden nicht mehr in die Betrachtungen miteinbezogen, da der Erntezeitraum verkürzt wurde.

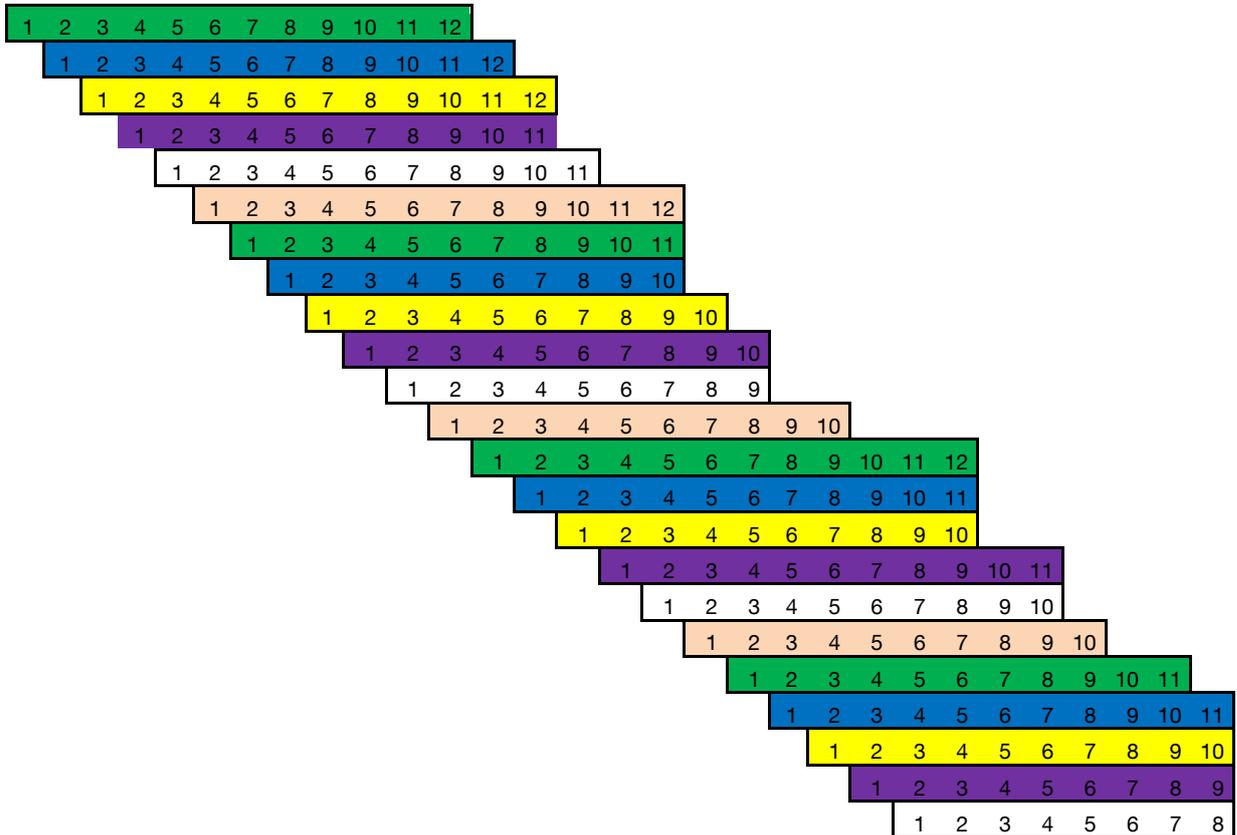


Abbildung 15: Zeitachse der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrüchte (Gewächshausabteilung 1)

Abbildung 16 zeigt, dass 47 % der Tomatentrosse in 9 Wochen und 32 % in 10 Wochen erntereif waren. Die restlichen 21 % entfallen auf die Wochen 8, 11 und 12. In der Gewächshausabteilung 1 reifte kein Tomatentross innerhalb von 7 Wochen zum verkaufsfähigen Produkt.

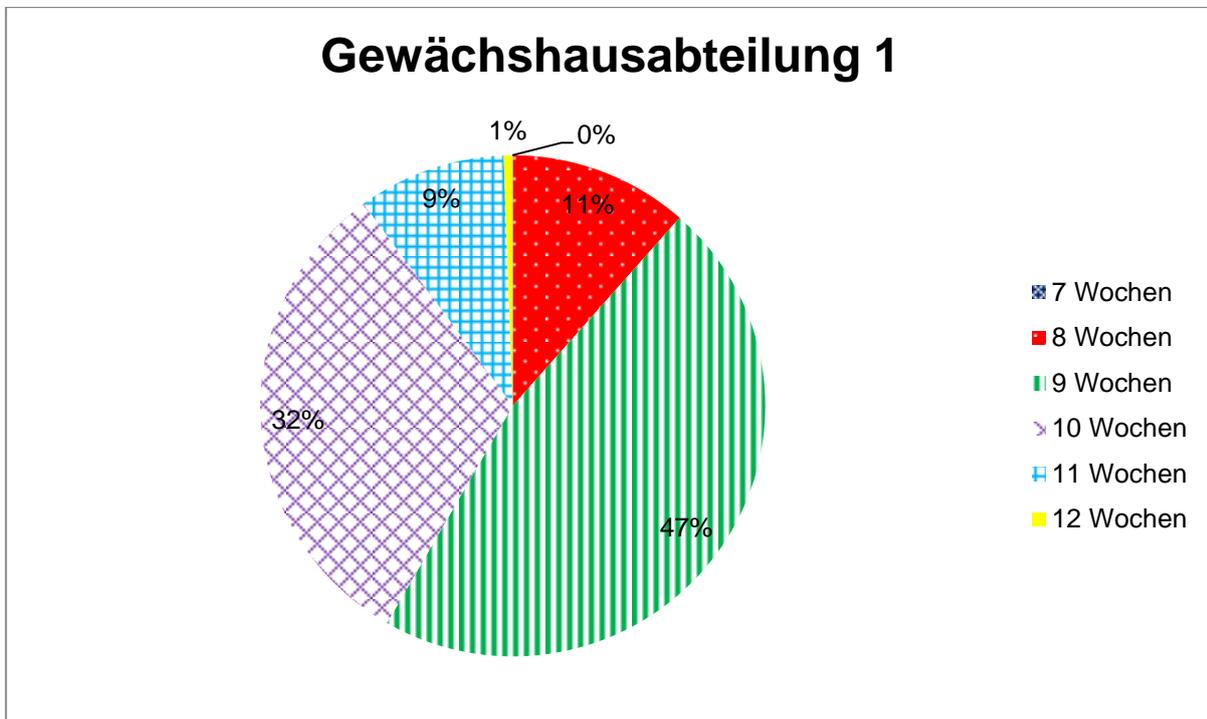


Abbildung 16: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 1)

Abbildung 17 stellt die Auswertung der einzelnen Erntetermine der Gewächshausabteilung 1 dar. Es spiegelt sich ein ähnliches Bild wie im gesamten ZINEG Gewächshaus wider. Zu Beginn der Ernte dauerte es bis zum verkaufsfertigen Tomatentross 10 bis 11 Wochen. Ab dem sechsten Erntetermin wurde die Mehrheit der Tomatentrosse nach 9 Wochen geerntet.

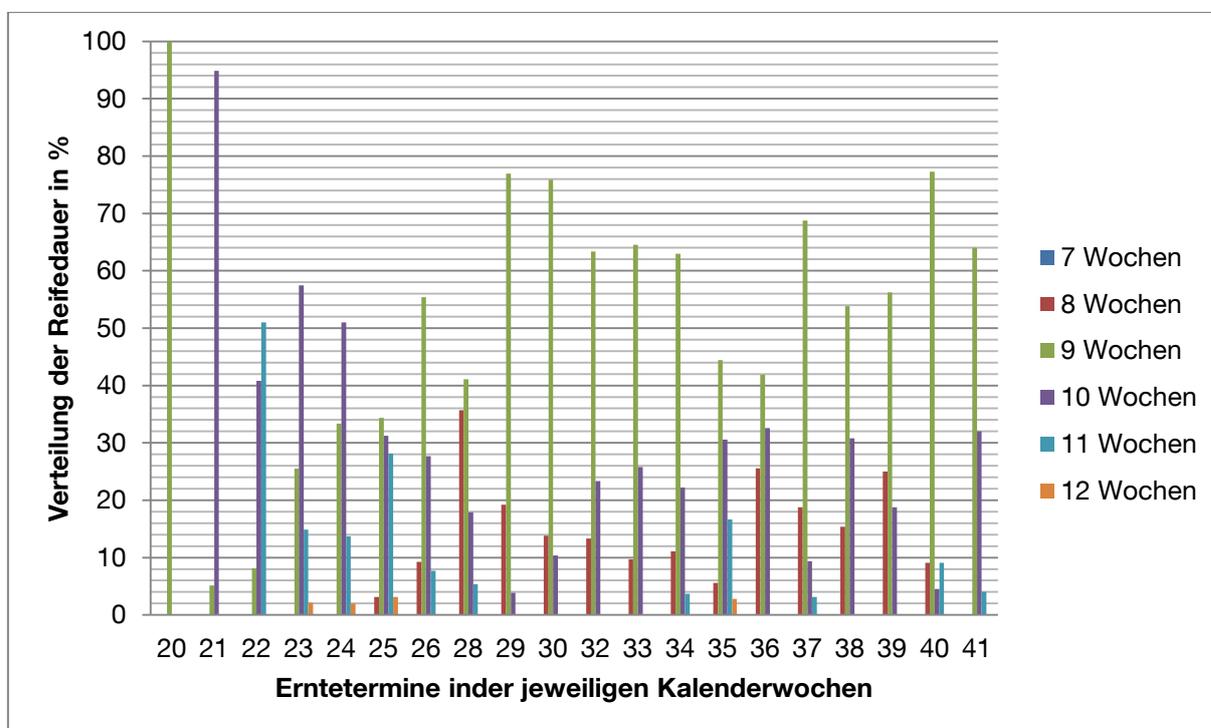


Abbildung 17: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 1), aufgeteilt nach Ernteterminen

Tabelle 16 bestätigt dieses Ergebnis. Im Mittel sind die Tomatenfrüchte innerhalb von 9 Wochen gereift. 78 % der Tomaten konnten in den Wochen 9 oder 10 geerntet werden (vgl. Tabelle 16). Auch hier beträgt die Mittelwertabweichung 0,7 Wochen.

Tabelle 16: Auswertung der generativen Wachstumsphase (Gewächshausabteilung 1)

ZINEG Gewächshausabteilung 1						
Generative Wachstumsphase in Wochen	7	8	9	10	11	12
Anzahl der geernteten Tomatentrosse	0	81	330	223	67	4
Verteilung in %	0,0	11,5	46,8	31,6	9,5	0,6
Mittelwert in Wochen	9					
Mittelwertabweichung in Wochen	0,7					

### 5.2.3 Gewächshausabteilung 2

Abbildung 18 veranschaulicht, dass in der Gewächshausabteilung 2 die maximale Länge der generativen Phase zumeist zwischen 10 und 12 Wochen betrug. Die beiden letzten Ernten (violetter und weißer Balken) werden nicht mehr in die Betrachtungen miteinbezogen, da der Erntezeitraum verkürzt wurde.

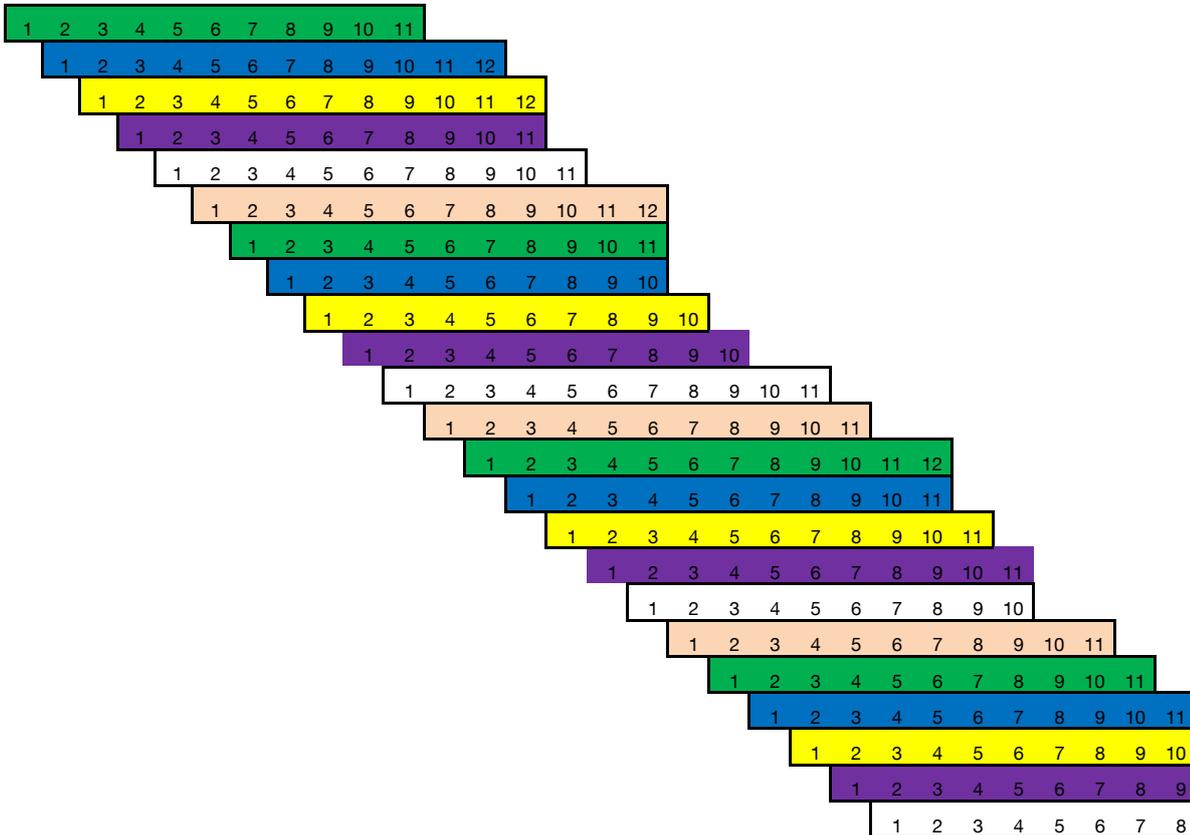


Abbildung 18: Zeitachse der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrüchte (Gewächshausabteilung 2)

In der Gewächshausabteilung 2 reiften rund 39 % der geernteten Tomatentrosse nach 9 Wochen und 40 % nach 10 Wochen. Die restlichen 21 % waren nach 8, 11 bzw. 12 Wochen erntereif. Innerhalb von 7 Wochen war kein Tomatentross gereift (vgl. Abbildung 19).

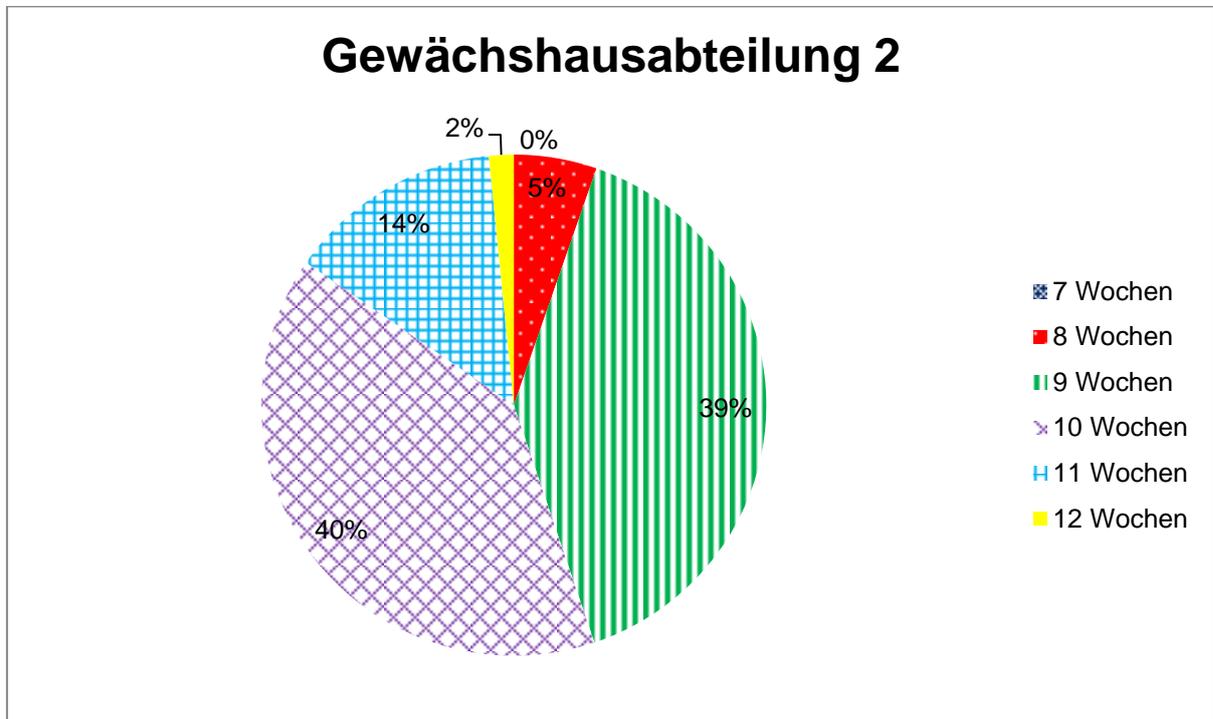


Abbildung 19: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 2)

Die Auswertung nach den einzelnen Ernteterminen ergibt, dass in der Gewächshausabteilung 2 die Tomatentrosse zum größten Teil erst nach 10 Wochen geerntet werden konnten. Allerdings wurde an 12 Ernteterminen (davon ausgenommen der Erste) die Mehrheit der Tomatentrosse nach 9 Wochen geerntet (vgl. Abbildung 20).

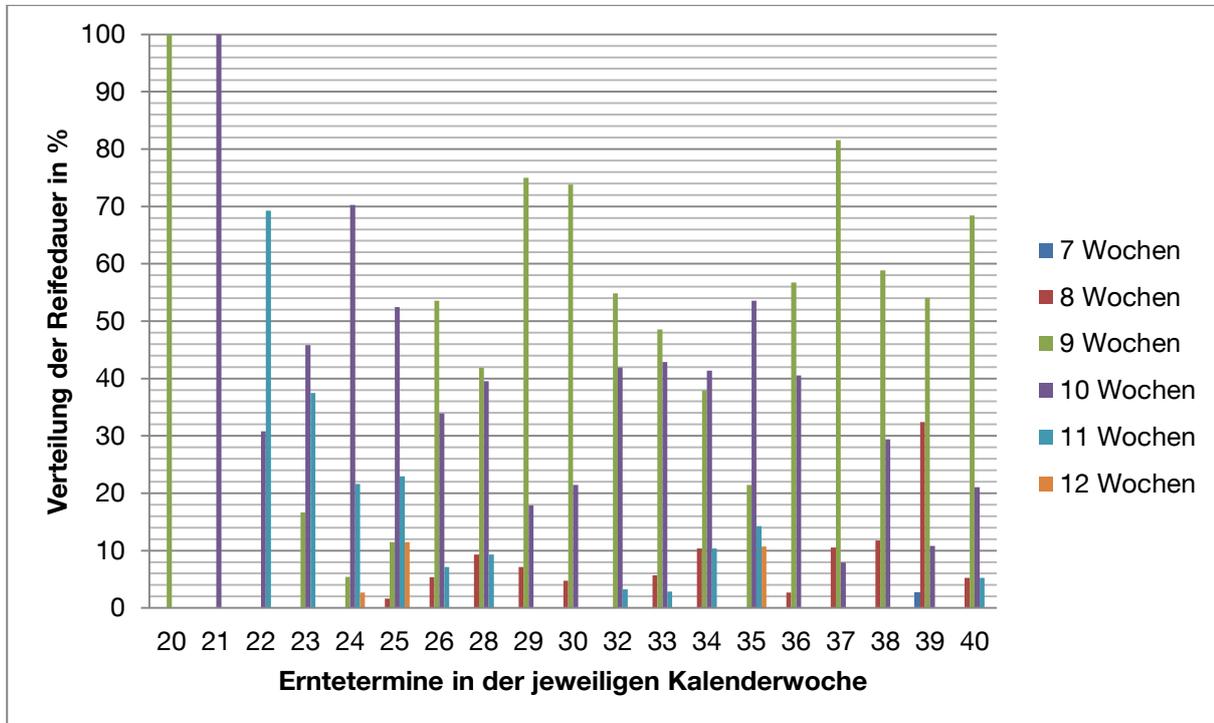


Abbildung 20: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 2), aufgeteilt nach Ernteterminen

In der Gewächshausabteilung 2, der „Thermoskanne“, benötigen die Tomatenfrüchte im Mittel 10 Wochen. Über 80 % können nach 9 bis 10 Wochen geerntet werden. Die Abweichung vom Mittelwert beträgt ebenfalls 0,7 Wochen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Auswertung der generativen Wachstumsphase (Gewächshausabteilung 2)

ZINEG Gewächshausabteilung 2						
Generative Wachstumsphase in Wochen	7	8	9	10	11	12
Anzahl der geernteten Tomatentrosse	1	38	275	277	96	11
Verteilung in %	0,1	5,3	39,5	39,7	13,8	1,6
Mittelwert in Wochen	10					
Mittelwertabweichung in Wochen	0,7					

### 5.2.4 Gewächshausabteilung 3

Abbildung 21 zeigt auf, dass die maximale Abreifephase in der Gewächshausabteilung 3 am kürzesten ist mit zwischen 9 und 11 Wochen. Die beiden letzten Ernten (violetter und weißer Balken) werden nicht mehr in die Betrachtungen miteinbezogen, da der Erntezeitraum verkürzt wurde.

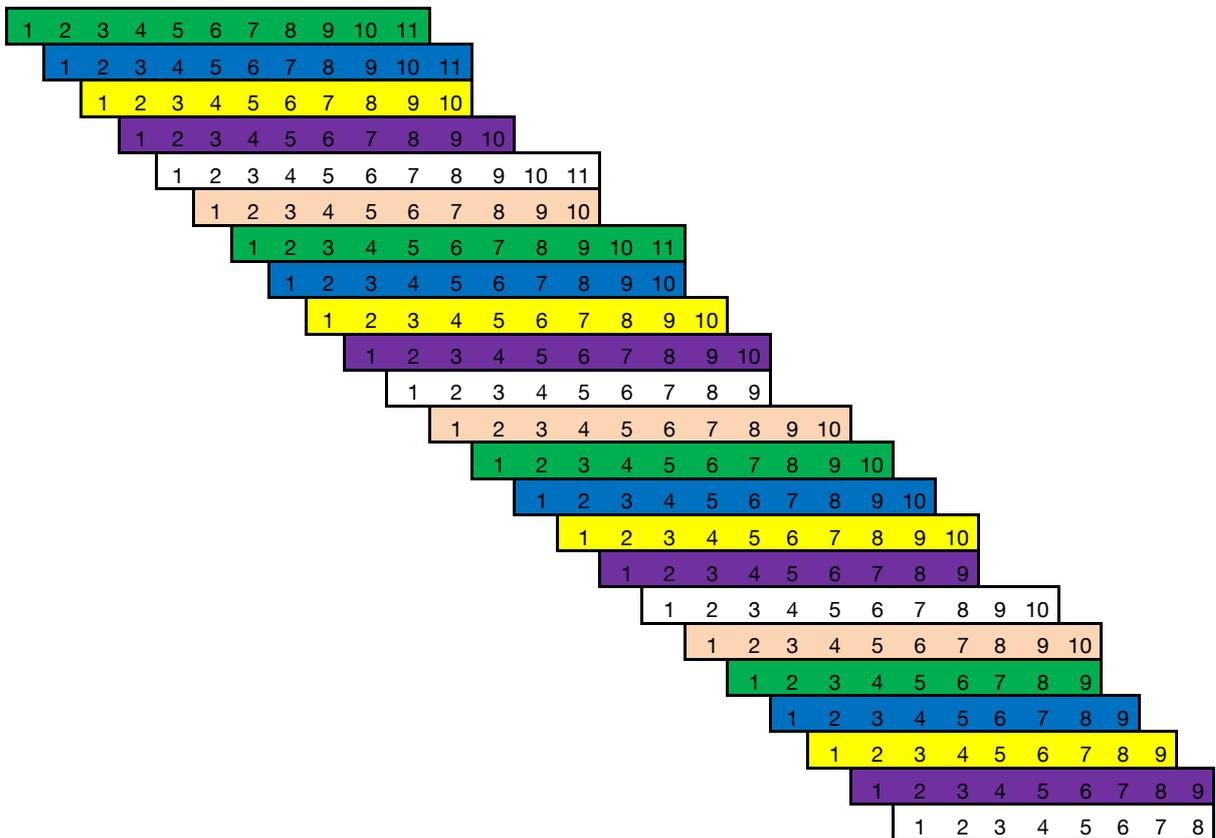


Abbildung 21: Zeitachse der generativen Wachstumsphase der Tomatenfrüchte (Gewächshausabteilung 3)

In der Gewächshausabteilung 3, ausgestattet mit der F-Cleanfolie, konnte eine insgesamt schnellere Reifung der Tomatentrosse beobachtet werden. Rund 44 % konnten nach 9 Wochen geerntet werden. Nach 7 Wochen war gut ein Viertel (27 %) erntereif. Bei einem knappen Viertel (24 %) dauerte die generative Phase 10 Wochen. Die restlichen 5 % reiften in 7 bzw. 11 Wochen ab. Kein Tomatentross benötigte 12 Wochen bis zur Erntereife (vgl. Abbildung 22).

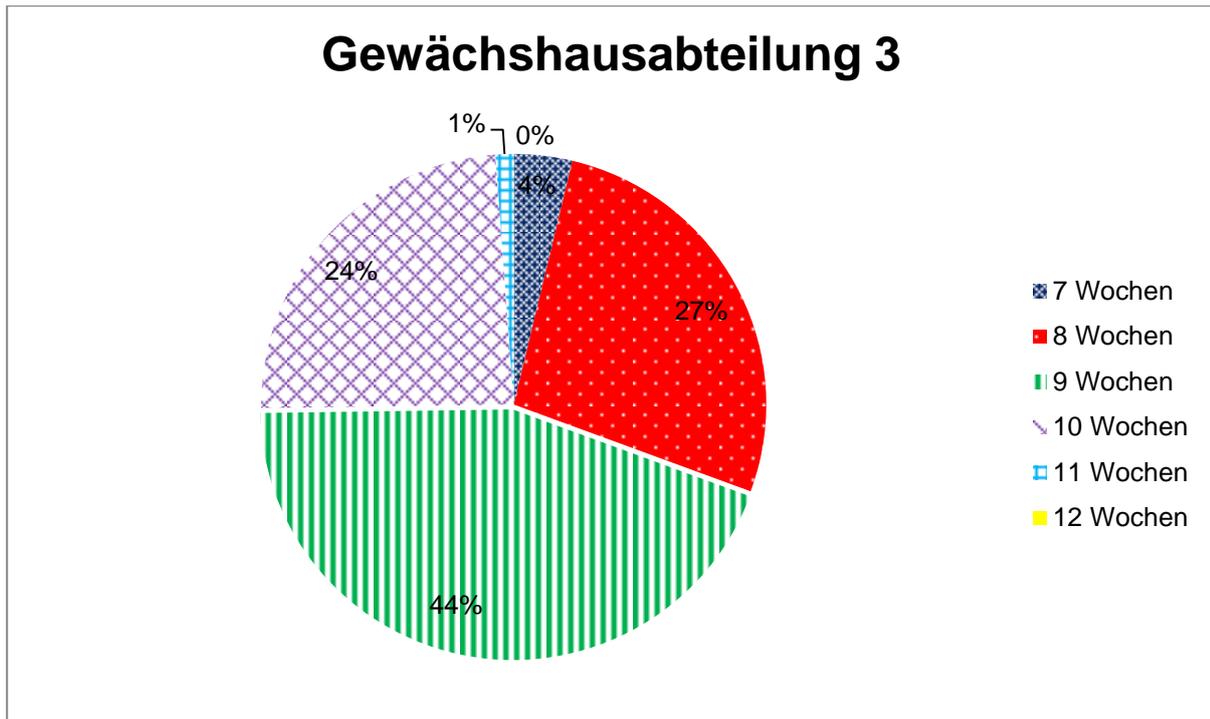


Abbildung 22: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 3)

Abbildung 23 veranschaulicht die generative Wachstumsphase der Tomatentrosse der jeweiligen Erntetermine. An 4 Erntetermine (vorrangig zu Beginn der Ernte) benötigten die Tomatentrosse 10 Wochen bis zur Erntereife. In der Mitte der Ernte dauerte die generative Wachstumsphase hauptsächlich 9 Wochen. Diese Dauer verkürzte sich ab der Kalenderwoche 37 mehrheitlich auf 8 Wochen.

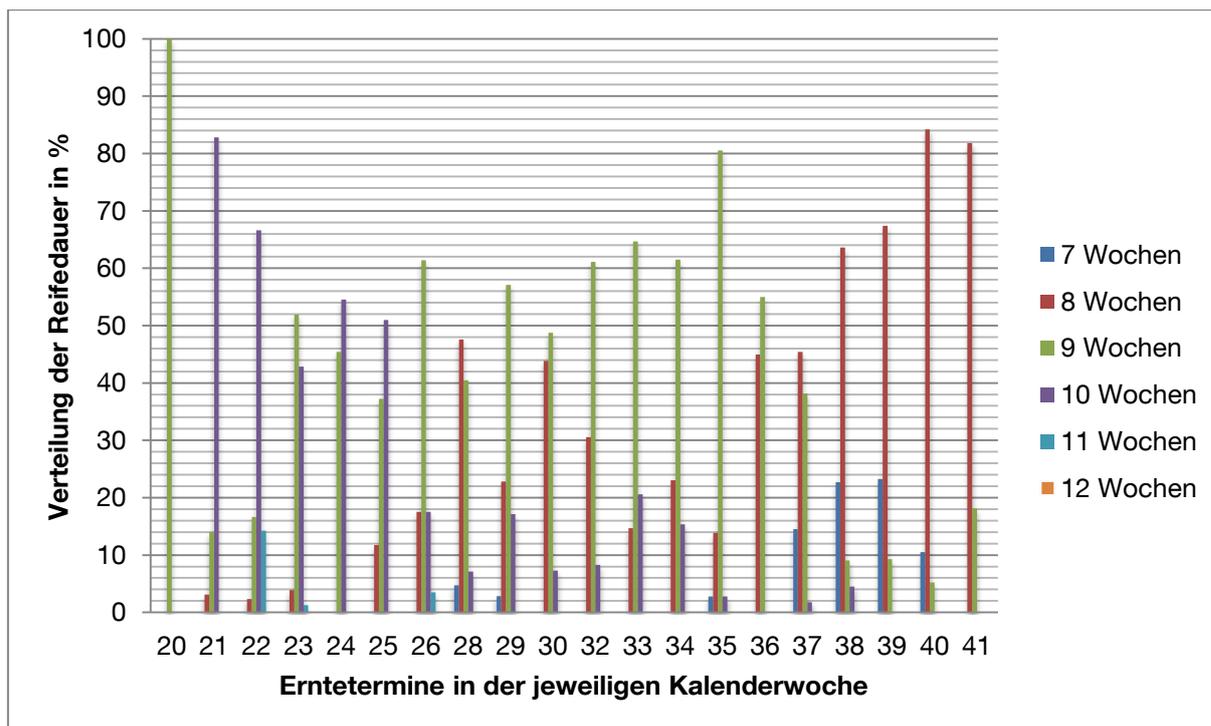


Abbildung 23: Dauer der Reifung der Tomatenfrüchte in Wochen (Gewächshausabteilung 3), aufgeteilt nach Ernteterminen

Tabelle 18 zeigt, dass 44 % der Tomaten in der 9. Woche geerntet werden können. 68,2 %, rund zwei Drittel der Tomaten, sind in den Wochen 9 bis 10 abgereift. Rund ein Viertel ist in der Gewächshausabteilung 3 schon in 8 Wochen erntereif. Die Mittelwertabweichung beträgt 0,6 Wochen.

Tabelle 18: Auswertung der generativen Wachstumsphase (Gewächshausabteilung 3)

ZINEG Gewächshausabteilung 3						
Generative Wachstumsphase in Wochen	7	8	9	10	11	12
Anzahl der geernteten Tomatentrosse	29	209	343	187	9	0
Verteilung in %	3,7	26,9	44,1	24,1	1,2	0,0
Mittelwert in Wochen				9		
Mittelwertabweichung in Wochen				0,6		

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Tomatenfrüchte innerhalb eines Gewächshauses bzw. einer Gewächshausabteilung sowohl in der vegetativen Phase als auch in der generativen Phase gleichmäßig wachsen. Die Ressourcenverbräuche unterliegen Schwankungen innerhalb der Kulturdauer. Das hat zur Folge, dass der Ressourcenverbrauch am Anfang der Ernteperiode bezogen auf das einzelne Kilogramm unterbewertet und dann überbewertet wird. Dieser Umstand gleicht sich allerdings aus,

wenn die gesamte Kulturdauer in Betracht gezogen wird. Bei der Zuordnung des Ressourcenverbrauches steht auch die praktische Umsetzbarkeit im Vordergrund. Diese ist bei der gleichmäßigen Verteilung am besten gegeben. Eine gleichmäßige Verteilung des Ressourcenverbrauches auf die gesamte zu erwartende Erntemenge ist damit sinnvoll, praktisch umsetzbar und gerechtfertigt.

### **5.3 Ergebnisse der Prozessdokumentation**

Die Dokumentation und Bewertung des Produktionsverfahrens erfolgt in der Microsoft Excel® Tabellenkalkulation „Prozessdokumentation“. Die Entwicklung und Bearbeitung waren ein iterativer Prozess, das bedeutet, dass die Microsoft Excel® Tabellenkalkulation im Rahmen der einzelnen Anbauversuche aufgebaut und ständig erweitert worden ist.

Im ersten Versuchsjahr 2010 wurden Salatpflanzen angebaut, die als Produkt der einmaligen Ernte gezählt werden können. In den darauffolgenden beiden Jahren 2011 und 2012 wurden Tomatenpflanzen kultiviert, deren Ernteprodukte der mehrmaligen Ernte zugeordnet werden können.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für jede Kultur separat. Als Ergebnis werden die einzelnen aufgeführten Ressourcenverbräuche und die sich daraus ergebenden verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente gezeigt.

#### **5.3.1 Einmalige Ernte – Salat 2010**

2010 wurden im ZINEG Versuchsgewächshaus Salatpflanzen (je 1700 Stück pro Abteilung) in verschiedenen Sorten angebaut und kultiviert (vgl. 4.7.1). Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für die folgenden Dokumentationsparameter: Wasser-, Elektroenergie-, Heizmaterial-, Düngemittel-, Pflanzenschutzmittelverbrauch und die daraus resultierenden verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

#### **Wasserverbrauch**

Der Wasserverbrauch ergibt sich hauptsächlich durch die eingestellte Regelung am Bewässerungssystem KliWaDu. Da diese für die drei Abteilungen nahezu gleich war, zeigen sich bei der Betrachtung des Wasserverbrauches in den einzelnen Abteilungen nur geringe Unterschiede (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19: Wasserverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	l	13786,2	13114,7	13952,3
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup>	42,2	40,2	42,7
Verbrauch pro Stück	l/Stück	8,10	7,71	8,20

Abbildung 24 veranschaulicht die aufsummierten Wasserverbräuche in Litern über den gesamten Produktionszeitraum. Es ist deutlich die erste Kopfbewässerung zu Beginn der Kalenderwoche 38 erkennbar. Mit Beginn der Tropfbewässerung (ab Mitte KW 38) steigt die Bewässerungsmenge in den einzelnen Abteilungen unterschiedlich an.

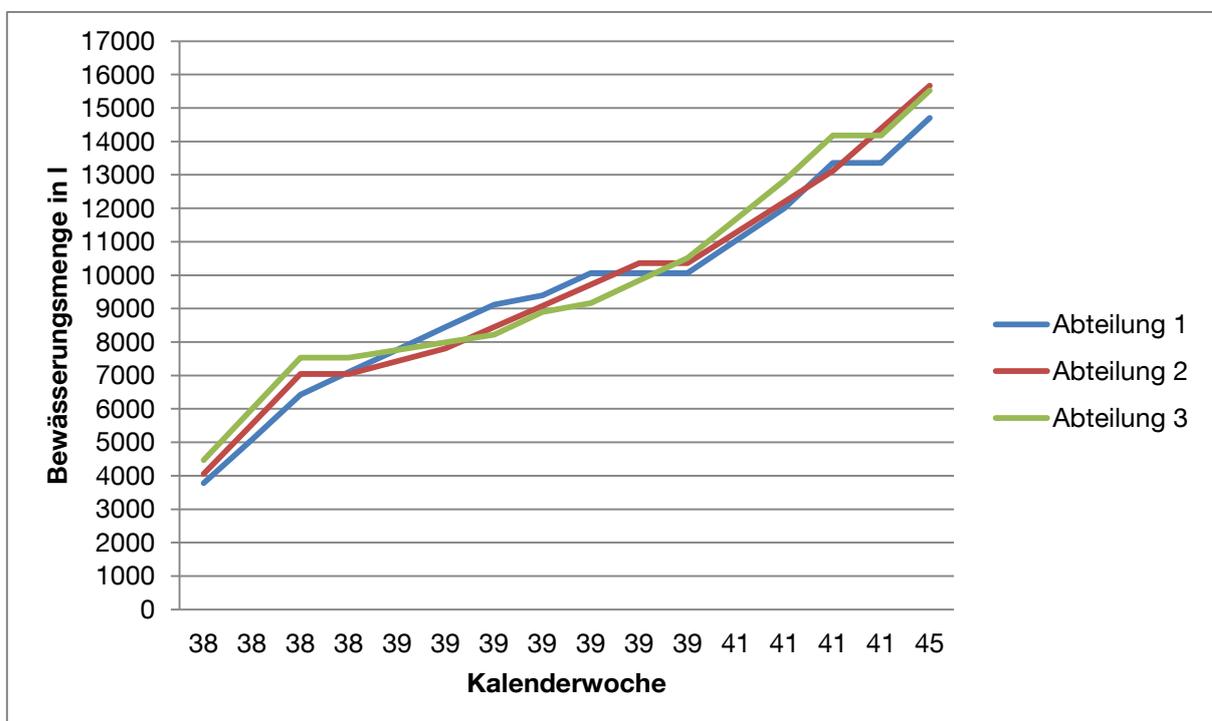


Abbildung 24: Darstellung des Wasserverbrauches bei Salat 2010

### Elektroenergieverbrauch

Der elektrische Verbrauch in den einzelnen Abteilungen im ZINEG Gewächshaus setzt sich aus dem Elektroenergiebedarf der elektrischen Einrichtungen in der jeweiligen Abteilung und der Heizungsanlage zusammen.

Tabelle 20 zeigt den prozentualen Anteil des Wärmemengenbedarfs der einzelnen Abteilungen. Dieser Prozentsatz wird auch bei der Berechnung des elektrischen Verbrauches der Heizungsanlage zugrunde gelegt.

Tabelle 20: Verteilung des Elektroenergiebedarfs bei der Wärmemengengenerzeugung in %, Salat 2010

	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Anteil der Wärmemengen in %	%	0,48	0,31	0,21

Somit ergibt sich in Abteilung 1 ein Elektroenergieverbrauch von 1,1 kWh/m<sup>2</sup> und von 0,9 kWh/m<sup>2</sup> in Abteilung 2 und in Abteilung 3 von 0,8 kWh/m<sup>2</sup> (vgl. Tabelle 21).

Tabelle 21: Elektroenergieverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kWh	375,9	316,0	270,2
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	1,1	0,9	0,8
Verbrauch pro Stück	kWh/Stück	0,22	0,19	0,16

### Heizmaterialverbrauch

Eine der wichtigsten Fragestellungen im ZINEG Verbundprojekt ist die CO<sub>2</sub>-neutrale Wärmebereitstellung im Gewächshaus. Um die Menge an verbrauchtem Heizmaterial berechnen zu können, ist eine Erfassung der Wärmemengen separat für die einzelnen Gewächshausabteilungen nötig. Tabelle 22 beschreibt die Wärmemengen für alle drei Abteilungen in Form des Gesamtverbrauches, pro m<sup>2</sup> und pro Stück. Rund die Hälfte der Wärmemenge benötigte Abteilung 1, für Abteilung 2 muss rund ein Drittel und für Abteilung 3 rund ein Fünftel bereitgestellt werden.

Tabelle 22: Wärmemengen pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kWh	2022,1	1309,7	906,6
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	5,9	3,7	2,6
Verbrauch pro Stück	kWh/Stück	1,19	0,77	0,53

Aus den zur Verfügung stehenden Wärmemengen wird die Menge an eingesetztem Heizmaterial berechnet. Für den rund dreimonatigen Produktionszeitraum wurden pro m<sup>2</sup> zwischen 1,2 kg (Abteilung 1), 0,8 kg (Abteilung 2) und 0,5 kg (Abteilung 3) an Holzpellets benötigt (vgl. Tabelle 23).

Tabelle 23: Heizmaterialverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	412,7	267,3	185,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	1,2	0,8	0,5
Verbrauch pro Stück	kg/Stück	0,24	0,16	0,11

### Düngemittelverbrauch

Der Düngemittelverbrauch wird in Litern pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück in Tabelle 24 veranschaulicht. Es ist in jeder Abteilung die gleiche Menge an Vinasse ausgebracht worden.

Tabelle 24: Düngemittelverbrauch (Vinasse) pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	l	70,7	70,7	70,7
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,2
Verbrauch pro Stück	l/Stück	0,04	0,04	0,04

### Pflanzenschutzmittelverbrauch

Bei der Salatproduktion wurden zwei Anwendungen durchgeführt. Spruzit® Neu und Ferramol® Schneckenkorn wurden jeweils im September ausgebracht, in der vom Hersteller empfohlenen Menge (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Zeitlicher Ablauf des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, Salat 2010

<b>Ausbringungsdatum</b>	<b>Name</b>	<b>Einheit</b>	<b>Aufwandmenge</b>
14.09.2010	Spruzit neu	l	0,2
29.09.2010	Ferramol® Schneckenkorn	kg	1,7

Bei der Betrachtung der Verbräuche bezogen auf die funktionellen Einheiten pro m<sup>2</sup> und vor allem pro Stück werden die zahlenmäßigen Werte verschwindend gering (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26: Pflanzenschutzmittelverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010

	<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Spruzit® Neu	Gesamtverbrauch	l/	0,2	0,2	0,2
	Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup>	0,0006	0,0006	0,0006
	Verbrauch pro Stück	l/Stück	0,0001	0,0001	0,0001
Ferramol® Schneckenkorn	Gesamtverbrauch	kg/	1,7	1,7	1,7
	Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01
	Verbrauch pro Stück	kg/Stück	0,001	0,001	0,001

### Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Aus den oben aufgeführten mengenmäßigen Ressourcenverbräuchen wurden die verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ermittelt. In der Abteilung 1 wurden somit durch den Einsatz von Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel rund 290 kg emittiert, in Abteilung 2 240 kg und in Abteilung 3 210 kg. Bezogen auf den m<sup>2</sup> wurden zwischen 0,6 kg und 0,9 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente erzeugt. Um einen einzelnen Salatkopf produzieren zu können, wurden 0,2 kg (Abteilung 1) bzw. 0,1 kg (Abteilung 2 und 3) an verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgestoßen (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27: Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und pro Stück, Salat 2010

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	294,8	243,0	207,4
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	0,9	0,7	0,6
Verbrauch pro Stück	kg/Stück	0,17	0,14	0,12

Abbildung 25 charakterisiert die prozentuale Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents, das sich durch die einzelnen Ressourcenverbräuche ergibt. Der Wasserverbrauch hat aufgrund seines niedrigen CO<sub>2</sub>-Äquivalentsfaktor von 0,00039 kg pro Liter Wasser (PROBAS, 2013) nur eine sehr geringe Bedeutung. Auch der Einsatz der Vinasse als Dünger wirkt sich nahezu nicht auf das CO<sub>2</sub>-Äquivalent aus. Die verursachten Emissionen belaufen sich durch den Einsatz von Holzpellets auf rund 10 bis 15 %. Der Pflanzenschutzmittelanteil entspricht ungefähr 10%. Bestimmt wird das CO<sub>2</sub>-Äquivalent mit über 70 % bei dieser Salatproduktion durch den Elektroenergieverbrauch.

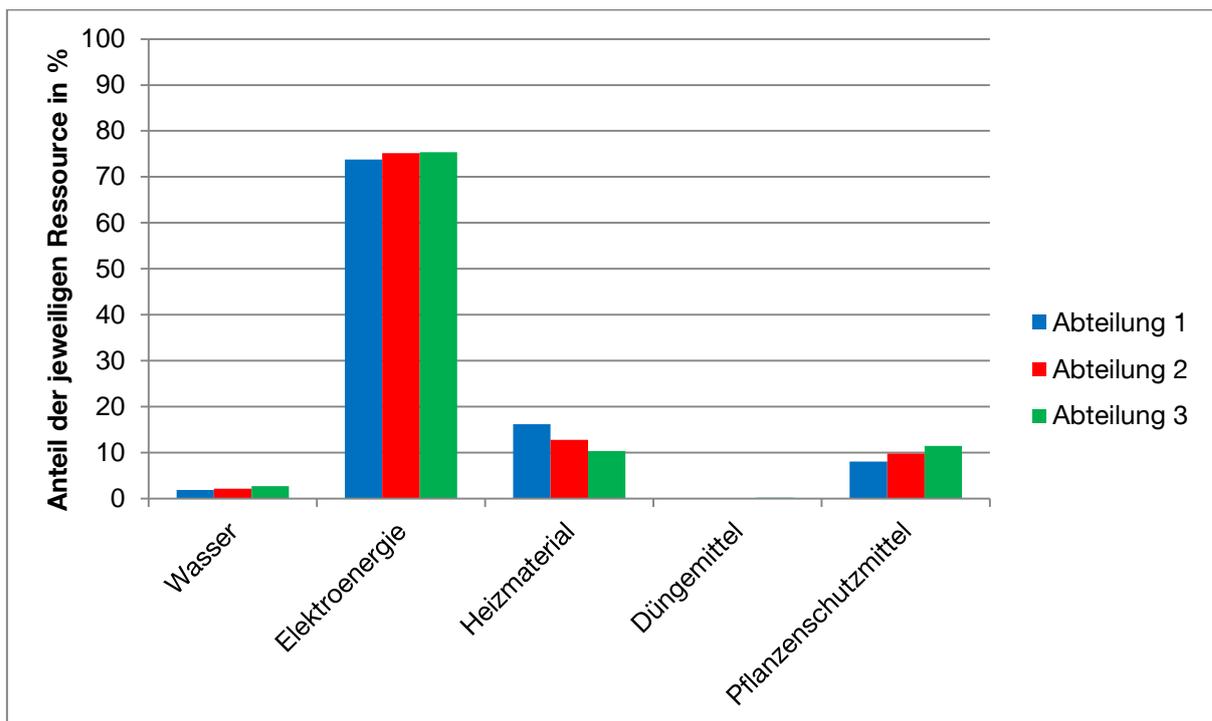


Abbildung 25: Zusammensetzung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente in %, Salat 2010

### 5.3.2 Mehrmalige Ernte

#### 5.3.2.1 Tomate 2011

Der Tomatenversuch im Jahr 2011 stellt einen Vorversuch dar, an dem das Konzept der Prozessdokumentation erarbeitet wurde.

#### Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch liegt in der Abteilung 1 am niedrigsten mit rund 133000 l, in Abteilung 2 beträgt er rund 147000 und in Abteilung 3 ist er am höchsten mit rund 177000 l. Somit wurden 408 l (Abteilung 1), 451 l (Abteilung 2) und 541 l (Abteilung 3) Wasser pro m<sup>2</sup> benötigt. 1 Kilogramm Tomaten hat zwischen 57 l und 64 l Wasser benötigt (vgl. Tabelle 28).

Tabelle 28: Wasserverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	l	133081,0	147159,0	176673,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup>	407,7	450,9	541,3
Verbrauch pro kg	l/kg	56,7	67,2	64,3

Abbildung 26 veranschaulicht den Einsatz von Wasser über den gesamten Produktionszeitraum. Bis zur KW 14 war der Wasserverbrauch der drei Abteilungen nahezu gleich, was durch die Art der Anwendung (Kopfbewässerung) vorrangig bestimmt wurde. Anschließend spiegelt sich die bedarfsgerechte Tropfbewässerung im Wasserverbrauch.

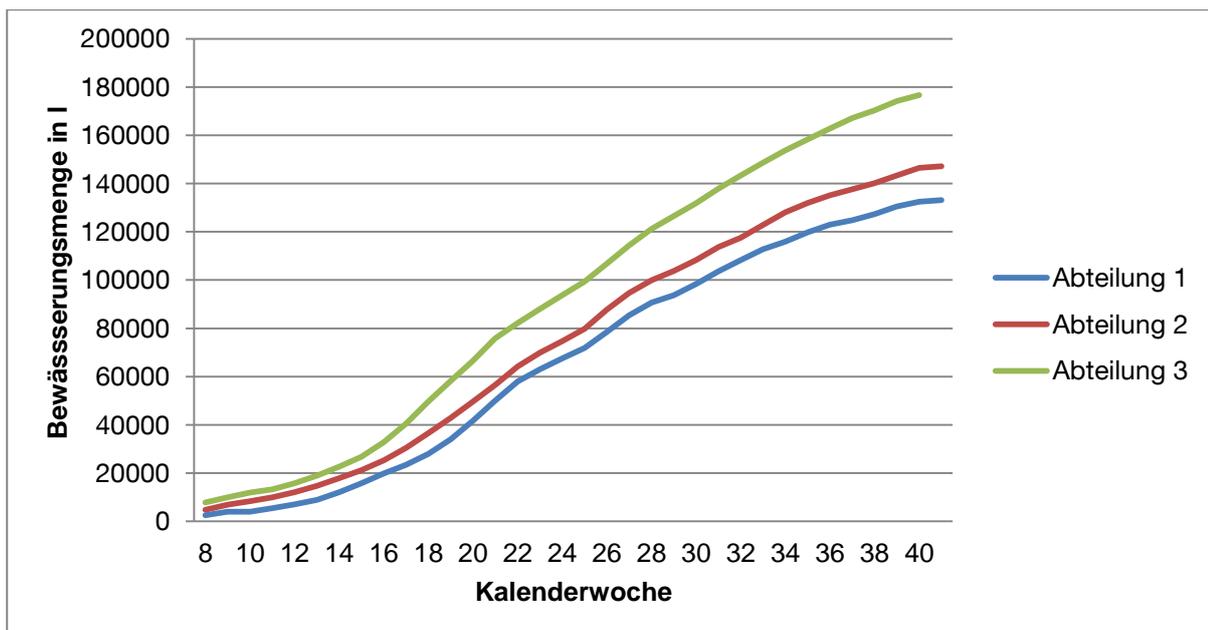


Abbildung 26: Darstellung des Wasserverbrauches bei Tomate 2011

### Elektroenergieverbrauch

Bei der Tomatenproduktion 2011 unterscheidet sich der Wärmebedarf der einzelnen Abteilungen. Dies spiegelt sich auch in der prozentualen Auslastung der Heizungsanlage. Auf die Abteilung 1 entfällt 40 %, auf die Abteilung 2 28 % und auf die Abteilung 3 32 % der produzierten Wärmemenge (vgl. Tabelle 29).

Tabelle 29: Verteilung des Elektroenergiebedarfs bei der Wärmemengenerzeugung in %, Tomate 2011

	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Anteil der Wärmemenge in %	%	0,40	0,28	0,32

Damit ergibt sich für die einzelnen Abteilungen ein Elektroenergieverbrauch von 1981 kWh (Abteilung 1), 1527 kWh (Abteilung 2) und 1759 kWh (Abteilung 3). Der Elektroenergieverbrauch liegt bei rund 0,8 kWh/kg (Abteilung 1), 0,7 kWh/kg (Abteilung 2) und 0,6 kWh/kg (Abteilung 3) (vgl. Tabelle 30)

Tabelle 30: Elektroenergieverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kWh	1981,1	1526,8	1759,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	5,7	4,3	5,1
Verbrauch pro kg	kWh/kg	0,84	0,69	0,63

### Heizmaterialverbrauch

Tabelle 31 stellt die Wärmemengen pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und die erntemengenspezifischen Wärmemenge dar. Pro m<sup>2</sup> liegen die benötigten Wärmemengen bei rund 110 kWh (Abteilung 1), 75 kWh (Abteilung 2) und 87 kWh (Abteilung 3).

Tabelle 31: Wärmemengen pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kWh	37916,8	26739,9	30062,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	109,9	75,3	87,1
Verbrauch pro kg	kWh/kg	16,14	12,21	10,94

Aus den ermittelten Wärmemengen errechnet sich der Heizmaterialbedarf pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und der erntemengenspezifische Verbrauch (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Heizmaterial pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	7738,1	5457,1	6135,1
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	22,4	15,4	17,8
Verbrauch pro kg	kg/kg	3,30	2,49	2,23

### Düngemittelverbrauch

Zuerst wurde eine Grunddüngung mit Bioilsa® (Organischer Stickstoffdünger) durchgeführt. Es wurde 100 kgN/ha in Abteilung 1, 100 kg N/ha in Abteilung 2 und 50 kgN/ha in Abteilung 3 ausgebracht. Die Düngung der Tomatenpflanzen während der Produktion erfolgte mit Vinasse. Die Anwendung der Düngung wurde über KilWaDu geregelt.

Insgesamt sind 240 l (Abteilung 1), 240 l (Abteilung 2) und 265 l (Abteilung 3) Vinasse ausgebracht worden (vgl. Tabelle 33).

Tabelle 33: Düngemittelverbrauch (Vinasse) pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	l	240,0	240,0	265,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup>	0,7	0,7	0,8
Verbrauch pro kg	l/kg	0,10	0,10	0,09

### Pflanzenschutzmittelverbrauch

Durch die Ausbringung von Pflanzenschutzmittel wurde eine zusätzlich Wassermenge von 940 l in Abteilung 1 und 2 sowie 1340 l in Abteilung 3 verbraucht. In Tabelle 34 bis Tabelle 36 wird das Datum, die Art des Pflanzenschutzmittels, die Aufwandmenge in % und in l für jede Abteilung angegeben.

Tabelle 34: Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2011, Abteilung 1

<b>Anwendungsdatum</b>	<b>Name</b>	<b>Aufwandmenge (l)</b>
29.08.2011	Neudosan® Neu	3,0
06.09.2011	Kumulus® WG	1,4
06.09.2011	HF Pilzvorbeuge	1,8
13.09.2011	Kumulus® WG	1,1
13.09.2011	Neudosan® Neu	7,4
13.09.2011	HF Pilzvorbeuge	1,5

Tabelle 35: Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2011, Abteilung 2

Anwendungsdatum	Name	Aufwandmenge (l)
29.08.2011	Neudosan® Neu	3,0
06.09.2011	Kumulus® WG	1,4
06.09.2011	HF Pilzvorbeuge	1,8
13.09.2011	Kumulus® WG	1,1
13.09.2011	Neudosan® Neu	7,4
13.09.2011	HF Pilzvorbeuge	1,5

Tabelle 36: Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2011, Abteilung 3

Ausbringungsdatum	Name	Aufwandmenge (l)
15.08.2011	Neudosan® Neu	3,0
29.08.2011	Neudosan® Neu	3,0
01.09.2011	Spruzit® Neu	1,5
06.09.2011	Kumulus® WG	1,4
06.09.2011	HF Pilzvorbeuge	1,8
09.09.2011	Kumulus® WG	0,2
09.09.2011	HF Pilzvorbeuge	0,3
13.09.2011	Kumulus® WG	1,1
13.09.2011	Neudosan® Neu	7,4
13.09.2011	HF Pilzvorbeuge	1,5

In den folgenden Tabellen wird für jedes Pflanzenschutzmittel getrennt der Verbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und der erntemengenspezifische Verbrauch aufgezeigt. Da die Aufwandmengen gering waren, ergeben sich für den m<sup>2</sup> und für den erntemengenspezifischen Verbrauch sehr kleine Werte. Durch die Rundung dieser Zahlen ergibt sich größtmäßig nahezu immer der gleiche Verbrauch (vgl. Tabelle 37 bis Tabelle 40).

Tabelle 37: Einsatz des Pflanzenschutzmittels Kumulus® WG pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kg	4,1	4,1	2,7
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01
Verbrauch pro kg	kg/kg	0,002	0,002	0,001

Tabelle 38: Einsatz des Pflanzenschutzmittels Neudosan® Neu pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	3,2	3,2	13,4
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,04
Verbrauch pro kg	kg/kg	0,001	0,001	0,005

Tabelle 39: Einsatz des Pflanzenschutzmittels Spruzit® Neu pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	-	-	1,5
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	-	-	0,005
Verbrauch pro kg	kg/kg	-	-	0,0005

Tabelle 40: Einsatz des Pflanzenschutzmittels HF Pilzvorbeuge pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch Tomate 2011

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	3,3	3,3	3,6
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01
Verbrauch pro kg	kg/kg	0,001	0,001	0,001

### Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Die verbrauchsgebundenen Gesamtemissionen, welche durch den Einsatz der Ressourcen Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel verursacht werden, betragen in Abteilung 1 rund 2136 kg in Abteilung 2 1628 kg und in Abteilung 3 1823 kg. Auf den m<sup>2</sup> bezogen werden rund 4,5 bis 6,2 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert. In Abteilung 1 werden mit 0,9 kg/kg am meisten in Abteilung 3 mit rund 0,7kg/kg am wenigsten CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert (vgl. Tabelle 41).

Tabelle 41: Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2011

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	2136,3	1627,6	1823,5
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg	6,2	4,5	5,3
Verbrauch pro kg	kg	0,90	0,74	0,66

Abbildung 27 charakterisiert die Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents. Es zeigt sich, dass die Mehrheit der CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch die Emissionen, aufgrund des Einsatzes von Elektroenergie und Heizmaterial entstehen. Die Ressourcen Wasser, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel sind bei der Tomatenproduktion 2011 nahezu vernachlässigbar.

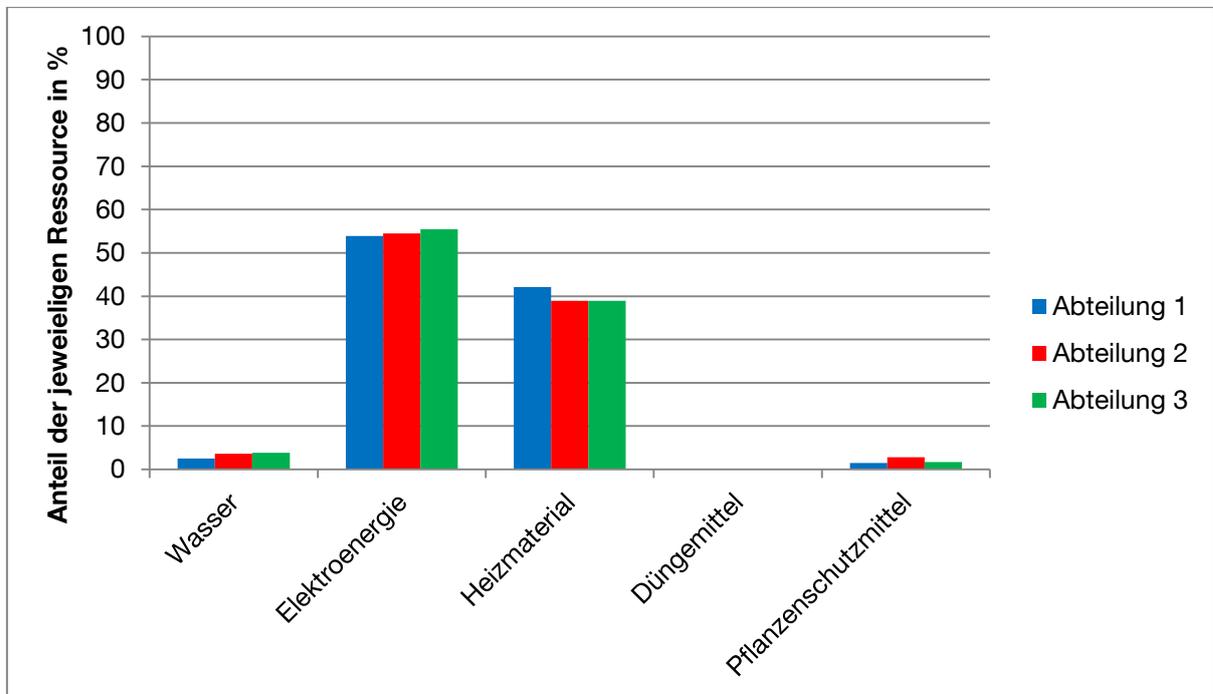


Abbildung 27: Zusammensetzung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente in %, Tomate 2011

### 5.3.2.2 Tomate 2012

Das Konzept der Prozessdokumentation wurde exemplarisch an der Tomatenkultur im Jahr 2012 durchgeführt.

#### Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch pro m<sup>2</sup> ist in der Abteilung 1 mit 439 l am niedrigsten und in der Abteilung 3 mit 484 l am höchsten, Abteilung 2 nimmt mit 476 l den mittleren Platz ein. Allerdings zeigen sich bei der Betrachtung des erntemengenspezifischen Verbrauches, der niedrigste Verbrauch mit 26 l/kg in der dritten Abteilung (höchster Ernteertrag) und der höchste Verbrauch in der zweiten Abteilung mit 37 l/kg, hier liegt die Abteilung 1 mit 28 l/kg in der Mitte (vgl. Tabelle 42).

Tabelle 42: Wasserverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	l	143147,0	155468,0	158035,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup>	438,6	476,3	484,2
Verbrauch pro kg	l/kg	28,07	37,56	25,67

Abbildung 28 veranschaulicht den Gesamtverbrauch an Wasser pro Abteilung über die Produktionszeit. Zu Beginn der Kultur ist der Wasserbedarf annähernd gleich. Ab der KW 23 stellt sich ein größerer Unterschied der einzelnen Abteilungen dar.

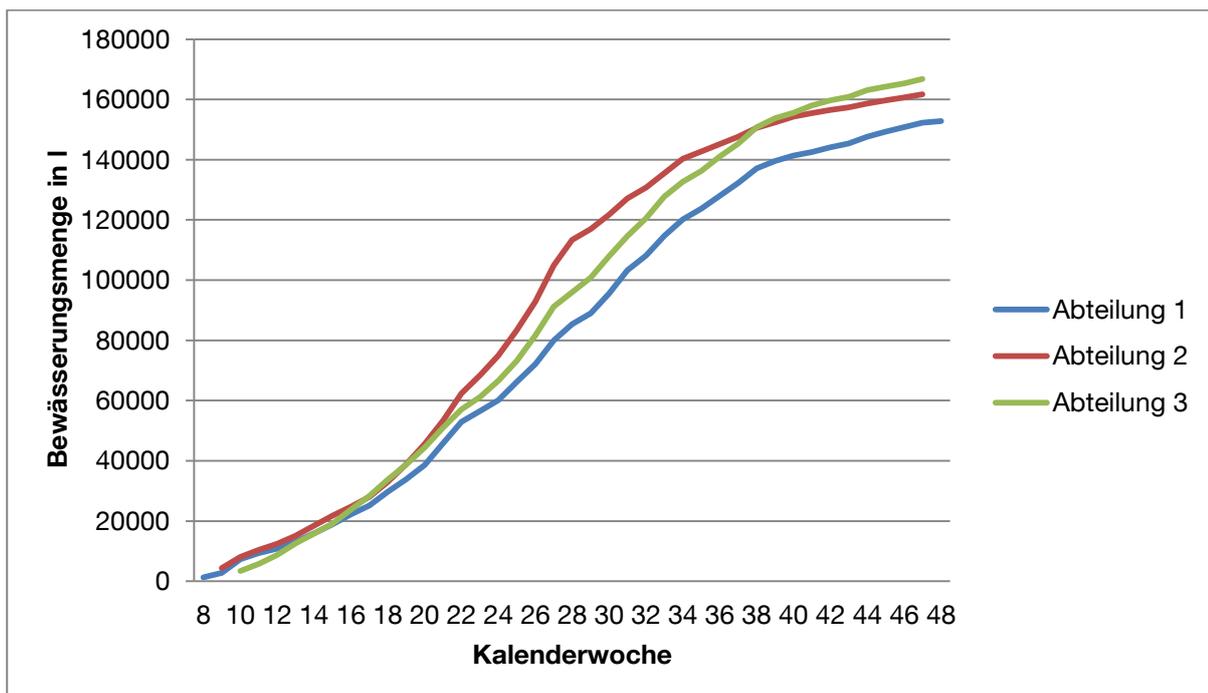


Abbildung 28: Darstellung des Wasserverbrauches bei Tomate 2012

### Elektroenergieverbrauch

Auch bei der Tomatenproduktion 2012 wird der Elektroenergieverbrauch vor allem durch den elektrischen Verbrauch der Heizungsanlage bestimmt. Für die Aufteilung des Elektroenergiebedarfes der Heizung ist das prozentuale Verhältnis an Wärmebedarf der einzelnen Abteilungen von Bedeutung (vgl. Tabelle 43).

Tabelle 43: Verteilung des Elektroenergiebedarfs bei der Wärmemengenerzeugung in %, Tomate 2012

	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Anteil des Wärmemenge	%	0,45	0,29	0,26

Somit ergibt sich ein Elektroenergieverbrauch pro m<sup>2</sup> von 7,1 kWh (Abteilung 1), 5,0 kWh (Abteilung 2), und 4,9 kWh (Abteilung 3). Den niedrigsten erntemengenspezifischen Elektroenergieverbrauch weist Abteilung 3 mit rund 0,3 kWh/kg auf (vgl. Tabelle 44).

Tabelle 44: Elektroenergieverbrauch pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kWh	2459,1	1784,7	1690,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	7,1	5,0	4,9
Verbrauch pro kg	kWh/kg	0,48	0,43	0,27

### Heizmaterialverbrauch

Abteilung 1 hat einen Wärmebedarf von rund 126 kWh/m<sup>2</sup>, Abteilung 2 von 81 kWh/m<sup>2</sup> und Abteilung 3 von 70 kWh/m<sup>2</sup> (vgl. Tabelle 45).

Tabelle 45: Wärmemengen pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kWh	43361,5	28032,8	24682,1
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	125,7	79,0	71,5
Verbrauch pro kg	kWh/kg	8,50	6,77	4,01

Tabelle 46 stellt den Heizmaterialbedarf in kg Holzpellets für die drei funktionellen Einheiten Gesamtverbrauch, Verbrauch pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifischer Verbrauch dar. Um ein Kilogramm Tomaten zu produzieren, werden in Abteilung 1 mit rund 1,7 kg am meisten und in Abteilung 3 mit rund 0,8 kg am wenigsten Holzpellets benötigt

Tabelle 46: Heizmaterial pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	8849,3	5721,0	5037,2
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	25,7	16,1	14,6
Verbrauch pro kg	kg/kg	1,73	1,38	0,82

### Düngemittelverbrauch

Zu Beginn der Kultur wurde eine Grunddüngung mit DCM (Organischer Dünger) durchgeführt. In Abteilung 1 wurden 30 kgN/ha, in Abteilung 2 65 kg/Nha und in Abteilung 3 50 kgN/ha Dünger ausgebracht. Die ausgebrachten Düngemittelmengen (Vinasse) liegen zwischen 210 l (Abteilung 2) und 238 l (Abteilung 1). Bezogen auf den m<sup>2</sup> ergibt sich für die Abteilungen 1 und 3 ein Wert von 0,7 l bzw. 0,6 l für Abteilung 2. Bezogen auf das Kilogramm Tomate liegen die Werte bei 0,04 l (Abteilung 3) und 0,05 l (Abteilung 1 und 2) (vgl. Tabelle 47).

Tabelle 47: Düngemittelverbrauch (Vinasse) pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	l	238,0	210,0	226,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l/m <sup>2</sup>	0,7	0,6	0,7
Verbrauch pro kg	l/kg	0,05	0,05	0,04

### Pflanzenschutzmittelverbrauch

Die Pflanzenschutzmittel wurden mit Hilfe des Trägermaterials Wasser ausgebracht. Dadurch wurden in der Abteilung 1 zusätzlich 380 l, in Abteilung 2 130 l und in Abteilung 3 380 l Wasser ausgebracht (vgl. Tabellen 48 -50).

Tabelle 48: Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2012, Abteilung 1

<b>Ausbringungsdatum</b>	<b>Name</b>	<b>Aufwandmenge (l)</b>
05.10.2012	Kumulus® WG	0,3
05.10.2012	HF Pilzvorbeuge	0,4
18.10.2012	Kumulus® WG	0,7
18.10.2012	HF Pilzvorbeuge	1,1

Tabelle 49: Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2012, Abteilung 2

<b>Ausbringungsdatum</b>	<b>Name</b>	<b>Aufwandmenge (l)</b>
29.08.2012	Kumulus® WG	0,2
29.08.2012	HF Pilzvorbeuge	0,2
05.09.2012	Kumulus® WG	0,2
05.09.2012	HF Pilzvorbeuge	0,1
19.09.2012	Kumulus® WG	0,3
19.09.2012	HF Pilzvorbeuge	0,4
05.10.2012	Kumulus® WG	0,3
05.10.2012	HF Pilzvorbeuge	0,3
18.10.2012	Kumulus® WG	0,7
18.10.2012	HF Pilzvorbeuge	1,1

Tabelle 50: Einsatz von Pflanzenschutzmittel bei Tomate 2012, Abteilung 3

<b>Ausbringungsdatum</b>	<b>Name</b>	<b>Aufwandmenge (l)</b>
19.09.2012	Kumulus® WG	0,3
19.09.2012	HF Pilzvorbeuge	0,4
18.10.2012	Kumulus® WG	0,7
18.10.2012	HF Pilzvorbeuge	1,1

Das Pflanzenschutzmittel Kumulus wurde in den drei Abteilungen nahezu in gleicher Menge ausgebracht. Lediglich in Abteilung 2 wurde eine höhere Menge mit 1,6 l angewendet (vgl. Tabelle 51).

Tabelle 51: Einsatz des Pflanzenschutzmittels Kumulus® WG pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	1,0	1,6	1,0
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	0,003	0,004	0,003
Verbrauch pro kg	kg/kg	0,0002	0,0004	0,0002

Tabelle 52 zeigt die ausgebrachte Menge von HF Pilzvorbeuge. Auch bei diesem Pflanzenschutzmittel wurde in Abteilung 2 mit 2,1 l am meisten angewendet.

Tabelle 52: Einsatz des Pflanzenschutzmittels HF Pilzvorbeuge pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	kg	1,5	2,1	1,5
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	0,004	0,005	0,004
Verbrauch pro kg	kg/kg	0,0003	0,0005	0,0002

### **Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

Tabelle 53 zeigt die CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Tomatenproduktion 2012. In Abteilung 1 ist am meisten emittiert wurden mit 2536 kg, in Abteilung 2 wurden 1803 kg und in Abteilung 3 1656 kg emittiert. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente betragen pro m<sup>2</sup> in Abteilung 1 7,3 kg, in Abteilung 2 5,1 kg und in Abteilung 3 4,8 kg. Die erntemengenspezifischen CO<sub>2</sub>-Äquivalente liegen bei rund 0,5 kg/kg (Abteilung 1), 0,4 kg/kg (Abteilung 2) und 0,3 kg/kg (Abteilung 3).

Tabelle 53: Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch, Tomate 2012

<b>Funktionelle Einheit</b>	<b>Einheit</b>	<b>Abteilung 1</b>	<b>Abteilung 2</b>	<b>Abteilung 3</b>
Gesamtverbrauch	l	2535,7	1803,1	1656,1
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	l	7,3	5,1	4,8
Verbrauch pro kg	l	0,49	0,43	0,26

Abbildung 29 veranschaulicht die Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents in Prozent. Die Emissionen, die durch den Einsatz der Ressourcen Wasser, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel verursacht wurden, liegen gemeinsam unter 10 %. Das Heizmaterial beeinflusst das CO<sub>2</sub>-Äquivalent mit rund 30 bis 40 % je nach Abteilung. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent bei der Tomatenproduktion 2012 wird mit über 50 % durch den Elektroenergieverbrauch bestimmt.

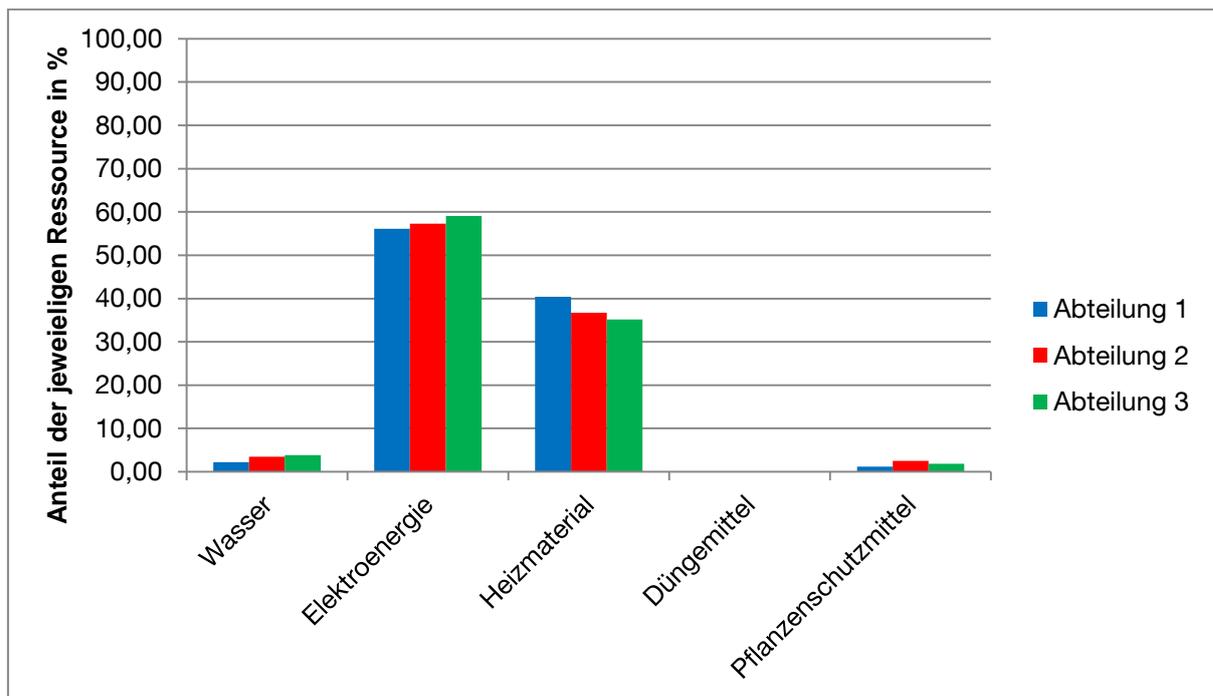


Abbildung 29: Zusammensetzung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente in %, Tomate 2012

## 5.4 Betriebsinterner Vergleich der Tomatenkulturen 2011 und 2012

Der Vergleich der ökologischen Bewertungen der beiden Tomatenkulturen 2011 und 2012 findet hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Gewächshausabteilung statt.

### 5.4.1 Ressourceneffizienz

Beim Vergleich der Ressourceneffizienz werden die erntemengenspezifischen Verbräuche der Tomatenkultur 2011 und 2012 gegenübergestellt.

In Abteilung 1 zeigt sich, dass trotz der längeren Kulturdauer bei der Tomatenkultur 2012 deutlich weniger Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel (hier sind die einzelnen Pflanzenschutzmittel zusammengefasst dargestellt) bezogen auf 1 Kilogramm Tomate gebraucht wurden (vgl. Tabelle 54).

Tabelle 54: Vergleich des Ressourcenverbrauches pro kg Tomate der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 1)

<b>Ressource</b>	<b>Einheit</b>	<b>Tomatenkultur 2011</b>	<b>Tomatenkultur 2012</b>
Wasserverbrauch	l	57,0	28,0
Elektroenergieverbrauch	kWh	0,8	0,5
Heizmaterialverbrauch	kg	3,3	1,7
Düngemittelverbrauch	l	0,1	0,05
Pflanzenschutzmittelverbrauch	kg	0,004	0,0005

Tabelle 55 zeigt die Ressourcenverbräuche der beiden Tomatenkulturen 2011 und 2012 der Abteilung 2. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Abteilung 1. Die Tomatenkultur 2012 stellt eine höhere Ressourceneffizienz dar.

Tabelle 55: Vergleich des Ressourcenverbrauches pro kg Tomate der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 2)

<b>Ressource</b>	<b>Einheit</b>	<b>Tomatenkultur 2011</b>	<b>Tomatenkultur 2012</b>
Wasserverbrauch	l	67,0	37,0
Elektroenergieverbrauch	kWh	0,7	0,4
Heizmaterialverbrauch	kg	2,5	1,4
Düngemittelverbrauch	l	0,1	0,1
Pflanzenschutzmittelverbrauch	kg	0,004	0,0009

In Abteilung 3 konnte bei allen Ressourcen die Effizienz deutlich verbessert werden. Auch beim Heizmaterial ist in der Tomatenkultur 2012 mit 0,8 kg/kg ein deutlich geringerer Einsatz gegenüber der Tomatenkultur 2011 mit 2,2 kg/kg nötig (vgl. Tabelle 56).

Tabelle 56: Vergleich des Ressourcenverbrauches der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 3)

<b>Ressource</b>	<b>Einheit</b>	<b>Tomatenkultur 2011</b>	<b>Tomatenkultur 2012</b>
Wasserverbrauch	l/kg	64,0	26,0
Elektroenergieverbrauch	kWh/kg	0,6	0,3
Heizmaterialverbrauch	kg/kg	2,2	0,8
Düngemittelverbrauch	l/kg	0,10	0,04
Pflanzenschutzmittelverbrauch	kg/kg	0,007	0,0005

### 5.4.2 CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Bei der Bewertung der Ressourcenverbräuche in Abteilung 1 in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Äquivalente zeigt sich deutlich, dass trotz der längeren Kulturdauer weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro 1 Kilogramm Tomate emittiert wurden. In der Tomatenkultur 2012 wurden 0,4 kg weniger emittiert wie in der Tomatenkultur 2011 (vgl. Tabelle 57).

Tabelle 57: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 1)

CO <sub>2</sub> -Äquivalent der Ressource	Einheit	Tomatenkultur 2011	Tomatenkultur 2012
Wasser	kg/kg	0,02	0,01
Elektroenergie	kg/kg	0,5	0,3
Heizmaterial	kg/kg	0,4	0,2
Düngemittel	kg/kg	0,0005	0,0002
Pflanzenschutzmittel	kg/kg	0,01	0,006
Gesamt	kg/kg	0,9	0,5

Tabelle 58 zeigt ebenfalls diesen Unterschied, wenn auch nicht mehr so deutlich. So sind bei der Tomatenkultur 2012 0,3 kg weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert wurden als bei der Tomatenkultur 2011.

Tabelle 58: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kg Tomate der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 2)

CO <sub>2</sub> -Äquivalent der Ressource	Einheit	Tomatenkultur 2011	Tomatenkultur 2012
Wasser	kg/kg	0,02	0,01
Elektroenergie	kg/kg	0,4	0,2
Heizmaterial	kg/kg	0,3	0,2
Düngemittel	kg/kg	0,0005	0,0003
Pflanzenschutzmittel	kg/kg	0,02	0,01
Gesamt	kg/kg	0,7	0,4

In Abteilung 3 wurden insgesamt am wenigsten CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert mit 0,7 kg (Tomatenkultur 2011) und 0,3 kg (Tomatenkultur 2012). Auch hier zeigt sich eine deutlich bessere Bilanz bei der Tomatenkultur 2012 (vgl. Tabelle 59).

Tabelle 59: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Tomatenkulturen 2011 und 2012 (Abteilung 3)

CO <sub>2</sub> -Äquivalent der Ressource	Einheit	Tomatenkultur 2011	Tomatenkultur 2012
Wasser	kg/kg	0,03	0,01
Elektroenergie	kg/kg	0,4	0,2
Heizmaterial	kg/kg	0,3	0,1
Düngemittel	kg/kg	0,0005	0,0002
Pflanzenschutzmittel	kg/kg	0,01	0,005
Gesamt	kg/kg	0,7	0,3

## 5.5 Vergleich der CO<sub>2</sub>-Äquivalente beim Einsatz von fossilen und erneuerbaren Energieträgern

Tabelle 60 stellt nochmals den Wärmebedarf der Tomatenkultur 2012 pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch dar. Für die weiteren Betrachtungen wird der erntemengenspezifische Wärmebedarf zugrunde gelegt.

Tabelle 60: Wärmemengen für den Vergleich von Heizmaterialien bei Tomate 2012 pro Abteilung, pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifisch

Funktionelle Einheit	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Gesamtverbrauch	kWh	43361,5	28032,8	24682,1
Verbrauch pro m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	125,7	79,0	71,5
Verbrauch pro kg	kWh/kg	8,50	6,77	4,01

Tabelle 61 zeigt unterschiedliche Möglichkeiten an Heizmaterialien und ihre Menge, um den notwendigen Wärmebedarf bereitzustellen. Der Elektroenergie wird hier als elektrische Heizmöglichkeit verstanden und stellt somit ein Heizmaterial dar. Im ZINEG Versuchsgewächshaus am Queckbrunnerhof wurden zur Erzeugung des Wärmebedarfs Holzpellets als Heizmaterial verwendet.

Tabelle 61: Menge an Heizmaterial für die Produktion von einem Kilogramm Tomate in 2012

Heizmaterial	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Holz	kg	2,9	2,3	1,4
Holzpellets	kg	1,7	1,4	0,8
Heizöl	l	0,9	0,7	0,4
Erdgas	m <sup>3</sup>	0,9	0,7	0,4
Elektroenergie	kWh	8,5	6,8	4,0

Tabelle 62 zeigt die jeweiligen CO<sub>2</sub>-Äquivalente der einzelnen Heizmaterialien, die emittiert werden bei der Erzeugung des benötigten Wärmebedarfes für die Tomatenkultur 2012. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent der erneuerbaren Energiequellen liegt zwischen 0,1 kg und 0,2 kg und ist damit deutlich niedriger als das der fossilen Brennstoffe. Bei der Erzeugung des benötigten Wärmebedarfes mit Elektroenergie wird am meisten CO<sub>2</sub>-Äquivalent emittiert. Beim Beheizen von Abteilung 1 (mit Elektroenergie) wird um den Faktor 49 mehr an CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgestoßen als beim Beheizen von Abteilung 3 mit Holz oder auch Holzpellets.

Tabelle 62: CO<sub>2</sub>-Äquivalente der verschiedenen Heizmaterialien für die Produktion von einem Kilogramm Tomate in 2012

Heizmaterial	Einheit	Abteilung 1	Abteilung 2	Abteilung 3
Holz	kg	0,2	0,1	0,1
Holzpellets	kg	0,2	0,2	0,1
Heizöl	kg	2,7	2,1	1,3
Erdgas	kg	2,2	1,7	1,0
Elektroenergie	kg	4,9	3,9	2,3

Abbildung 30 stellt die emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente der einzelnen Heizmaterialien in den einzelnen Abteilungen gegenüber, um ein Kilogramm Tomaten zu produzieren. Es werden nur die Heizmaterialien betrachtet, nicht aber die elektrischen Verbräuche der Heizungsanlagen miteinbezogen. Der Elektroenergie wird hier als Heizmaterial behandelt und stellt somit nicht das CO<sub>2</sub>-Äquivalent des Elektroenergieverbrauches dar.

Es zeigt sich, dass es beim Einsatz von fossilen Heizmaterialien (Heizöl, Erdgas und Elektroenergie) besonders wichtig ist, Maßnahmen umzusetzen, um den Wärmebedarf zu reduzieren. Dadurch, dass Abteilung 3 einen deutlich niedrigeren Wärmebedarf wie Abteilung 1 hat (bei gleichzeitig höherem Ernteertrag), kann das CO<sub>2</sub>-Äquivalent um fast zwei Drittel reduziert werden. Dieser Effekt reduziert sich deutlich beim Einsatz von erneuerbaren Heizmaterialien (Holz und Holzpellets). Durch den Einsatz von erneuerbaren Heizmaterialien lässt sich das CO<sub>2</sub>-Äquivalent gegenüber Heizöl um mehr als das 10-fache reduzieren.

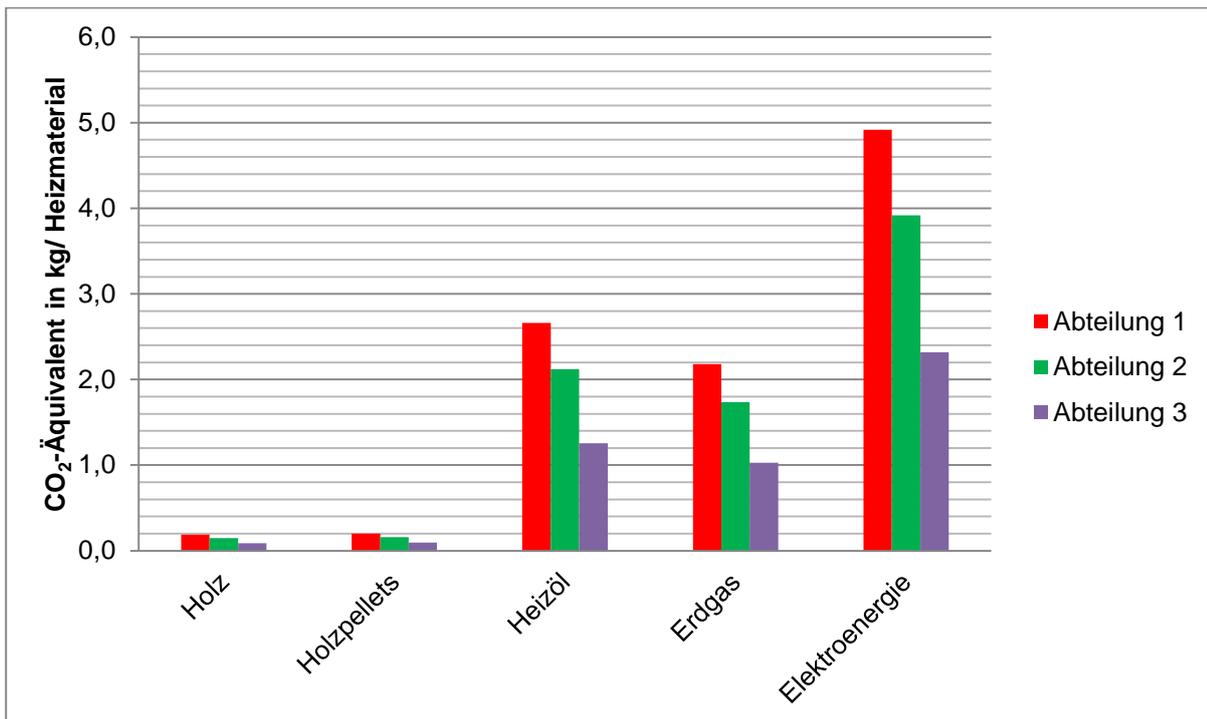


Abbildung 30: CO<sub>2</sub>-Äquivalent in kg für ein Kilogramm Tomaten

Es ist festzuhalten, dass beim Einsatz von fossilen Heizmaterialien Energieeinsparmaßnahmen von sehr großer Bedeutung sind, aber eine deutlich größere Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents durch den Einsatz von erneuerbaren Heizmaterialien erreicht wird.

Die Bereitstellung des Wärmebedarfes für das ZINEG Versuchsgewächshaus erfolgt am Queckbrunnerhof mit Holzpellets als Heizmaterial (vgl. 4.2). Durch den Einsatz dieses Heizmaterials ist es möglich, das CO<sub>2</sub>-Äquivalent deutlich zu reduzieren. Mit der Umsetzung einer optimalen Energieeinsparstrategie lässt sich das CO<sub>2</sub>-Äquivalent um weitere zwei Drittel reduzieren (Vergleich Abteilung 1 und 3). Dadurch kann dem Ziel einer Pflanzenproduktion im Gewächshaus bei minimalem Verbrauch fossiler Energie für die

Heizung und damit deutlich reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen vollständig Rechnung getragen werden.

## 6. Diskussion und Schlussfolgerungen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung gartenbaulicher Produktionsprozesse im Gewächshaus. Die Bewertung erfolgt hinsichtlich des Ressourcenverbrauches und der daraus entstehenden CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Als Hauptdatenquelle wird der Klimacomputer verwendet. Der Datentransfer erfolgt EDV-gestützt und automatisiert. Die ökologische Bewertung basiert auf dem Konzept der funktionellen Einheit. Somit wird der relative Bezug auf den Gesamtverbrauch, den Verbrauch pro m<sup>2</sup> und erntemengenspezifischer Verbrauch Produkt bzw. Stück bezogen. Die dokumentierten und ausgewerteten Daten kann der Gärtner als Input für weiterführende Auswertungen bzw. Anfragen seiner Kunden verwenden.

### 6.1 Datengrundlage und -erfassung

Unter dem Aspekt der geforderten ständigen Verbesserung eines Umweltmanagementsystems (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b), ist es sinnvoll, eine ökologische Bewertung hinsichtlich der Umweltaspekte durchzuführen, die der Gärtner als Betriebsleiter aktiv ändern bzw. verbessern kann. Allen voran gehört hierzu der Ressourcenverbrauch der Produktion.

Die Ressourcenverbräuche stellen einen variablen Datensatz dar, den es zu bewerten gilt. Gerade beim Energieverbrauch kann wetterbedingt der Verbrauch erheblich von einem Durchschnittswert abweichen und damit zu einer fehlerhaften Aussage führen. Um somit Aussagen über den Einsatz von Ressourcen der jeweiligen gartenbaulichen Produktion treffen zu können, ist ein aktueller Datenpool als Grundlage wichtig. Abhilfe kann hierbei die Verfügbarkeit eines Datenpools schaffen, der sich möglichst selbständig und zeitnah aktualisiert. Der Klimacomputer stellt die Hauptdatenquelle dar, nur wenige Daten müssen für den Datenpool für die ökologische Bewertung durch den Gärtner ergänzt werden. Vor allem die sich täglich veränderlichen Verbräuche werden zeitnah automatisch erfasst.

Grundsätzlich können Daten durch Messung, Berechnung und Schätzung für eine ökologische Bewertung erhoben werden (Verein Deutscher Ingenieure, 2001). Bisher werden Daten für ökologische Bewertungen oft durch Fragebögen an Betriebsleiter gewonnen (ECKERT und BREITSCHUH, 1997). Die erste Datenermittlung wird von 40 landwirtschaftlichen Betrieben in einem Pilotprojekt als überdurchschnittlich zeitaufwändig eingestuft (ECKSTEIN und HOFFMANN, 2007). Bei der Datengewinnung wird gleichzeitig ihre Verhältnismäßigkeit gefordert (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b). Jedoch ist die Verwendung von Literaturdaten oder erhobenen Daten aus Pilotprojekten ein probates Mittel. Hierbei ist die Übertragbarkeit der Daten und damit die Aussagekraft auf die einzelne Produktion im

jeweiligen Betrieb kritisch zu sehen. Beim PAS 2050 1 werden zum Beispiel für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente nur Durchschnittswerte verwendet.

Deswegen ist ein Datenpool, der sich ohne großen zusätzlichen Arbeitsaufwand für den Gärtner aktualisiert, aus Daten aus der laufenden Produktion eine gute Basis für eine Bewertung des Ressourcenverbrauches.

## 6.2 Bewertungsansatz

Der in dieser Arbeit vorgestellte Bewertungsansatz ist angelehnt an die Methodik der Umweltkennzahlen. Jedoch findet keine Beurteilung im eigentlichen Sinn in Form von „gut“ oder „schlecht“ statt. BAUERSACHS (2005) verzichtet bei seiner Dokumentation und Bewertung auch auf eine Beurteilung des dokumentierten gartenbaulichen Produktionsprozesses. Zudem gibt es keine Notenskala wie z.B. die Bonitornoten von den Kriterien der umweltverträglichen Landbewirtschaftung (KUL) (ECKERT und BREITSCHUH, 1997).

Die Bewertung des laufenden Produktionsprozesses findet hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der daraus entstandenen verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente statt. Somit ist der Scope der ökologischen Bewertung klar definiert.

Der Ressourcenverbrauch spiegelt eine Auswahl von Parametern wieder, die vom Gärtner aktiv geändert werden können und auf die er aktiv Einfluss nehmen kann. Grundsatz des Umweltmanagements ist, eine ständige Verbesserung zu erreichen, was durch eine zeitnahe Bewertung möglich ist. Aufgrund Lage dieses Bewertungsansatzes ist es dem Anwender möglich, seinen Produktionsprozess zu optimieren.

Die Bewertung soll es dem Anwender erleichtern, selbst die Ressourceneffizienz zu beurteilen, indem neben dem absoluten Wert durch die Bildung von relativen Bezügen eine Einordnung und ein Vergleich des Ergebnisses ermöglicht werden.

Der relative Bezug wird durch die funktionelle Einheit pro m<sup>2</sup>, erntemengenspezifischer Verbrauch oder pro Stück beschrieben. Dadurch können Aussagen über die Effizienz einer Produktion getroffen und auch ein Vergleich durchgeführt werden. Auch bei dem Bewertungsansatz MIPS steht eine Bewertung der Ökoeffizienz im Vordergrund (MÜLLER CHRIST, 2001).

Nach SCHMIDT-BLEEK (2004) stellt der Materialinput pro Serviceeinheit, multipliziert mit der benötigten Menge, den „ökologischen Rucksack“ dar. Die Verteilung des Ressourcenverbrauches bezogen auf die Produkteinheit ein Kilogramm geerntetes Produkt wurde durch einen Kulturversuch am Beispiel der Tomatenpflanze erarbeitet. Das Ergebnis des durchgeführten Versuchs zeigt, dass eine gleichmäßige Verteilung gerechtfertigt und

sinnvoll ist. Eine relativ gleichmäßige Reifung von Tomatenfrüchten im Jahresgang fand auch HEUVELINK (2005) heraus. HEUVELINK (2005) zeigt eine Abhängigkeit der Reifung von Tomatenfrüchten in Bezug auf Temperatur und Lichtangebot. Diese Berechnungsmethodik wird bereits in einer Vielzahl von Studien angewandt (THEURL, 2008). HOEKSTRA et al. (2003) verteilt auch den Verbrauch an Ressourcen beispielsweise bei einem Baum, an dem nach sechs Jahren geerntet wird, auf die gesamte generative und vegetative Phase des Baumes. Es ist somit sinnvoll, anerkannt und vor allem praktisch handhabbar die einzelnen Ressourcenverbräuche in ihrer Art und Menge gleichmäßig auf die gesamte zu erwartende Tomatenernte zu verteilen.

Bei der Betrachtung der Bewertung zu einem Zeitpunkt innerhalb des Produktionszeitraums ist zu beachten, dass für die Berechnung die zu erwartende Gesamterntemenge zugrunde gelegt wird. Damit ist in dem Bewertungsansatz bei der Betrachtung innerhalb eines noch nicht abgeschlossen Produktionszykluses eine Unsicherheit vorhanden, die es bei der Rückschau auf einen bereits beendeten Produktionszeitraum nicht gibt.

Im Folgenden wird die Bewertungsmethodik der einzelnen Ressourcenverbräuche diskutiert.

### **Wasserverbrauch**

Es wird die aktuelle Menge an Wasser flächen- und produktspezifisch erfasst. Damit kann eine grundsätzliche Aussage über die Effizienz des Wassereinsatzes getroffen werden. Der Gärtner kann Schwachstellen bei der Bewässerung innerhalb einer laufenden Produktion erkennen. Durch eine vergleichende Gegenüberstellung des Verbrauchs an Wasser bei gleichen Kulturen kann der Gärtner Rückschlüsse auf eventuelle Optimierungsmöglichkeiten ziehen.

### **Elektroenergieverbrauch**

Der Elektroenergieverbrauch wird aus den gemessenen Daten der Regelungstechnik berechnet. Die Ermittlung für eine Abteilung basiert auf dem Verbrauch der Abteilung selbst und dem anteiligen Verbrauch, den die Heizungsanlage benötigt, um den Wärmebedarf der jeweiligen Abteilung zu stellen. Der Elektroenergieverbrauch der Heizungsanlage wird prozentual verteilt. Es findet aber keine Aufschlüsselung in fixe und variable Elektroenergieverbräuche der Heizungsanlage statt.

Durch die Bildung eines relativen Verhältnisses zwischen Gesamtverbrauch und Produktmenge können Aussagen über die Effizienz des Verbrauches an Elektroenergie und damit der Energieeffizienz getroffen werden. Durch die Berechnung des Verbrauches an Elektroenergie stehen dem Gärtner in der laufenden Produktion aktuelle flächen- und

produktbezogene Wert für sein Umweltmanagement zur Verfügung. Durch die Installation eines Elektroenergiezählers im Gewächshaus ist es dem Gärtner möglich, auf sehr einfache und arbeitszeitsparende Weise Daten für sein Umweltmanagement zu gewinnen.

### **Heizmaterialverbrauch**

Durch die Wärmemengenmessung im Gewächshaus können auf unkomplizierte Weise Daten gewonnen werden, aus denen sich der Heizmaterialverbrauch berechnen lässt. Ein Problem hierbei ist, dass der Jahreswirkungsgrad des Heizungskessels, der sich aus dem Kesselverlust, dem Leistungsverlust und den Stillstandverlusten zusammenfasst, nicht erfasst wird. Da Annahmen dieses Wertes einen breiten Spielraum bieten und damit zu nicht definierbaren Unsicherheiten führen, wird er daher nicht in die Berechnung des Wärmebedarfes bzw. des Heizmaterialverbrauches miteinbezogen. Bei einer vergleichenden Betrachtung mit Werten aus anderen Arbeiten ist dieser Sachverhalt zu beachten. Gegebenenfalls kann der Heizmaterialverbrauch um den Jahreswirkungsgrad ergänzt werden.

Insgesamt stellt der Heizmaterialverbrauch durch die Berechnung in relativen Bezügen eine gute Basis dar, um Aussagen über die Energieeffizienz treffen zu können. Auch als Dateninput für die Umweltbilanz ist er wichtig.

### **Düngemittelverbrauch**

Der Düngemittelverbrauch wird mengenmäßig in Litern dokumentiert und durch einen relativen Bezug, der funktionellen Einheit, bewertet. In anderen Studien liegt der Schwerpunkt oft beim Wechselspiel zwischen Pflanze, Dünger und Boden. Beispielsweise wird der N-Haushalt und vor allem die N-Flüsse des Bodens modelliert, um Aussagen über die Wirkungsweise des Düngemittels treffen zu können (Küstermann et al., 2009). Hülsenbergen (2003) implementierte ein eigenes Modul für die Betrachtung des Stickstoffhaushaltes und seiner Auswirkungen in REPRO. Auch betrachte Hülsbergen et al., (2002) in einem Langzeitexperiment die Auswirkungen von Stickstoffgaben.

Die mengenmäßige Dokumentation ist nötig, um Daten für weiterführende Beurteilungen zur Verfügung zu haben. Die erfassten Werte sind auch wichtig als Grundlage bei der weiterführenden Berechnung des verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalents.

### **Pflanzenschutzmittelverbrauch**

Auch beim Pflanzenschutzmittelverbrauch wird die Menge der Ausbringung erfasst. Die Dokumentation ist mit einem Spritzmitteltagebuch zu vergleichen. Zusätzlich ist durch die funktionelle Einheit eine vergleichende Betrachtung für den Gärtner möglich. Die gewonnenen Werte des Pflanzenschutzmittelverbrauches sind als Hilfsmittel für eine weitergehende

Betrachtung geeignet. Für die Berechnung der verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ist der Verbrauch ebenfalls sehr wichtig, da der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktor von Pflanzenschutzmitteln mit 12,3 kg/kg (PROBAS, 2012) als hoch einzustufen ist. Allerdings sind die ausgebrachten Menge an Pflanzenschutzmitteln sehr gering.

### **Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

Das verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalent stellt einen Wert dar, den der Gärtner durch aktives Managen seiner Produktion selbst positiv verbessern kann. Bei einer Betrachtung wie sie z.B. bei einer Ökobilanzierung über den gesamten Lebensweg gartenbaulicher Produkte gefordert wird (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009a), gibt es viele Restriktionen, auf die der Gärtner keinen Einfluss hat. So hat er beim Kauf auf die CO<sub>2</sub>-Äquivalente eines Gewächshauses oder der Maschinen nur eine geringe Einflussmöglichkeit. Eine Dokumentation von Daten macht allerdings nur Sinn, wenn sich daraus für den Gärtner ein Nutzen in Form von Handlungsspielraum und Kommunikationsmöglichkeiten ergibt.

Im PAS 2050 1 (2012) zeigt sich, dass die Energieressourcen (Elektroenergie und Bereitstellung des Wärmebedarfs) das CO<sub>2</sub>-Äquivalent bestimmen. Düngemittel sind nahezu zu vernachlässigen, vor allem bei Organischen Düngern wie Vinasse, das ein Abfallprodukt darstellt. Die aus der Literatur (hauptsächlich (GEMIS, 2010) und (PROBAS, 2012)) entnommenen CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren beeinflussen die berechneten CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Für diese Werte gibt es auch noch andere Quellen, z.B. eco invent. Durch unterschiedliche Berechnungsmethoden und CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktoren ergibt sich eine gewisse Varianz der Werte je nach verwendeter Quelle. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente kann der Gärtner nutzen, um sein eigenes Umweltmanagement voranzutreiben und zu verbessern.

In der Literatur ist eine Vielzahl von methodischen Ansätzen beschrieben (vgl. Kapitel 2.2 und 2.3). Grundsätzliches Ziel ist es, Informationen zur Nachhaltigkeit einer Produktion zu gewinnen. Zumeist geben die gängigen Bewertungsansätze Auskunft in Form einer Rückschau auf die bereits durchgeführte Produktion. Ein aktives Eingreifen ist nicht mehr möglich, um eventuelles Missmanagement zu berichtigen.

Zusammenfassend zielt der Bewertungsansatz nicht darauf ab, die Produktion hinsichtlich „gut“ oder „schlecht“ zu bewerten. Dieser Bewertungsansatz ist kritisch zu sehen, da sich gezeigt hat, was in der Vergangenheit als „gut“ eingestuft wird, ist heute nicht mehr der Norm entsprechend und wird damit als „schlecht“ eingestuft. Vielmehr gibt der in dieser Arbeit vorgestellte Bewertungsansatz durch die Darstellung des Ressourcenverbrauches in

relativen Verhältnissen (hier funktionelle Einheit) dem Gärtner die Möglichkeit, die produktionstechnischen Rahmenbedingungen zu vergleichen und diese gegebenenfalls selbst aktiv zu ändern, und dadurch den Kernpunkt eines Umweltmanagementsystems, „das ständige Verbessern“ (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b) innerhalb seiner betrieblichen Möglichkeiten voranzutreiben und damit zu einer ressourceneffizienten Produktion im Gewächshaus beizutragen.

### **6.3 Vollständigkeit**

Ziel dieser Arbeit ist es, durch eine möglichst automatische Dokumentation des Produktionsprozesses Daten zu gewinnen und diese hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente zu bewerten. Es findet keine ökologische Bewertung des gesamten Lebenswegs eines gartenbaulichen Produktes im Sinne einer Ökobilanzierung statt. Im Mittelpunkt standen hingegen die Erfassung und Bewertung der Ressourcenverbräuche. Grundsätzlich kann bei den Anforderungen einer ökologischen Bewertung zwischen einem umfassenden und partiellen Bewertungsverfahren unterschieden werden (BUNDESUMWELTMINISTERIUM UND BUNDESUMWELTAMT, 2001). Die Wirkungsgrenzen, innerhalb der eine Bewertung durchgeführt wird, werden vorab definiert. Auch beim PAS 2050 und 2050 1 ist die klare Definition des Scopes von zentraler Bedeutung. Bei der Ökobilanzierung (Deutsches Institut für Normung, 2009a) stellt die Festlegung der Systemgrenzen bei der Beschreibung des Untersuchungsrahmen ebenfalls einen wichtigen Bestandteil dar. Dokumentation und Bewertung der Verbräuche, die während eines Produktionszyklus innerhalb des Gewächshauses anfallen, stellen hier die Systemgrenzen dar. Damit wurde der Scope für die vorliegende Arbeit klar definiert. Auch der Ressourcenverbrauch hat bei der Bewertung der Nachhaltigkeit einen wichtigen Stellenwert (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2006). Vor allem die effiziente Nutzung von Energieträgern muss betrachtet werden (Verein Deutscher Ingenieure, 2012). So stellte ALZINGER (2002) fest, dass für den Gartenbau vor allem Wasser- und Energieverbrauch betrachtet werden müssen.

In der Wissenschaft wird häufig eine Problemstellung in einer vollständigen Herangehensweise und Betrachtung angegangen. Auch eine allumfassende Abbildung und Bewertung der Nachhaltigkeit eines Systems wird häufig gefordert. Allerdings gilt es auch den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu beachten (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b). Nach BERG (2003) ist die von der Wissenschaft geforderte Vollständigkeit mit einem hohen Zeitaufwand verbunden und damit für den Einsatz in der Praxis uninteressant, weil sie zu einem praktischen Anwendungsproblem führen kann. BAUERSACHS (2005) modifizierte in seiner Arbeit den Begriff Vollständigkeit zum Verb vervollständigen. Dieser weiterführende

Ansatz der Erweiterbarkeit eines bestehenden Dokumentations- und Bewertungssystems entspricht auch dem Gedanken der ständigen Verbesserung des allgemeinen Umweltmanagementsystems (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2009b).

Das umgesetzte Konzept berücksichtigt zum jetzigen Zeitpunkt nur die Ressourcenverbräuche und ihre verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, aber eine Erweiterung hinsichtlich anderer Aspekte der ökologischen Bewertung ist jederzeit möglich. Die dokumentierten und bewerteten Daten werden auch als Dateninput für weiterführende Bewertungen bereitgestellt.

#### **6.4 Aussagekraft und Übertragbarkeit der Fallbeispiele**

Die durchgeführte Prozessdokumentation wird an den Fallbeispielen im Folgenden diskutiert. Das bewertete Gemüse ist in einem Versuchsgewächshaus produziert worden. Die Produktionsbedingungen entsprechen damit aus versuchstechnischen Gründen nicht den üblichen produktionstechnischen Rahmenbedingungen in der gartenbaulichen Praxis. Damit stellen die durch die Prozessdokumentation berechneten Werte bei den drei Kulturen Salat 2010, Tomate 2011 und Tomate 2012 keine Normzahlen für Verbräuche und Emissionen dar. In diesem Gewächshaus wurden zeitgleich auch andere wissenschaftliche Fragestellungen, vor allem hinsichtlich des Wärmeverbrauches der unterschiedlich ausgestatteten Abteilungen, untersucht. Die ermittelten Daten können als Größenordnung und als Hilfsmittel für eine weiterführende Beurteilung herangezogen werden, es muss aber immer die jeweilige Versuchssituation und Anbauweise berücksichtigt werden.

Die Fallbeispiele „Salat 2010“ und „Tomate 2011“ stellen Vorversuche dar, an denen die Funktionalität der EDV-gestützten Dokumentation und ökologischen Bewertung iterativ erarbeitet wurde. Die „Tomate 2012“ kommt den Produktionsbedingungen der gartenbaulichen Praxis am nächsten. Die aufgezeichneten und bewerteten Daten stellen eine Chronik der Produktion dar. Die Richtigkeit der Dokumentation und der Bewertung zeigt sich durch die Größenordnung des Ergebnisses.

Der interne Vergleich der beiden Tomatenkulturen 2011 und 2012 zeigt klar, dass die Tomatenkultur 2012 eine höhere Ressourceneffizienz und weniger verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente aufweist. Durch die Prozessdokumentation kann dargestellt werden, dass die Tomatenproduktion 2012 ökologisch besser zu bewerten ist als die Tomatenproduktion 2011. Dies kommt zustande, weil die Tomatenkultur 2012 eine längere Kulturdauer hat als die Tomatenkultur 2011 und dadurch deutlich mehr geerntet wurde (2011: Abteilung 3 2749 kg und 2012: Abteilung 3 6156 kg). Weiterhin wurden bei der Tomatenkultur 2012 energiesparende technische Maßnahmen (z.B. Erhöhung der relativen Feuchte von 75 %

(2011) auf 85 % (2012)) umgesetzt, die den Verbrauch an Heizmaterial minimiert haben. Auch Theurl (2008) zeigt auf, dass sich das CO<sub>2</sub>-Äquivalent mit steigendem Ertrag verringert und damit verbessert.

Bei der Gegenüberstellung fossiler und erneuerbaren Heizmaterialien zeigt sich, dass eine deutlichere Minimierung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern möglich ist. Die im ZINEG Gewächshaus eingesetzten Holzpellets tragen somit wesentlich dazu bei die CO<sub>2</sub>-Äquivalente zu minimieren. Allerdings gilt es zu beachten, dass dann das CO<sub>2</sub>-Äquivalent des Elektroenergieverbrauches prozentual eine wichtigere Rolle spielt. So bestimmt der Elektroenergieverbrauch das CO<sub>2</sub>-Äquivalent des ZINEG Gewächshaus mit über 50 %. Der Elektroenergieverbrauch aus regenerativen Energieträgern ist hier die nächste Stellschraube, mit der das CO<sub>2</sub>-Äquivalent weiter minimiert werden kann.

Das Fallbeispiel „Tomate 2012“ weist die längste Kulturperiode und auch einen deutlich höheren Ertrag wie die „Tomate 2011“ auf (ZINEG Gewächshaus, Gesamtertrag 2011: 7300 kg, 2012: 15400 kg). Die „Tomate 2012“ stellt die Produktion dar, die den Rahmenbedingungen der Praxis am nächsten kommt. Deswegen wird dieses Fallbeispiel für die weiterführende Diskussion herausgegriffen. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse mit der einschlägigen Literatur erweist sich als schwierig, aber eine Einordnung der ermittelten Werte des Fallbeispiels „Tomate 2012“ wird im Folgenden vorgenommen.

### **Wasserverbrauch**

Nach PEET (2005) liegt der aufsummierte Wasserverbrauch einer von KW 1-51 bestehenden Tomatenkultur bei 1000 l pro m<sup>2</sup>. Bei einem durchschnittlichen Wasserverbrauch von rund 450 l pro m<sup>2</sup> wurde im ZINEG Gewächshaus deutlich weniger Wasser verbraucht. Diesem Umstand ist dadurch Rechnung zu tragen, dass einerseits die Kulturzeit deutlich kürzer war und andererseits bezogen auf den Quadratmeter weniger Tomatenpflanzen angebaut wurden. Der Wasserverbrauch wird aber auch durch die Anzahl an Tomatenpflanzen bestimmt (PEET, 2005). OMFRA (2003) beziffert den Wasserverbrauch einer Tomatenpflanze mit zwei bis drei Liter (an einem Tag mit hoher Lichtintensität). Unter diesem Aspekt wäre ein Wasserverbrauch von 650 l bis 1000 l zu erwarten gewesen.

Der erntemengenspezifische Wasserverbrauch wird nach STAGHELLINI et al. (2003) von Klimacomputern gesteuerten Gewächshäusern in den Niederlanden mit 22 l angegeben. Diese Werte sind auf eine Substratkultur zu beziehen. Im ZINEG Gewächshaus lagen die Werte zwischen 26 und 37 l. Die Tomatenkulturen wurden direkt in der Erde kultiviert.

### **Elektroenergieverbrauch**

Der Elektroenergieverbrauch im ZINEG Gewächshaus liegt zwischen 4,7 und 6,9 kWh pro m<sup>2</sup> und Kulturdauer. Die AEL (2003) ermittelte einen Elektroenergiebedarf zwischen 4,3 bis 7,5 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr je nach Kultur und Ausstattung des Gewächshauses. HIEKE (2003) berechnete einen durchschnittlichen Elektroenergieverbrauch ohne Assimilationslicht von 6,6 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr. Damit decken sich die Werte des ZINEG Gewächshauses mit der einschlägigen Literatur.

### **Heizmaterialverbrauch**

Schneider (2004) berechnete für eine 18°C Kultur am Standort Freising auf Grundlage von Klimacomputerdaten aus dem Jahr 2000 exemplarisch 1085 kWh/m<sup>2</sup> für ein Gewächshaus ohne Energieschirm und 513 kWh/m<sup>2</sup> für ein Gewächshaus mit Energieschirm. STETTNER (2001) beziffert den Energieverbrauch mit rund 870 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr. In den drei Abteilungen des ZINEG Gewächshauses wurden pro Kulturdauer Werte von rund 70 kWh/m<sup>2</sup> bis 130 kWh/m<sup>2</sup> erfasst und berechnet. Diese sehr geringen Werte sind unter dem Aspekt einzuordnen, dass das Kernziel des Projektes eine möglichst energiesparende Produktionsweise war, die durch bautechnische Maßnahmen im Gewächshaus erreicht wurden. Die Prozessdokumentation zeigt auf, dass dieses übergeordnete Ziel klar und deutlich erreicht wurde.

### **Düngemittelverbrauch**

Die Auswertung des Düngemittels Vinasse in Litern gibt Auskunft über die Menge an Düngemitteln. Die Ausbringungsmenge an Vinasse ist sehr variabel und hängt vom Stickstoffanteil des organischen Düngers ab. PEET (2005) gibt Auskunft z.B. über die Düngung von Tomatenpflanzen in kg N pro ha. Die hier aufgeführte mengenmäßige Dokumentation ist wichtig für die weiterführende Berechnung des verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalents.

### **Pflanzenschutzmittelverbrauch**

Der Pflanzenschutzmittelverbrauch wird ebenfalls mengenmäßig erfasst. Je nach Art der Anwendung in Litern oder Kilogramm. Es werden keine Konzentrationsangaben integriert, wobei die Wirkungskonzentration und die Anwendung angegeben sind. Ein direkter Vergleich ist schwierig, da die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln keine Standardmaßnahme ist, sondern nach Bedarf angewandt wird. Auch ein großes Portfolio an unterschiedlichen Produkten ist vorhanden. Je nach Produktionsrichtlinie und persönlicher Präferenz können unterschiedliche Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kommen. Um auch eine vergleichende Beurteilung der Werte durchführen zu können, müsste der

Gesundheitszustand der Tomatenpflanze bekannt sein. Allerdings ist die hier aufgeführte mengenmäßige Dokumentation wichtig für die weiterführende Berechnung des verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalents.

### **Verbrauchsgebundene CO<sub>2</sub>-Äquivalente**

Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent wird bezogen auf das ganze Gewächshaus oder auf eine Produktionseinheit, beispielsweise ein Kilogramm Tomate. Bei der Darstellung hinsichtlich der Produkteinheit wird das CO<sub>2</sub>-Äquivalent hauptsächlich durch die Erntemenge bestimmt. Eine hohe Produktivität verbessert den Product Carbon Footprint. Nach Theurl (2008) kann bei einer gesamteinheitlichen Betrachtung von 1,4 kg CO<sub>2</sub> pro Kilogramm an Tomate (bei einer Produktion in Österreich) ausgegangen werden. Im PAS 2050 1 (2012) werden Werte zwischen 0,3 kg und 4,7 kg pro Kilogramm an produziertem Gemüse angegeben. Die in dieser Arbeit ermittelten Werte des verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalents belaufen sich auf 0,5 kg (Abteilung 1), 0,4 kg (Abteilung 2) und 0,3 kg (Abteilung 3). Ein Vergleich der Werte ist schwierig, da in jeder Arbeit die Systemgrenzen unterschiedlich gesetzt werden können und damit unterschiedliche Emissionsfaktoren einbezogen werden. Insgesamt ist festzuhalten, dass eine hohe Produktivität mit einer damit verbundenen hohen verkaufsfähigen Erntemenge das CO<sub>2</sub>-Äquivalent bezogen auf das Kilogramm Tomate verbessert.

Abschließend zeigt sich, dass die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung der Ressourcenmenge vor allem sinnvoll und aussagekräftig ist bei Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial und dem verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Es entsteht für den Gärtner ein Nutzen, da er Aussagen über die Ressourceneffizienz bei seiner Produktion treffen kann. Bei den Ressourcen Düngemittel und Pflanzenschutzmittel ist die Aussagekraft der dokumentierten Ausbringungsmenge kritisch zu betrachten. Eine Beurteilung hinsichtlich des schonenden Umgangs erfolgt nach den relevanten Auswirkungen der Wirksubstanzen und deren komplexem Zusammenspiel zwischen Pflanze, Boden und Umwelt und nicht nach der absoluten Ausbringungsmenge. Allerdings ist eine Mengenangabe des eingesetzten Düngemittels und Pflanzenschutzmittels für weiterführende Betrachtungen des CO<sub>2</sub>-Äquivalents von Bedeutung.

## 6.5 Anwendbarkeit

Kernpunkt der Datenerfassung ist die Nutzung der Regelungstechnik als Hauptdatenquelle, so dass nur wenige zusätzliche Dateneingaben des Gärtners nötig sind. Technische Voraussetzung ist eine automatisierte Regelungstechnik (Klimacomputer) in einem Gewächshaus. Ohne eine solche Anlage ist die Grundlage der EDV-gestützten Dokumentation nicht vorhanden, da die Messung und Speicherung der Rohdaten durch ein solches System verwaltet wird. Der automatisierte Datentransfer mit dem Klimacomputer benötigt die hinterlegte Adressenliste der einzelnen gemessenen und gespeicherten Größen und die Zugriffsrechte auf die jeweilige Datenbank. Hier zeigt sich eine gewisse Zurückhaltung bei der Freigabe von erweiterten Kompetenzen durch die Hersteller.

Gerade die an den Fallbeispielen durchgeführte manuelle Datendokumentation bei Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln ist kritisch zu bewerten. Handschriftliche Dokumentation kann zu Fehlern führen, die eine automatisch hinterlegte Bewertung nahezu unmöglich bzw. fehlerhaft machen. Dieser Problematik kann effektiv entgegengewirkt werden, wenn die manuelle Dokumentation, z.B. bei Düngemittel, mit in die Regelungstechnik integriert wird oder direkt in die EDV-gestützte Prozessdokumentation eingebunden wird.

Die ökologische Bewertung selbst ist statisch und basiert auf dem Konzept der funktionellen Einheit. Grundsätzlich erfolgt die Bewertung hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der CO<sub>2</sub>-Äquivalente, die durch den Ressourcenverbrauch emittiert werden.

Das Konzept wurde an den drei Fallbeispielen „Salat 2010“, „Tomate 2011“ und „Tomate 2012“ iterativ in Form eines Prototyps erarbeitet. Dieser stellt allerdings keine fertige Anwendungssoftware dar, die beliebig in jedem gartenbaulichen Betrieb eingesetzt werden kann. Es ist allerdings vorstellbar, das umgesetzte Konzept in einer Anwendersoftware zu implementieren.

Die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung gartenbaulicher Produktionsprozesse im Gewächshaus stellt für den Gärtner eine Möglichkeit dar, seine Produktionsprozesse zu vergleichen und zu optimieren. Aufgrund Lage von aktuellen Daten aus der laufenden Produktion kann der Gärtner die Ressourceneffizienz verbessern. Somit kann die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung als arbeitssparendes Hilfsmittel bei der Bearbeitung der Aufgaben im Rahmen des Umweltmanagementsystems gesehen werden.

Für 37 % der Unternehmen zählt sich die Nachhaltigkeit finanziell aus. Zwei Erfolgsfaktoren, die hierbei eine besonders wichtige Rolle spielen, sind die Prüfung der Nachhaltigkeitsleistung und die Auseinandersetzung mit den ökologisch-sozialen Ansprüchen der Kundengruppen (WIEDEMANN, 2013).

Gerade für Unternehmen, die mit den Schlagwörtern „Regionalität“ und „Öko“ ihre Marketingstrategie unterstützen, ist eine umfassende Dokumentation und Kommunikation des Nachhaltigen Wirtschaftens wichtig. Als Beispiel kann hier der Unternehmensverband Hofpfisterei aufgeführt werden. Dieser ließ sich nach EMAS zertifizieren und veröffentlichte 2010 seine Umwelterklärung. In dieser werden alle relevanten Kennzahlen der Ökobilanz, beispielsweise der Wasser- und Energieverbrauch sowie die emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente, dargestellt (UNTERNEHMENSVERBUND HOPPFISTEREI, 2011).

Aber auch große Unternehmen wie ALDI NORD stellen immer mehr Hintergrundinformationen zu ihren Produkten ihren Kunden zur Verfügung. Als Beispiel ist der „Produktausweis“ zu Fischprodukten zu nennen. Hierbei kann sich der Kunde direkt beim Einkauf durch die Verpackungshinweise über das Produkt, seine Herkunft und die Art des Fischfangs informieren (ALDI NORD, 2013).

Auch REWE beschäftigt sich in dem Positionspapier „Damit die Energiewende gelingt: Planbarkeit und Gerechtigkeit schaffen“ mit dem Thema Nachhaltigkeit. Vor allem die Themen der effizienten Nutzung von Energie, die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und die Schonung der Ressourcen sind Kernthemen, mit denen sich die REWE GROUP beschäftigt und darüber Informationen bereitstellt (REWE GROUP 2013).

Als marktrelevante Zertifizierungssysteme für die Erzeugung von Obst und Gemüse gelten EUREPGAP (ist ersetzt worden durch GLOBAL GAP (Strissel, 2013)) und Qualität und Sicherheit (QS). GLOBAL GAP bedeutet GLOBAL Good Agricultural Practice und strebt als weltweiter Standard auch den effizienten und effektiven Einsatz von internen Ressourcen an (GLOBALG.A.P, 2009). Diese Zertifizierungssysteme wurden bezüglich ihrer Anforderungen von der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft untersucht. Die Themenfelder beider Systeme gleichen sich und sind an nationale und europäische Rechtsvorschriften angelehnt (SCHLOSSBERGER und BAUER, 2013). 2011 beteiligten sich 9000 Obst- und Gemüsebaubetriebe am QS-System (KAMPHAUSEN, 2011), was die Bedeutung solcher Zertifizierungssysteme zeigt. Bei ALDI SÜD wird GLOBAL GAP als Standard bei Obst und Gemüse gefordert (ALDI SÜD, 2013). Innerhalb von Pilotprojekten werden zahlreiche weitere Produktionsparameter erhoben, wie beispielsweise auch der Energieverbrauch oder die CO<sub>2</sub>-Äquivalente einer Produktion. Im Tagesgeschäft findet dies allerdings keinen Eingang (Strissel, 2013).

Es wird somit für den Gärtner fortwährend ein bedeutenderes Verkaufskriterium, Daten hinsichtlich des Produktionsprozesses in schneller Form zur Verfügung stellen zu können. Eine kundenorientierte Kommunikation hinsichtlich des schonenden Umgangs mit Ressourcen kann somit für den Gartenbaubetrieb einen Mehrwert haben. Hierbei kann die Prozessdokumentation als Schnittstelle zwischen dem Produktionsprozess im Gewächshaus und der Anfrage des Kunden fungieren. Die gewonnenen Daten können als Dateninput für Anfragen und weitere Bewertungsansätze verwendet werden. Die dokumentierten und ausgewerteten Informationen können beispielsweise in Form eines Produktpasses, der die Art und Weise einer gartenbaulichen Produktion im Gewächshaus darstellt, verwendet werden.

## 7. Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist das Interesse der Verbraucher an Informationen über die Produktion von Lebensmitteln gewachsen. Diese Entwicklung ist auch im Gartenbau angekommen. Allerdings stellt gerade die Datenerfassung einen hohen finanziellen Aufwand für das landwirtschaftliche bzw. gartenbauliche Unternehmen dar. Aus diesem Grund werden für viele weitergehende ökologische Bewertungen und Vergleiche Durchschnittsdaten bzw. Literaturdaten verwendet, die allerdings nicht die tatsächliche Situation des Betriebes oder des produzierten Produktes darstellen können. Vor allem bei sehr variablen Größen, wie beispielsweise den Ressourcenverbräuchen im Gewächshaus, kann eine zeitnahe Dokumentation der tatsächlichen Verbräuche einen Mehrwert für weitergehende Bewertungen schaffen.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Methoden, um die Nachhaltigkeit eines Produktionssystems zu bewerten. Für die Landwirtschaft und den Gartenbau entstanden gerade in den letzten Jahren zahlreiche Umweltbewertungsansätze auch in Form von Computerprogrammen. Die Mehrzahl der Methoden beschäftigt sich mit der Auswertung bzw. Bewertung und Beurteilung des Nachhaltigen Wirtschaftens. Eine solide Datenbasis wird meist vorausgesetzt bzw. gefordert. So werden die Daten meist durch Fragebögen erhoben, oder müssen von den Betriebsleitern vorab bereitgestellt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer EDV-gestützten Dokumentation und ökologischen Bewertung von Ressourcenverbräuchen gartenbaulicher Produktionsprozesse im Gewächshaus. Dadurch können die Verbräuche von Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel für die jeweilige Produktion zeitnah erfasst und produktbezogen bewertet werden. Dazu gehört auch das CO<sub>2</sub>-Äquivalent, welches durch den Einsatz der genannten Ressourcen entstanden ist. Hauptgewinner dieser EDV-gestützten Dokumentation und Bewertung ist der Gärtner, der dadurch Informationen über seinen Produktionsprozess auf einfache und zeitsparende Weise gewinnen kann, wodurch er Anfragen seiner Kunden bezüglich seiner Produktion besser begegnen kann.

Die vorgestellte Zielsetzung lässt sich in drei Schwerpunkte unterteilen.

Als Hauptdatenquelle bei der Datenerfassung wird der Regelungscomputer verwendet. Zwischen diesem und dem Dokumentations- und Bewertungskonzept wird eine automatisierte Schnittstelle angestrebt.

Schwerpunkt der ökologischen Bewertung ist eine produktgenaue Zuordnung des Verbrauches an Ressourcen bezogen auf die Verkaufseinheit. Diese wird an einer Tomatenkultur erarbeitet.

Die dokumentierten und ausgewerteten Daten werden als Dateninput für weiterführende Bewertungen, beispielsweise für die Ökobilanz, bereitgestellt werden.

Die Systemgrenzen der Dokumentation und Bewertung werden durch den Produktionszeitraum im Gewächshaus bestimmt. Der Regelungscomputer stellt die Hauptdatenquelle dar und gewährleistet durch einen automatischen Datentransfer die Verfügbarkeit eines Datenpools für die ökologische Bewertung. Die konzeptionelle Umsetzung erfolgt in einem Microsoft Excel® Prototyp. Die Dokumentationsparameter - Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel - werden in Bezug auf die drei folgenden funktionellen Einheiten „Gesamtverbrauch“, „Verbrauch pro m<sup>2</sup>“ und „Verbrauch pro Verkaufseinheit“ ausgewertet und bewertet. Auch werden die verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente erfasst und auf die drei beschriebenen funktionellen Einheiten bezogen.

Eine Fragestellung bei der produktbezogenen Bewertung ist die Zuordnung des Ressourcenverbrauches auf die funktionelle Einheit „Verkaufseinheit“. Bei der Untersuchung der Reifezeit der Tomatenfrüchte ergab sich, dass eine gleichmäßige Verteilung des gesamten Ressourcenverbrauches auf die gesamte Erntemenge sinnvoll ist.

Die Verbräuche an Wasser, Elektroenergie, Heizmaterial, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel und auch die verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente wurden an drei Kulturen ermittelt. Diese waren eine Salatkultur im Jahr 2010 und zwei aufeinanderfolgende Tomatenkulturen in den Jahren 2011 und 2012.

Beim Vergleich der beiden Tomatenkulturen 2011 und 2012 zeigt sich deutlich, dass die Tomatenkultur 2012 eine bis zu 60 % höhere Ressourceneffizienz aufweist und das CO<sub>2</sub>-Äquivalent um 30 – 60 % bezogen auf die unterschiedlich ausgerüsteten Abteilungen reduziert werden kann. Dies ist dem höherem Ernteertrag bei gleichzeitig optimierten technischen Energieeinsparmaßnahmen geschuldet.

Bei der Gegenüberstellung des Verbrauches von fossilen und erneuerbaren Heizmaterialien zeigt sich, dass durch den Einsatz von erneuerbaren Heizmaterialien gegenüber Heizöl das CO<sub>2</sub>-Äquivalent um fast das 10-fache reduziert werden kann.

Durch die EDV-gestützte Dokumentation und ökologische Bewertung von Ressourcenverbräuchen gartenbaulicher Produktionsprozesse ist es möglich, Produktionsdaten schnell zu erfassen und zugleich eine ökologische Bewertung hinsichtlich

der funktionellen Einheiten „Gesamtverbrauch“, „Verbrauch pro m<sup>2</sup>“ und „Verbrauch pro Verkaufseinheit“ und hinsichtlich der verbrauchsgebundenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente durchzuführen. Damit kann dem Gärtner ein Datenpool zur Verfügung gestellt werden, mit dem er auf einfache Weise Anfragen seiner Kunden gezielt beantworten kann.

## 8. Summary

In the recent years consumers of horticultural products have been increasingly interested in information about the production process. However, collection of the relevant data is a costly effort for agricultural and horticultural companies. For this reason many ecological decisions are based on summary data from the literature rather than actual data representing the situation of the company or the produced product. Real time documentation of the actual consumed resources can be useful for specific analysis, especially for variable factors like the consumption of resources in a greenhouse.

The literature provides methods to evaluate the sustainability of horticultural production systems, including software tools. The majority of these focus on evaluation and estimation of the sustainability of the production systems. Such approaches require a database of relevant information, typically obtained through questionnaires or interviews with the growers.

The goal of this study was the development of a tool to support documentation and ecological evaluation of horticultural production processes in greenhouses. This involved determination of the consumption of water, electricity, fuel, fertilizers and pesticides in an actual production operation and to express these values per sellable unit. Also included were the CO<sub>2</sub>-equivalents of the consumption of these resources. The target user for the results of this analysis was the grower; the goal was to provide information about the production process in a form that will allow them to respond to the consumer requests for information about ecological sustainability.

The objective consisted of three key aspects:

The climate computer used in greenhouse operations can serve as a primary and continuous data source. An automatic interface was implemented between the database of the climate computer and the documentation and evaluation tool. The focus of the ecological evaluation was the allocation of resource consumption to the sellable unit. Tomato production was used as case example. The data collected and evaluated can be used for further analyses, for example for a life cycle analysis.

The scope of the tool is determined by the production system through the data stream of the automatic interface to the greenhouse climate computer's access to available data. The concept is implemented as a Microsoft Excel® prototype. The documentation parameters water, electricity, heating material, fertilizers and pesticides are evaluated according to functional units "entire consumption", consumption per m<sup>2</sup>" and "consumption per sellable

unit". The CO<sub>2</sub>-equivalents are similarly calculated according to the three above functional units.

One issue in the evaluation based on the sellable unit is the allocation of the consumption of the resources to the functional unit "sellable unit". Due to the analysis of the maturing time of tomatoes, the results show a continuous allocation of the entire resource consumption across the entire harvest output.

The consumption of water, electricity, heating material, fertilizers and pesticides and the CO<sub>2</sub>-equivalent was calculated for three specific examples: lettuce production in 2010, tomato production in 2011 and tomato production in 2012.

The comparison of two tomato production periods showed that in 2012 there was a higher efficiency in the use of resources of, up to 60 % resulting in reduction of the CO<sub>2</sub>-equivalents by 30 - 60 % according to the specific energy saving equipment. This is because of the higher harvest output and the optimized technical energy saving configurations.

The comparison of the consumption of renewable and fossil energies showed a 10 times reduction in CO<sub>2</sub>-equivalents when using renewable energy sources instead of fuel oil.

With the computing supported documentation and ecological evaluation of horticultural production processes it is possible to obtain information about production and to make an ecological evaluation based on the functional units "entire consumption", "consumption per m<sup>2</sup>" and "consumption per sellable unit" and CO<sub>2</sub>-equivalent all at the same time. Therefore the data base provides the producer with useful information to meet customer requests in a simple and timely fashion.

## 9. Literaturverzeichnis

- ACKERMANN, I. und R. SCHLAUDERER 1997: Decision-support models for the design of animal husbandry and plant production procedures. First European Conference for Information Technology in Agriculture, EFITA, 15. bis 18. Juni 1997, Copenhagen.
- ALDI NORD 2013: Erweiterte verbraucherfreundliche Kennzeichnung unserer ALDI NORD-Fischprodukte. [http://www.aldi-nord.de/aldi\\_verbraucherservice\\_156.html](http://www.aldi-nord.de/aldi_verbraucherservice_156.html). Zugriff: 12.06.2013.
- ALDI SÜD 2013: Wir setzen neue Qualitätsstandards bei Obst und Gemüse. <https://unternehmen.aldi-sued.de/de/qualitaet/lebensmittel/obst-und-gemuese/>. Zugriff: 13.06.2013.
- ALZINGER, S. 2002: Umweltmanagement im Gartenbau. Diplomarbeit, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR ELEKTRIZITÄTSANWENDUNG IN DER LANDWIRTSCHAFT e.V. (AEL) 2003: Elektroenergiebedarf im Gartenbau. AEL-Merkblatt Nr. 35, Frankfurt am Main.
- BACKHAUSEN, J. und P. MAYRHOFER 1999: Das Regionalprogramm Ökopunkte. In: GD XI der Europäischen Union (Hrsg.): Umweltbewertungsverfahren für die Landwirtschaft. Brüssel, S. 59-71.
- BAUERSACHS, H. 2005: Dokumentation und Bewertung von Umweltauswirkungen gartenbaulicher Produktionssysteme. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- BECK, M. 2012: KliWaDu. <http://www.hswt.de/fgw/wissenspool/software/eigene-produkte/kliwadu.html>. Zugriff: 12.01.2012.
- BERG, M. 2003: Anforderung der Administration an Indikatoren und Indikatorensysteme. In: GIRNAU, M., L. HÖVELMANN, W. WAHMHOF, W. WOLF und H. WURL (Hrsg.): Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft. Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Initiativen zum Umweltschutz, Band 56, Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 120-128.
- BERNHARDT, H., M. DEMMEL, W. RICHARZ, A. SCHAFFNER, W. TÄGER-FARNY und N. UPPENKAMP 2009: Dokumentation in der Pflanzenproduktion. In: DLG e.V (Hrsg.): DLG-Merkblatt 348, Frankfurt am Main.
- BETTIN, A., und H.-P. RÖMER 2011: Wärmeschutzverglasung. In: KTBL (Hrsg.): ZINEG - Das NiedrigEnergieGewächshaus.
- BÖCKER, H. und L. ANDERMANN (2011): Einzelbetriebliche Stoffbilanzierung im Gemüseanbau mit der Modellsoftware REPRO. In: Gemüse 3 (2011), S. 32-33.
- BOKELMANN, W. 2011: Ökologische und ökonomische Bewertung. In: KTBL (Hrsg.): ZINEG - Das NiedrigEnergieGewächshaus.
- BONFIG, R. 1996: Etwas für Spezialisten. In: Neue Landwirtschaft, Vol. 11, S. 37-39.

- BREITSCHUH, G. und H. ECKERT 2002: Das Umweltsicherungssystem Landwirtschaft (USL) - ein Verfahren zur Umweltverträglichkeitsanalyse landwirtschaftlicher Betriebe. In: Landtechnik für Profis: mit mehr Wissen in VDI-Berichte, Vol. 1659, S. 47-67.
- BREITSCHUH, G. und H. ECKERT 2007: Das KUL-Verfahren - Möglichkeiten der Anwendung bei ökologischen Betrieben. In: HÜLSBERGEN, K.-J. (Hrsg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität; Beiträge zum KTBL-Fachgespräch "Systembewertung im Ökologischen Landbau" vom 14. bis 15. April 2005 in Freising. KTBL, Darmstadt, S. 167-183.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION 2011: PAS 2050: 2011: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION 2012: PAS 2050-1:2012: Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products.
- BUNDESUMWELTMINISTERIUM UND BUNDESUMWELTAMT 2001: Handbuch Umweltcontrolling. 2. Auflage. Verlag Vahlen, München.
- BURSCHEL, C., D. LOSEN und A. WIENDL 2004: Betriebswirtschaftslehre der Nachhaltigen Unternehmung. Oldenbourg Verlag, München.
- DEUTSCHER BUNDESTAG 2006: Abschlußbericht - der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltigen zukunftsverträglichen Entwicklung".
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009a: DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009b: DIN EN ISO 14001: Umweltmanagement-Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung.
- DIEPENBROCK, W., D. ROST, K.-J. HÜLSBERGEN, J. ABRAHAM, C. DEIMER, G. DUBSKY, M. HEINE, J. HEINRICH, D. MEYER, U. PASLER und S. WERNER 1999: Entwicklung einer Methode zur ökologisch-ökonomischen Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungssysteme. Überführung und Weiterentwicklung der im Modell REPRO enthaltenen wissenschaftlichen Methoden und Koeffizienten zur landwirtschaftlichen Stoff- und Energiebilanzierung in eine praxisanwendbare Software. Forschungsbericht, Institut für Acker- und Pflanzenbau und Institut für Agrarökonomie und Agrarraumgestaltung, Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg.
- ECKERT, H. und G. BREITSCHUH 1997: Kritische Umweltbelastung Landwirtschaft (KUL): Ein Verfahren zur Erfassung und Bewertung landwirtschaftlicher Umweltwirkungen. In: DIEPENBROCK, W. (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion - Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Fachtagung am 11. und 12. Juli 1996 in Wittenberg, Schriftl. Fassung d. Beiträge. Zeller, Osnabrück, S. 185-195.
- ECKERT, H., G. Breitschuh und D. Sauerbeck 1999: Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) - ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. In: Agribiological research, H 1/99, S. 57-76.

- ECKSTEIN, K. und H. HOFFMANN 2007: Öko-Audit nach EMAS in landwirtschaftlichen Betrieben. In: Berichte über Landwirtschaft, BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.). Band 85 (1), Kohlhammer Verlag, Stuttgart, S. 78-94.
- ENGEL, T. 1997: Nutzung von Informatik und Elektronik zur Systemanalyse und Unterstützung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung. Habilitationsschrift, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG) 2001: Verordnung (EG) Nr. 761/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die freiwillige Beteiligung von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung (EMAS).
- EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG) 2009: Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 761/2001, sowie der Beschlüsse der Kommission 2001/681/EG und 2006/193/EG, im Amtsblatt der EU veröffentlicht worden (ABl. L 342/1).
- EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG) 2011: Gesetz zur Ausführung der Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 761/2001, sowie der Beschlüsse der Kommission 2001/681/EG und 2006/193/EG (Umweltauditgesetz - UAG), in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. September 2002 (BGBl. I S. 3490), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 6. Dezember 2011 (BGBl. I S. 2509) geändert worden ist.
- EUROPÄISCHE WIRTSCHAFTSGEMEINSCHAFT (EWG) 1993: Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung. [www.umwelt-online.de/recht/eu/90\\_94/93\\_183gs.htm](http://www.umwelt-online.de/recht/eu/90_94/93_183gs.htm). Zugriff: 17.05.2013.
- FRANKO, U. 1997: Aufbau und Einsatzmöglichkeiten des Simulationsmodells CANDY. In: NOELL, CH. (Hrsg.): Informationstechnologie und Unternehmensführung großer Agrarbetriebe. Referate des GIL-Workshops 1997 in Kiel. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 9, S. 110-121.
- GEBAUER, J. und A. BÄUERLE 2000: Betriebliche Umweltinformationstechniken für die Landwirtschaft in: Berichte über die Landwirtschaft, Band 78 (3), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, S. 454-492.
- GEIER, U. 2000: Anwendung der Ökobilanz-Methode in der Landwirtschaft. Dargestellt am Beispiel einer Prozess-Ökobilanz konventioneller und organischer Bewirtschaftung. Köster, Berlin.
- GLOBALG.A.P 2009: Producer-Kit Fruit and Vegetables. GLOBALGAP c/o FoodPLUS GmbH. Köln

- GLOBALES EMISSIONS-MODELL INTEGRIERTER SYSTEME (GEMIS) 2010: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Version 4.6, Öko-Institut e.V. 1995-2010, Freiburg.
- HEGE, U. und M. BRENNER 2004: Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung. (KUL). 1<sup>st</sup> edition. LfL, Institut für Agarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Freising-Weihenstephan, Freising-Weihenstephan.
- HEUVELINK, E. 2005: Development Processes. In: HEUVELINK, E. (Hrsg.): Tomatoes. Crop Production Science in Horticulture 13, CABI Publishing, Chippenham and Eastbourne, UK.
- HIEKE, M.J. 2003: Ökobilanzierung der Elektroenergieerzeugung für gartenbauliche Betriebe. Diplomarbeit, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- HOEKSTRA, A.Y., A.K. CHAPAGAIN, M.M ALDAYA, M. MAITE und M.M. MEKONNEN 2011: The Water Footprint Assessment Manual - Setting the Global Standard. earthscan, London and Washington, DC.
- HÖVELMANN, L. 2003: „Berichterstattungen aus der Arbeitsgruppe Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft-messen, bewerten und managen“. In: GIRNAU, M., L. HÖVELMANN, W. WAHMHOF, W. WOLF und H. WURL (Hrsg.): Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft. Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Initiativen zum Umweltschutz, Band 56, Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 76-78.
- HÜLSBERGEN, K.-J. 1997: Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen auf betrieblicher Ebene mit dem Computermodell REPRO. In: UMWELTBUNDESAMT AUSTRIA (Hrsg.): Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft – Ein Instrument für den Umweltschutz? Tagungsberichte, Band 20, Workshop 20./21. Juni 1996 in Wien, S. 13-38.
- HÜLSBERGEN, K.-J. 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag, Aachen.
- HÜLSBERGEN, K.-J., B. FEIL und W. DIEPENBROCK 2002: Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: results of a long-term experiment. Field Crops Research, S. 61-76.
- HÜLSBERGEN, K. und B. KÜSTERMANN 2007: Das Modell REPRO - Möglichkeiten der Anwendung in landwirtschaftlichen Betrieben. In: HÜLSBERGEN, K.-J. (Hrsg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität; Beiträge zum KTBL-Fachgespräch "Systembewertung im Ökologischen Landbau" vom 14. bis 15. April 2005 in Freising. KTBL, Darmstadt, S. 184-206.
- HÜLSBERGEN, K.-J. und H. SCHMID 2013: Ressourcenschonung in der Pflanzen- und Milchproduktion. Ansätze für die Betriebsoptimierung -Untersuchungen zur Nachhaltigkeit von ökologischen und konventionellen Betrieben. In: DLG e.V. (Hrsg.): Landwirtschaft im Konflikt mit der Gesellschaft? Votum für eine nachhaltige Produktion; 15. bis 17. Januar 2013 in Berlin. DLG-Verl., Frankfurt am Main, S. 43-60.
- HÜLSBERGEN, H.-J. und W. DIEPENBROCK 1997: Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. In: DIEPENBROCK, W. (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Fachtagung am 11./12. Juli 1996 in Wittenberg, Schriftl. Fassung der Beiträge. Zeller, Osnabrück, S. 159-183.

- KABERKERIS, T. und M. GEYER 2013: Produktion und Produktqualität im Brokkolianbau – Innovationen durch Datenbankanwendungen. In: M. CLASEN, K.C KERSEBAUM, A. MEYER-AURICH, und B. THEUVSEN (Hrsg.): Referate der 33. GIL-Jahrestagung in Potsdam 2013 – Massendatenmanagement in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Lecture Notes in Informatics, Proceedings 211, S. 147-150.
- KALK, W.-D., S. BIERMANN und K.-J. HÜLSBERGEN 1995: Standort- und betriebsbezogene Stoff- und Energiebilanzen zur Charakterisierung der Landnutzungsintensität. Forschungsbericht 1995/10, ATB – Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Potsdam.
- KAMPHAUSEN, W. 2011: 9.000 Gemüsebau- und Obstbetriebe betreiben QS. <http://taspo.de/aktuell/alle-news/detail/beitrag/12245-9000-gemuesebau-und-obstbetriebe-betreiben-qs.html>. Zugriff: 13.06.2013.
- KILIAN, B. 2000: Betriebswirtschaftliche Beurteilung von Maßnahmen für einen flächendeckenden Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Dissertation am Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim. In: Agrarwirtschaft SH 165, Strothe, Frankfurt.
- KNAUER, N. 1989: Katalog zur Bewertung und Honorierung der ökologischen Leistungen der Landwirtschaft. In: STREIT, M. E. (Hrsg.): Landwirtschaft und Umwelt – Wege aus der Krise. Nomos-Verlag, Baden-Baden, S. 179-202.
- KNAUER, N. 1992: Honorierung „ökologischer Leistungen“ nach marktwirtschaftlichen Prinzipien. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 33, S. 65-76.
- KNAUER, N. 1993: Ökologie und Landwirtschaft. Ulmer, Stuttgart.
- KNAUER, N. 1995: Ökologische Anforderungen in Agrarlandschaften. In: DAF-Dachverband Wissenschaftlicher Gesellschaften der Agrar,-Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung (Hrsg.): Ökologische Leistungen der Landwirtschaft. Schriftenreihe. Agrarspectrum Band 24 Verlagsunion Agrar, Frankfurt, S. 9-23.
- KNOBLAUCH, S. 1994: Betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Modellbetriebe auf der Grundlage der Ergebnisse des langjährigen Fruchtfolgedüngungsversuchs (F1-07) Seehausen unter besonderer Berücksichtigung umweltökonomischer Betrachtungen. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle.
- KREUZPAINTNER, A., N. LAUN, J. MEYER, M. SCHLÜPEN und K. SCHOCKERT 2011: Gewächshausanlage mit maximaler Wärmedämmung und CO<sub>2</sub>-neutraler Energieversorgung. In: KTBL (Hrsg.): Energie macht Zukunft. Konzepte für den optimierten Energieeinsatz im Gartenbau. IPM Lehrschau 2011, Darmstadt, S. 30-33.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (Hrsg.) 2011: Energie macht Zukunft. Konzepte für den optimierten Energieeinsatz im Gartenbau. IPM Lehrschau 2011, Flyer, Darmstadt.
- KÜSTERMANN, B. und K.-J. HÜLSBERGEN 2005: Modelling Carbon Cycles as Basis of an Emission Inventory in Farms – The example of an Organic Farming System. Vortrag: Researching Sustainable Systems – International Scientific Conference on Organic Agriculture, Adelaide, Australia, unveröffentlicht.

- LANGNER, F. 2013: An Update and Enhancement of the Hortex software. [http://www.bgt-hannover.de/bgt\\_projects.php?nr=7](http://www.bgt-hannover.de/bgt_projects.php?nr=7). Zugriff: 12.06.2013.
- MAYRHOFER, P. 1997: Das Ökopunktemodell Niederösterreich – Aufbau und Umsetzung in der Agrarpolitik. In: DIEPENBROCK W., (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Fachtagung am 11./12. Juli 1996 in Wittenberg, Schriftl. Fassung der Beiträge. Zeller, Osnabrück, S. 197-208.
- MEYER, J. 2010: Nomenklatur und Definitionen. In: KTBL (Hrsg.): Bericht zur Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäusern. KTBL-Workshop, 17. September 2008 in Worms, Darmstadt. S.14-22.
- MEYER, J. 2011: CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung. In: KTBL (Hrsg.): ZINEG - Das NiedrigEnergieGewächshaus.
- MÜLLER-CHRIST, G. 2001:Umweltmanagement. Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Verlag Vahlen, München.
- MÜLLER-WENK, R. 1978: Die ökologische Buchhaltung. Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main.
- NEHRING, W. und B. KÜSTERMANN 2003: Anwendung von „REPRO“ im Praxisbetrieb. In: GIRNAU, M., L. HÖVELMANN, W. WAHMHOF, W. WOLF und H. WURL (Hrsg.): Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft. Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Initiativen zum Umweltschutz, Band 56, Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 120-128.
- NIEBERG, H. 1994: Umweltwirkungen der Agrarproduktion unter dem Einfluss von Betriebsgröße und Erwerbsform. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, H. 428, Bonn.
- PEET, M.M. 2005: Irrigation and Fertilization. In: HEUVELINK, E. (Hrsg.): Tomatoes. Crop Production Science in Horticulture 13, CABI Publishing, Chippenham and Eastbourne, UK.
- PROZESSORIENTIERTE BASISDATEN FÜR UMWELTMANAGEMENTSYSTEME (PROBAS) 2012: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme (PROBAS). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- OHMAYER, G., M. Beck und C. SIEWEKE 2010: Voraussetzungen für Precision Horticulture: Werkzeuge zur Erfassung von numerischen, textlichen und audiovisuellen Daten im gärtnerischen Produktions- und Versuchsbetrieb. In: W. CLAUPHEIM, L. THEUVSEN, A. KÄMPF, und M. MORGENSTERN (Hrsg.): Referate der 30. GIL-Jahrestagung in Hohenheim 2010 – Precision Agriculture Reloaded – informationsgestützte Landwirtschaft. S. 121-124.
- ONTARIO MINISTRY OF AGRICULTURE & FOOD (OMAFRA) 2003: Growing Greenhouse Vegetables, 2003 Supplement. Publication 371 Canada, Agriculture, Food and Rural Affairs, Toronto, S. 8 ff.

- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) 1997: Environmental indicators for agriculture, Paris.
- REICHERT, E. 2003: EMAS als Umweltmanagementsystem im Gartenbau. Durch Prüfung der Umweltaspekte zur EMAS-Zertifizierung. Diplomarbeit (unveröffentlicht), Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- REITMAYR, T. 1995: Entwicklung eines rechnergestützten Kennzahlensystems zur ökonomisch-ökologischen Beurteilung agrarischer Bewirtschaftungsformen – dargestellt an einem Beispiel. Agrarwirtschaft SH 147, AgriMedia, Hamburg.
- REWE GROUP 2013: Damit die Energiewende gelingt: Planbarkeit und Gerechtigkeit schaffen. Positionspapier.  
[http://www.rewe-group.com/fileadmin/content/Downloads/Nachhaltigkeit/Energiewende\\_Position\\_REWE\\_Group.pdf](http://www.rewe-group.com/fileadmin/content/Downloads/Nachhaltigkeit/Energiewende_Position_REWE_Group.pdf). Zugriff: 12.06.2013.
- RÖMER, H.P, A. BETTIN, F. THIESING, B. LANG, N. WAGNITZ, B. HÜLSMANN und A. KUNZ 2012 : KliPa, eine Bewertungsplattform zur Beurteilung der Effizienz von Gewächshauskulturen mit Hilfe der Verknüpfung automatisch erfasster Gewächshausklima- und Pflanzenparameter. In: M. CLASEN, G. FRÖHLICH, H. BERNHARDT, K. HILDEBRANDT, und B. THEUVSEN (Hrsg.): Referate der 32. GIL-Jahrestagung in Freising – Informationstechnologie für eine nachhaltige Landbewirtschaftung, Lecture Notes in Informatics, Proceedings 194, S. 251-254.
- SCHLAUDERER, R. und I. ACKERMANN 1997: SimCrop – Ein Entscheidungsunterstützungsmodell zur Gestaltung von Pflanzenbauverfahren. In: DOLUSCHITZ, R. und C. NOELL (Hrsg.): Referate der 18. GIL-Jahrestagung in Hohenheim, Stuttgart 1997. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, S. 152-155.
- SCHLOSSBERGER, F. und J. BAUER 2013: QS und EUREPGAP für Obst und Gemüse – Vergleich der inhaltlichen Systemanforderungen.  
[http://www.lfl.bayern.de/iem/qualitaetssicherung/12366/linkurl\\_0\\_2.pdf](http://www.lfl.bayern.de/iem/qualitaetssicherung/12366/linkurl_0_2.pdf).  
Zugriff: 13.06.2013.
- SCHMIDT-BLEEK, F. 2004: Der ökologische Rucksack. Wirtschaft für eine Zukunft mit Zukunft: mit 21 Tabellen. Hirzel, Stuttgart [u.a.].
- SCHMIDT, U. 2011: CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung. In: KTBL (Hrsg.): ZINEG - Das NiedrigEnergieGewächshaus.
- SCHMIDT, R. und U. KLÖBLE 2007: Kennzahlen für die Kontrolle im ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- SCHNEIDER, F. 2004: Prozessdokumentation bei der Pflanzenproduktion in Gewächshäusern. Diplomarbeit, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- STAGHELLINI, C., F.L.K KEMPES und P. KNIES 2003: Enhancing environmental quality in agricultural systems. Acta Horticulturae 609, S. 277-283.
- STÄHLE, W. 1969: Kennzahlen und Kennzahlensysteme – als Mittel der Organisation und Führung von Unternehmen. Wiesbaden.

- STETTNER, H. 2001: Datenbankgestützte Energieverbrauchsrechnung. Diplomarbeit, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- STRISSEL, T. 2013: Anforderungen beim Gemüsehandel. Experteninterview am 22.06.2013. Freising-Weihenstephan.
- TANTAU, H.-J. 2011: Maximale Wärmedämmung. In: KTBL (Hrsg.): ZINEG - Das NiedrigEnergieGewächshaus.
- THEURL, M. C. (2008): CO<sub>2</sub>-Bilanz der-Tomatenproduktion: Analyse acht verschiedener Produktionssysteme in Österreich, Spanien und Italien. Social Ecology Working Paper 110, IFF (Faculty for Interdisciplinary Studies), Institute of Social Ecology, Wien.
- UMWELTGUTACHTERAUSSCHUSS (UGA) 2010: EMAS INFO. Die neue EMAS-III-Verordnung. Berlin.
- UNTERNEHMENSVERBUND HOPFFISTEREI 2011: Umwelterklärung mit Ökobilanz 2010. München.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2001: VDI 4050: Betriebliche Kennzahlen für das Umweltmanagement Leitfaden zu Aufbau, Einführung und Nutzung.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2005: VDI 4075 Blatt 1: Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS).
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2006: VDI 4070 Blatt 1: Nachhaltiges Wirtschaften in kleinen und mittelständischen Unternehmen Anleitung zum Nachhaltigen Wirtschaften.
- VOLK, T. 1998: Umweltschonender Pflanzenschutz mit Expertensystem PRO\_PLANT. In: SPINDLER, E. A. (Hrsg.): Agar-Öko-Audit: Praxis und Perspektiven einer umweltorientierten Land- und Forstwirtschaft. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 367-379.
- WAMHOFF, W. 2003: Nachhaltigkeit managen mit Indikatoren. In: GIRNAU, M., L. HÖVELMANN, W. WAHMHOFF, W. WOLF und H. WURL (Hrsg.): Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft. Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Initiativen zum Umweltschutz, Band 56, Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 13-23.
- WIEDEMANN, J. 2013: Mit Studie: Für 37 % der Unternehmen zahlt sich Nachhaltigkeit finanziell aus. <http://www.terra-institute.eu/blog/blog/mit-studie-fur-37-der-unternehmen-zahlt-sich-nachhaltigkeit-finanziell-aus>. Zugriff: 18.06.2013.
- V. ZABELTITZ, C. 1978: Gewächshäuser. Planung und Bau. Verlag Ulmer, Stuttgart.
- ZIERER, R., M. BECK UND J.-P. LOY 2011: Effizientes und umfassendes Datenmanagement im Produktionsgartenbau am Beispiel ProdiS-Plant. In: M. CLASEN, O. SCHÄTZEL, B. und THEUVSEN (Hrsg.): Referate der 31. GIL-Jahrestagung in Oppenheim 2011 – Qualität und Effizienz durch informationsgestützte Landwirtschaft, S. 185 - 188.
- ZIERER, R., C. MÜHLMANN, M. BECK UND G. OHMAYER 2012: Mobile Datenerfassung im Gartenbau: Verbesserte Möglichkeiten mit aktuelle verfügbarer Technik. In: M. CLASEN, G. FRÖHLICH, H. BERNHARDT, K. HILDEBRANDT, und B. THEUVSEN (Hrsg.): Referate der 32. GIL-Jahrestagung in Freising – Informationstechnologie für eine nachhaltige Landwirtschaft, Lecture Notes in Informatics, Proceedings 194, S. 327-330.