

Justus-Liebig-Universität Gießen
INSTITUT FÜR PFLANZENBAU UND PFLANZENZÜCHTUNG I
PROFESSUR FÜR PFLANZENBAU
(Prof. Dr. B. Honermeier)

**Einfluss abiotischer Wachstumsfaktoren auf
Ertrag und Qualität der Blattdroge der Artischocke
(*Cynara cardunculus* L. ssp. *flavescens* Winkl.)
als Arzneipflanze**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)

FACHBEREICH 09
AGRARWISSENSCHAFTEN, ÖKOTROPHOLOGIE UND UMWELTMANAGEMENT
DER JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIEßEN

vorgelegt von
Dipl.-Ing. agr. Christian Matthes

Gießen, im November 2013

Dissertation im Fachbereich 09,
Agrarwissenschaften, Ökotoxologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I

1. Gutachter: Prof. Dr. Bernd Honermeier

Wenn eine Pflanze wie die Artischocke als Phytopharmakon, als Genussmittel und als Kunstobjekt verwendet wird, sollte sie die Wahl zur Pflanze des Jahres [...] verdient haben.

WINDHABER (2003)

Für Judith und Paulina

INHALTSVERZEICHNIS

Tabellenverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	XII
1. Einleitung und Zielsetzung.....	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1. Die Artischocke und deren Verwendung im Wandel der Zeit.....	3
2.2. Botanische Charakterisierung der Artischocke.....	3
2.3. Inhaltsstoffe.....	6
2.3.1. Phenolische Verbindungen.....	6
2.3.1.1. Kennzeichnung und Synthese.....	7
2.3.1.2. Phenolische Verbindungen in der Artischocke.....	12
2.3.2. Bitterstoffe (Sesquiterpenlactone).....	15
2.4. Verwendung und wirtschaftliche Bedeutung der Artischocke.....	16
2.5. Kultivierung.....	18
2.6. Wirkung und Indikation.....	23
2.7. Qualitätsanforderungen an die Droge.....	25
3. Material und Methoden.....	27
3.1. Versuchsstandorte.....	27
3.1.1. Standort Gießen - `Weilburger Grenze´.....	27
3.1.2. Standort Rauschholzhausen.....	31
3.1.3. Praxisstandort Reinheim.....	34
3.2. Versuchsaufbau.....	34
3.2.1. Feldversuche.....	34
3.2.2. Gefäßversuche.....	36
3.3. Versuchsdurchführung.....	37
3.3.1. Feldversuche.....	37
3.3.2. Gefäßversuche.....	41

3.4. Versuchsbegleitende Maßnahmen und Messungen.....	43
3.5. Wirkstoffanalyse.....	44
3.5.1. Probenaufbereitung.....	45
3.5.2. Chromatographische Bedingungen.....	46
3.5.3. Methodenbeschreibung.....	46
3.5.4. Spektrenzuordnung.....	47
3.5.5. Berechnung des Wirkstoffgehaltes.....	48
3.6. Statistische Auswertung.....	49
4. Ergebnisse.....	50
4.1. Wirkung der Vegetationsdauer.....	50
4.1.1. Feldversuche am Standort Gießen.....	50
4.1.1.1. Bestandsentwicklung, Ertragsstruktur und Blattertrag.....	50
4.1.1.2. Chlorophyllindex.....	56
4.1.1.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden.....	58
4.1.2. Feldversuche am Standort Rauschholzhausen.....	61
4.1.2.1. Bestandsentwicklung, Ertragsstruktur und Blattertrag.....	61
4.1.2.2. Chlorophyllindex.....	65
4.1.2.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden.....	66
4.2. Wirkung von N-Form und N-Dosis.....	69
4.2.1. Blattbildung und Blattertrag.....	69
4.2.2. Chlorophyllindex.....	73
4.2.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden.....	74
4.3. Wirkung von N-Form und Wasserversorgung.....	76
4.3.1. Blattbildung und Blattertrag	76
4.3.2. Chlorophyllindex.....	80
4.3.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden.....	81
4.4. Wirkung von Tageslänge und Temperatur.....	83
4.4.1. Blattbildung und Blattertrag	83
4.4.2. Chlorophyllindex.....	87
4.4.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden.....	87
4.5. Wirkstoffverteilung in der Pflanze.....	89

4.6. Wirkstoffsynthese im Tagesverlauf.....	94
4.7. Ergebnisse aus der Praxis – Vergleich mit Versuchsergebnissen.....	98
5. Diskussion.....	100
5.1. Kritik der Methode.....	100
5.2. Wirkung der Vegetationsdauer.....	101
5.3. Wirkung der N-Düngung.....	104
5.4. Wirkung der Wasserversorgung.....	108
5.5. Wirkung von Tageslänge und Temperatur.....	109
5.6. Wirkstoffverteilung in der Pflanze.....	111
5.7. Wirkstoffsynthese im Tagesverlauf.....	113
5.8. Fazit.....	114
6. Zusammenfassung.....	116
<i>Summary</i>	118
7. Literaturverzeichnis.....	120
8. Anhang.....	133
8.1. Aussattermine.....	133
8.2. Erntetermine.....	133
8.3. Varianztafeln.....	135
8.3.1. Wirkung der Vegetationsdauer.....	135
8.3.1.1. Feldversuch Gießen, 2003.....	135
8.3.1.2. Feldversuch Gießen, 2004.....	141
8.3.1.3. Feldversuch Rauischholzhausen, 2004.....	146
8.3.2. Wirkung von N-Form & N-Dosis.....	151
8.3.3. Wirkung von N-Form & Wasserversorgung.....	158
8.3.4. Wirkung von Tageslänge und Temperatur.....	165
8.3.5. Wirkstoffsynthese im Tagesverlauf.....	171

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2.1:	Verbindungsklassen der Flavonoide (WATZL & RECHKEMMER, 2001b).....	10
Tab. 2.2:	Hauptproduzenten von Gemüseartischocken 2011 (FAOSTAT, 2013).....	16
Tab. 2.3:	Qualitätsanforderungen an die Artischockendroge (BRAND, 1999)..	26
Tab. 3.1:	Allgemeine Kennzahlen und Nährstoffversorgungsgrad des Bodens am Standort Gießen.....	27
Tab. 3.2:	Lichtintensität und Temperatursummen (Temperaturen > 5 °C) von Aussaat bis Ernte der Artischocken, Standort Gießen.....	30
Tab. 3.3:	Allgemeine Kennzahlen und Nährstoffversorgungsgrad des Bodens am Standort Rauischholzhausen.....	31
Tab. 3.4:	Lichtintensität und Temperatursummen (Temperaturen > 5 °C) von Aussaat bis Ernte, Standort Rauischholzhausen.....	33
Tab. 3.5:	Mittlere Lufttemperatur [° C], mittlere Niederschlagsmenge [mm] sowie mittlere Sonnenscheindauer [h] des langjährigen Mittels, Erzeugerbetrieb Hofgutkräuter GmbH & Co. KG, Reinheim.....	34
Tab. 3.6:	Versuchsdesign – Feldversuche.....	35
Tab. 3.7:	Aussaat- und Erntetermine der Feldversuche.....	35
Tab. 3.8:	Versuchsdesign – Gefäßversuche.....	36
Tab. 3.9:	Prüffaktoren und –stufen in den Gefäßversuchen Rauischholzhausen.....	36
Tab. 3.10:	Fruchtfolge – Artischocken-Feldversuche.....	38
Tab. 3.11:	N _{min} sowie Nährstoffversorgungsgrad der Versuchsfelder laut Bodenuntersuchung.....	39
Tab. 3.12:	N-Versorgung der Gefäßversuche.....	42
Tab. 4.1:	Anteil an seneszenten Blättern (sB), Sprossachsen (Sa) und Blütenständen (Bs) [%] am Gesamtertrag, cv. 'Green Globe', Gießen, 2003.....	52

Tab. 4.2:	Anteil an seneszenten Blättern (sB) und Blütenständen (Bs) [%] am Gesamtertrag, cv. `Green Globe´ und cv. `White Giant´, Gießen, 2004.....	56
Tab. 4.3:	Anteil an seneszenten Blättern (sB) und Blütenständen (Bs) [%] am Gesamtertrag, cv. `Green Globe´ und cv. `White Giant´, Rauischholzhausen, 2004.....	64
Tab. 4.4:	Blattertrag [g/Gefäß] der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis.....	72
Tab. 4.5:	Chlorophyllindizes zur Ernte in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauischholzhausen, 2004.....	74
Tab. 4.6:	CCS-Gehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis.....	75
Tab. 4.7:	Flavonoidgehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis.....	75
Tab. 4.8:	Blattertrag [g/Gefäß] der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung.....	80
Tab. 4.9:	Chlorophyllindizes zur Ernte in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauischholzhausen, 2005.....	81
Tab. 4.10:	CCS-Gehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauischholzhausen 2005.....	82
Tab. 4.11:	Flavonoidgehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauischholzhausen 2005.....	82
Tab. 4.12:	Blattertrag [g/Gefäß] der Artischocke in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauischholzhausen, 2005.....	86
Tab. 4.13:	Chlorophyllindizes der Artischockenblätter, Klimakammerversuch Rauischholzhausen, 2005.....	87
Tab. 4.14:	CCS-Gehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauischholzhausen, 2005.....	88

Tab. 4.15: Flavonoidgehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauischholzhausen, 2005.....	89
--	----

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2.1:	grundständige Blattrosette der Artischocke.....	5
Abb. 2.2:	Blütenstand der Artischocke mit abgerundeten (a – <i>Cynara scolymus</i>) und in Stachel auslaufenden (b – <i>Cynara cardunculus</i>) Hüllkelchblättern.....	5
Abb. 2.3:	Grundstruktur des Phenols, verändert nach NIKFARDJAM (2001)....	7
Abb. 2.4:	Grundstruktur von Hydroxybenzoesäure- (a) und Hydroxymzimtsäureverbindungen (b), NIKFARDJAM (2001).....	8
Abb. 2.5:	Strukturformel von MonoCCS (Bsp.: 5- <i>O</i> -Caffeoylchinasäure, a) und DiCCS (Bsp.: 1,3-Di- <i>O</i> -Caffeoylchinasäure, b), FRITSCHÉ et al. (2002).....	8
Abb. 2.6:	Flavan-Grundstruktur, NIKFARDJAM (2001).....	9
Abb. 2.7:	Biosyntheseweg von Polyphenolen, NIKFARDJAM (2001).....	11
Abb. 2.8:	Strukturformel von Cynaropikrin, FRITSCHÉ et al. (2002).....	15
Abb. 2.9:	Anbau (a) und Verarbeitung (b) der Gemüseartischocke in der Region Lorca, Murcia (Spanien).....	17
Abb. 2.10:	Kommerzieller Artischockenanbau in Südhessen (Hofgutkräuter GmbH & Co. KG, 64354 Reinheim, eigenes Foto, 2004).....	17
Abb. 2.11:	Erntemaschine (a) zur Artischockenblatternte und Trennung von Blattspreite und Blattstielen (b) (Hofgutkräuter GmbH & Co. KG, 64354 Reinheim, eigene Fotos, 2004, 2008).....	21
Abb. 2.12:	Trocknung der Artischockenblätter (Hofgutkräuter GmbH & Co. KG, 64354 Reinheim, eigene Fotos, 2004, 2009).....	22
Abb. 3.1:	Mittlere Lufttemperatur [° C] der Jahre 2003 – 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Gießen.....	28
Abb. 3.2:	Mittlere Niederschlagsmenge [mm] der Jahre 2003 – 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Gießen.....	29
Abb. 3.3:	Mittlere Lufttemperatur [° C] der Jahre 2004 und 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Versuchsstation und Gefäßversuchsstation Rauschholzhausen.....	32

Abb. 3.4:	Mittlere Niederschlagsmenge [mm] der Jahre 2004 und 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Versuchsstation und Gefäßversuchsstation Rauschholzhausen.....	32
Abb. 3.5:	Tageslänge (Licht – schwarze Kurve) und Lufttemperatur (Temperatur – rote und blaue Kurve) von Klimakammer 1 (12 h Tageslicht), Gefäßversuch Rauschholzhausen, 2005.....	37
Abb. 3.6:	Probenaufteilung nach Pflanzenorgan und Blattsegment (Abb. 3.6a) und Blattalter (Abb. 3.6b).....	40
Abb. 3.7:	Zeittafel der HPLC-Methode zur Analyse phenolischer Verbindungen in der Droge der Artischocke. Ursprüngliche Methode nach Lichtwer Pharma AG (3.7a), veränderte Methode nach Institut für Pflanzenbau & Pflanzenzüchtung I (3.7b). Aus: Software EuroChrom® for Windows Basic Edition Vers. 3.05 (2005).....	47
Abb. 3.8:	Spektren der Referenzsubstanzen Chlorogensäure (3.8a) und Cynarosid (3.8b). Aus: Software EuroChrom® for Windows Basic Edition Vers. 3.05 (2005).....	48
Abb. 4.1:	Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Schnitte 1 bis 3 (4.1a: 1. Schnitt, 4.1b: 2. & 3. Schnitt) der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2003.....	51
Abb. 4.2:	Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.....	54
Abb. 4.3:	Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. `White Giant´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.....	55
Abb. 4.4:	Chlorophyllindices der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2003.....	57
Abb. 4.5:	Chlorophyllindices der Artschocke, cv. `Green Globe´ und cv. `White Giant´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.....	57

Abb. 4.6:	Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2003.....	58
Abb. 4.7:	Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.....	60
Abb. 4.8:	Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. `White Giant´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.....	61
Abb. 4.9:	Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.....	62
Abb. 4.10:	Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. `White Giant´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.....	63
Abb. 4.11:	Chlorophyllindices der Artischocke, cv. `Green Globe´ und cv. `White Giant´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.....	65
Abb. 4.12:	Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.....	67
Abb. 4.13:	Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. `White Giant´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.....	68
Abb. 4.14:	Entwicklung grüner Rosettenblätter (Blätter/Pflanze) in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.....	69
Abb. 4.15:	Entwicklung von Blattlänge (obere drei Linien) und Blattbreite (untere drei Linien) der Artischocken in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.....	71
Abb. 4.16:	Wuchshöhe der Artischockenpflanzen in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.....	71

Abb. 4.17: Blattbildung der Artischocke in Abhängigkeit von der applizierten N-Form (NO ₃ , NH ₄) und N-Menge, Gefäßversuch Rauschholzhausen, 2004.....	72
Abb. 4.18: Entwicklung grüner Rosettenblätter in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung. Gefäßversuch, Rauschholzhausen, 2005	76
Abb. 4.19: Entwicklung grüner Rosettenblätter (Blätter/Pflanze) in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2005.....	77
Abb. 4.20: Entwicklung von Blattlänge (obere drei Linien) und Blattbreite (untere drei Linien) der Artischocken in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2005..	78
Abb. 4.21: Wuchshöhe (in cm) der Artischockenpflanzen in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2005.....	79
Abb. 4.22: Entwicklung grüner Rosettenblätter in Abhängigkeit von der Temperatur während der Jugendentwicklung. Gefäßversuch (Klimakammer), Rauschholzhausen, 2005.....	84
Abb. 4.23: Entwicklung grüner Rosettenblätter (Blätter/Pflanze) in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen 2005.....	84
Abb. 4.24: Entwicklung von Blattlänge (obere drei Linien) und Blattbreite (untere drei Linien) der Artischocken in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen 2005.....	85
Abb. 4.25: Wuchshöhe der Artischockenpflanzen in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen 2005.....	85
Abb. 4.26: Verteilung von Caffeoylchinasäurederivaten in den grünen Rosettenblättern der Artischocke, Feldversuche Gießen und Rauschholzhausen 2003 – 2004.....	90
Abb. 4.27: Verteilung von Flavonoiden in den grünen Rosettenblättern der Artischocke, Feldversuche Gießen und Rauschholzhausen 2003 – 2004.....	91

Abb. 4.28: Verteilung von Caffeoylchinasäurederivaten und Flavonoiden in den grünen Blättern der Artischocke in Abhängigkeit vom Blattalter, Feldversuch Gießen 2003 und Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.....	92
Abb. 4.29: Verteilung von Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Pflanzenorganen der Artischocke, Feldversuch Gießen 2003 und Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.....	93
Abb. 4.30: Gehalte an Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Blättern der Artischocke, cv. `White Giant´ im Tagesverlauf – 1. Schnitt (28. Juli), Feldversuch Gießen 2005.....	94
Abb. 4.31: Gehalte an Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Blättern der Artischocke, cv. `White Giant´ im Tagesverlauf – 2. Schnitt (07. September), Feldversuch Gießen 2005.....	96
Abb. 4.32: Gehalte an Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Blättern der Artischocke, cv. `White Giant´ im Tagesverlauf – 3. Schnitt (12. Oktober), Feldversuch Gießen 2005.....	96
Abb. 4.33: Lichtintensität [Watt/m ²] zur Erntezeit im Tagesverlauf, Feldversuch Gießen 2005.....	97
Abb. 4.34: Blattertrag und Wirkstoffgehalt kommerziell angebauter Artischocken (Sorte `Gobo di Nizza´) in den Jahren 2006/2007 (mittlere Erträge von 19 ha in 2006 bzw. 16 ha in 2007), Erzeugerbetrieb Hofgutkräuter GmbH & Co. KG Reinheim.....	99

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABE	Artischockenblattextrakt
ACN	Acetonitril
ANOVA	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
B	Breite
BA	Blattachse
BGA	Bundesgesundheitsamt
BLS	Blütenstand
Bs	Blattspreite
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CCI	Chlorophyll Content Index
Cd	Cadmium
CCS	Caffeoylchinasäure
C/N	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
cv.	cultivar (Sorte)
DAD	Dioden-Array-Detektor
DCD	Dicyandiamid
FLAV	Flavonoide
FM	Frischmasse
GD	Grenzdifferenz
GG	Sorte `Green Globe´
GI	Gießen
g. g.	gradient grade (höchste Reinheit eines Lösungsmittels/Solventen zum Einsatz in der HPLC)
hPa	hekto Pascal
H ₃ PO ₄	Phosphorsäure
H ₂ O	Wasser
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (Hochdruckflüssigkeitschromatographie)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
Jh.	Jahrhundert
KAS	Kalkammonsalpeter
K ₂ O	Kaliumdioxid

L	Länge
L.	nach Linné
LF	Luftfeuchte
LM	langjähriges Mittel
LT	Lufttemperatur
Mg	Magnesium
mg/kg	Milligramm pro Kilogramm
ml	Milliliter
MW	Mittelwert
MWK	maximale Wasserkapazität
N	Stickstoff
n. a.	nicht auswertbar
n. b.	nicht berechenbar
NN	Normal Null (Höhe über Meeresspiegelniveau)
NH ₄	Ammonium
nFK	nutzbare Feldkapazität
nm	Nanometer
NO ₃	Nitrat
opt.	optimale Wasserversorgung
p. a.	per analysis (zur Analyse)
PAL	Phenylalanin-Ammonium-Lyase
Pb	Blei
P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid
pH	potentia Hydrogenii = Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer wässrigen Lösung
Ph. Eur.	Pharmakopoea Europaea (Europäisches Arzneibuch)
PFX	Pharmacopée Francaise X (französisches Arzneibuch)
RH	Rauischholzhausen
Sa	Sprossachse
sB	seneszente Blätter
subsp.	Subspezies (Unterart)
∑	Summe
TKM	Tausend-Korn-Masse
TM	Trockenmasse

to	metrische Tonne
TS	Trockenstress
v/v	Mischungsverhältnis Volumenanteile/Volumenanteile
VT	Vegetationstage
Wkl.	nach Wiklund
WG	Sorte `White Giant`
µg	Mikrogramm

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die Artischocke (*Cynara cardunculus* L. subsp. *flavescens* Winkl.) ist eine Kulturpflanze aus der Familie der Korbblütler (*Asteraceae*), die bereits in der Antike als Gemüse genutzt wurde. Verwendung fanden ausschließlich die grünen Blütenköpfe der Pflanzen. Heute spielt der Anbau der Artischocke als Gemüsekultur nach wie vor eine wichtige Rolle in ihren mediterranen Ursprungsgebieten. Darüber hinaus ist die Kultivierung der Wärme liebenden Pflanze in vielen weiteren subtropischen Anbaugebieten landwirtschaftlich relevant. Im Jahre 2011 betrug der Anbauumfang ca. 130.000 ha mit einem Produktionsvolumen von ca. 1,55 Mio. t, wovon etwa 50 % auf die Länder Italien und Spanien fielen (FAOSTAT, 2013).

Neben der Verwendung als Gemüsepflanze spielt seit Ende der 1990er Jahre auch der pharmazeutisch ausgerichtete Artischockenanbau eine wichtige Rolle. Hier werden nicht die als Gemüse beliebten Blütenköpfe, sondern die Rosettenblätter der Pflanze als Rohstoff gewonnen. Als ernährungsphysiologisch und pharmazeutisch wichtige Inhaltsstoffe werden phenolische Verbindungen wie Caffeoylchinasäuren (CCS) und deren Derivate, Flavonoide sowie Sesquiterpenlactone angesehen. Phytopharmaka auf Basis von Artischockenblättern werden bei dyspeptischen Beschwerden aufgrund ihrer verdauungsfördernden Wirkung eingesetzt (KOMMISSION E BGA, 1990). Nach BRAND (1997) ist die Leber das Zielorgan von Artischockenpräparaten, die neben entgiftenden, antioxidativen und regenerationsfördernden Eigenschaften zu einer Normalisierung des Cholesterinspiegels beitragen.

Der pharmazeutisch ausgerichtete Artischockenanbau konzentriert sich im Gegensatz zur Gemüseproduktion vor allem auf die klimatisch gemäßigten Standorte Mittel- und Nordeuropas. Hier wird das Blattwachstum der Pflanzen durch niedrigere Temperaturen und eine ausgeglichene Wasserversorgung begünstigt, wodurch hohe Blatt- und Wirkstoffträge erzielt werden.

Über den Anbau der Artischocke als Medizinalpflanze liegen nach heutigem Stand der Kenntnis einige wissenschaftliche Arbeiten vor.

So wurden bereits die klassischen pflanzenbaulichen Fragestellungen zur Sortenwahl und Standraumverteilung sowie zum Aussattermin und zur Aussaatstärke intensiv in Hinblick auf das Ertragspotential und die Qualität der Droge untersucht (MATTHES, 2002; GÖTTMANN, 2006; HONERMEIER, SCHÄFER & GÖTTMANN, 2009; HONERMEIER & GÖTTMANN, 2010; ALI & HONERMEIER, 2011). In einigen Übersichtsarbeiten finden sich darüber hinaus Hinweise auf das Nachernteverfahren der Artischockenblätter und die Verteilung der pharmazeutisch wichtigen Inhaltsstoffe in der Droge (WAGENBRETH ET AL., 1996; BAIER & HANNIG, 1998; HANNIG & EICH, 2001; BAIER, 2003). Dennoch liegen nur vereinzelte Erkenntnisse vor, die sich im Detail mit der Synthese und Verteilung phenolischer Verbindungen in der Pflanze sowie deren Beeinflussung durch agronomische Bewirtschaftungsmaßnahmen beschäftigen.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, den Einfluss abiotischer Wachstumsfaktoren auf die Blattbildung und das Inhaltsstoffprofil der Artischocke zu klären, um somit einen Beitrag zur Optimierung des Anbaus von Artischocken als Arzneipflanze (Blattnutzung) zu leisten. Vor diesem Hintergrund wurden folgende Hypothesen im Rahmen von Feld- und Gefäßversuchen überprüft:

1. Die Vegetationsdauer hat einen Einfluss auf die Ertragsstruktur der Artischocke sowie auf die Wirkstoffverteilung innerhalb der Rosettenblätter.
2. Es besteht eine Korrelation zwischen der N-Düngung und dem Gehalt an CCS-Verbindungen.
3. Wassermangel beeinflusst die Blattbildung sowie die Synthese der CCS-Verbindungen der Artischocke.
4. Tageslänge und Temperaturunterschiede in der Adoleszenz der Pflanzen wirken signifikant auf den Blattertrag sowie die Bildung der pharmazeutisch relevanten Inhaltsstoffe.
5. Die Konzentration phenolischer Verbindungen variiert in verschiedenen Pflanzenorganen und Blattinsertionen.
6. Das Blattalter hat einen Einfluss auf den Wirkstoffgehalt der Blätter.
7. Der Wirkstoffgehalt der Artischocke wird durch eine Ernte des Blattmaterials zu unterschiedlichen Tageszeiten beeinflusst.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Die Artischocke und deren Verwendung im Wandel der Zeit

Die Nutzung der Artischocke hat eine lange Tradition. Neben den Ägyptern (SCHWARZ, 2000) wussten v. a. die Römer um die verdauungsfördernde Wirkung der Artischocke (SCHENK, 2005; ERNST, 2006). Ebenso nutzten die Araber, die für die Verbreitung der Artischocke in Mitteleuropa verantwortlich sind, den Saft der Blätter zu medizinischen Zwecken. In einem Artikel des Studienkreises „Entwicklungsgeschichte der Arzneipflanzenkunde“, welcher im Jahr 2003 die Artischocke zur Arzneipflanze des Jahres kürte, findet sich ein Hinweis auf die starke Beziehung der Artischocke zur arabischen Kultur. Der Name „Artischocke“ stammt aus dem Arabischen „*al-harsuf*“ und bedeutet so viel wie „distelartige Pflanze“ oder „Erddistel“ (ANONYMUS, 2003). MAYER (2004) zufolge war es Leonard Fuchs, der in seinem „New Kreuterbuch“ des Jahres 1543 als erster in der deutschen Fachliteratur von ‚Strobildorn‘ (distelähnliche Pflanze) berichtet und auf den deutschen Namen „Artischocke“ hinwies. Er pries die Wurzeln und Blätter der Artischocke als Medizin an. Zeitgleich lieferte der niederländische Botaniker Rembert Dodoens (1516 – 1585) als erster den entscheidenden Hinweis auf den Einfluss der Artischocke auf die Bildung und Sekretion der Galle. Vor diesem Hintergrund beschäftigten sich zu Beginn des 20. Jh. französische Wissenschaftler mit der verdauungsfördernden Wirkung der Artischocke und daraus hergestellter Präparate und empfahlen deren Einsatz bei Leber-Galle-Erkrankungen aufgrund ihrer choloretischen, diuretischen und cholesterinolytischen Effekte (REGLIN, 1993). Seither zählt die Artischocke zu einer der best erforschten Arzneipflanzen, was v. a. in Mitteleuropa an einer Vielzahl angebotener Präparate auf dem Arzneimittelmarkt deutlich wird.

2.2. Botanische Charakterisierung der Artischocke

Systematik, Herkunft und Verbreitung

Die Artischocke ist eine Pflanze, die in der Familie der *Asteraceae* (Korbblütler) der Unterfamilie der *Asteroideae* und dem Tribus *Cynareae* angehört. Sie stammt aus der Gattung *Cynara* welche WIKLUND (1992) zufolge durch acht Arten und vier

Unterarten charakterisiert ist. Die lange als separat angesehenen kultivierten Formen „Artischocke“ (*Cynara scolymus* L.) und „Kardone“ (*Cynara cardunculus* L.) müssen aus Sicht von ROTTENBERG & ZOHARY (1996) als Unterarten bzw. Zuchtformen unter der wissenschaftlichen Bezeichnung *Cynara cardunculus* L. subsp. *flavescens* Wikl. zusammengefasst werden. Dies ergaben Kreuzungsversuche und Isoenzymanalysen, die die enge Verwandtschaft von Artischocke und Kardone belegen (BAIER, 1997). Bei *Cynara cardunculus* L. subsp. *flavescens* Wikl. handelt es sich in pharmazeutischen Schriften um die Stammpflanze für Artischockenblätter² (BRAND, 1999). WIKLUND (1992) sowie ROTTENBERG & ZOHARY (1996) gehen davon aus, dass die kultivierten Formen der Gattung *Cynara* auf die Variation *Cynara cardunculus* L. var. *sylvestris* (Lam.) Fiori zurückzuführen sind. Diese ist v. a. auf dem mediterranen Festland, den mediterranen Inseln, in Südportugal sowie den Kanarischen Inseln und den Azoren anzutreffen. Die Vermutung von MONTELUCCI (1962, zitiert in PIGNONE & SONNANTE, 2004), den Ursprung kultivierter Artischockenformen in Etrurien (Italien) zu suchen, kann aus genetischen Gründen heute nicht aufrechterhalten werden (PIGNONE & SONNANTE, 2004). Dennoch kann auf Basis historischer und ethnobotanischer Daten davon ausgegangen werden, dass die Domestikation in Süditalien, speziell in Sizilien ihren Ursprung fand. Die Verbreitung in andere, bereits erwähnte Gebiete des Mittelmeerraums geschah v. a. durch arabische Volksstämme, die im 9. Jh. Sizilien besetzt hielten (PIGNONE & SONNANTE, 2004).

Morphologie und Vermehrung

Bei der Artischocke handelt es um eine bis zu 2 m hohe, krautige Pflanze (THE ROYAL HORTICULTURAL SOCIETY, 2005). Sie besitzt einen kurzen, ausdauernden Wurzelstock (BRAND, 1992) und zeichnet sich durch eine grundständige Blattrosette mit langen, tief fiederschnittigen Rosettenblättern aus (SCHILCHER & HAGELS, 1999, Abb. 2.1). Die Rosettenblätter sind bis zu 80 cm lang und 40 cm breit, an der Blattunterseite filzig behaart und ohne Stachel (SCHAFFNER, 1992). Die unteren Blätter sind gestielt, während die Blätter im Bereich des unbehaarten Stängels sitzend sind. Dieser endet in einem oder mehreren Blütenständen, die je nach Sorte einen Durchmesser von 6 bis 12 cm erreichen (SCHILCHER & HAGELS, 1999). Die Blütezeit wird nach SCHAFFNER (1992) auf April bis August datiert.

² Synonym: *Cynara scolymus* L.



Abb. 2.1: Grundständige Blattrosette der Artischocke (eigenes Foto).

BRAND (1992) weist in *Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis* auf ein besonderes Merkmal der Gattung *Cynara* hin: demnach sind die Hüllkelchblätter der Blütenstände dachziegelartig angeordnet, unbehaart, die äußeren und mittleren an der Spitze zu einem langen Dorn ausgezogen (Abb. 2.2b) oder zu einem dreieckigen bis abgerundeten Zipfel auslaufend (Abb. 2.2.a). Der Boden der Blütenkörbe ist fleischig verdickt und Sitz für die zwittrigen, blauvioletten Röhrenblüten (Abb. 2.2b, Schwarz, 2000).



Abb. 2.2: Blütenstand der Artischocke mit abgerundeten (a – *Cynara scolymus*) und in Stachel auslaufenden (b – *Cynara cardunculus*) Hüllkelchblättern (eigene Fotos).

Laut BAIER et al. (1997) enthält der Blütenstand ca. 600 bis 1500 Röhrenblüten, die vom Rand des Blütenbodens innerhalb von vier bis fünf Tagen bis ins Zentrum aufblühen. Die Früchte (Achänen) haben einen Durchmesser von 3 bis 4 mm und eine Länge von ca. 6 bis 8 mm.

Sie sind verkehrt eiförmig bis zylinderförmig und unbehaart (BRAND, 1992) und besitzen eine Tausendkornmasse (TKM) von ca. 35 bis 70 g (BAIER et al., 1997). Die Artischocke ist nicht winterhart (BAIER & HANNIG, 1998), ihre Kältetoleranz liegt nach WAGENBRETH et al. (1996) bei maximal minus 4 °C. Somit spielt unter mitteleuropäischen Klimabedingungen ausschließlich der einjährige Anbau eine Rolle.

Der Übergang von der vegetativen Phase in die generative Phase wird durch einen Vernalisationsreiz initiiert. Dabei spielen Temperaturen von weniger als 7 °C über einen Zeitraum von ca. 250 Stunden eine Rolle (BAIER et al., 1997). Von großem Nachteil bei der Bestandesetablierung aus Saatgut ist die hohe Heterogenität der Pflanzen (WAGENBRETH et al., 1996). Diese kommt durch Aufspaltung relativ homogener Sorten bei der generativen Vermehrung zustande (PÉCAUT, 1993, zitiert nach BAIER et al., 1997). Nahezu homogene Bestände werden durch die klassische vegetative Vermehrung erzielt, die traditionell in den Anbauregionen zur Gemüseproduktion praktiziert wird. Nachteile gegenüber der generativen Vermehrung sind die höhere Arbeitsintensität, höhere Kosten für die Bestandesetablierung sowie die Weitergabe von Krankheiten und Schädlingen.

2.3. Inhaltsstoffe

Ausschlaggebend für die pharmazeutische Qualität der Artischockendroge sind chemische Verbindungen, die in unterschiedlicher Zusammensetzung und Konzentration v. a. in den oberirdischen Organen der Pflanze zu finden sind. Hierbei handelt es sich um pflanzliche Stoffe, die für den Primärstoffwechsel der Pflanze bedeutungslos sind. Diese Gruppe der von der Artischocke gebildeten Sekundärmetaboliten, besteht maßgeblich aus den im Folgenden beschriebenen Polyphenolen. Darüber hinaus sind Bitterstoffe zu finden, deren pharmazeutische Wirksamkeit allerdings nicht eindeutig geklärt ist.

2.3.1. Phenolische Verbindungen

Zu der im Pflanzenreich weit verbreiteten Gruppe phenolischer Verbindungen werden alle chemischen Substanzen gezählt, die in ihrer chemischen Struktur dem Phenol (siehe Abb. 2.3) zugeordnet werden können (RECHNER, 2001).

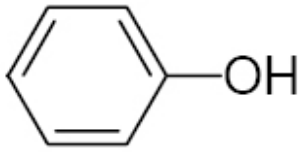


Abb. 2.3: Grundstruktur des Phenols, verändert nach NIKFARDJAM (2001).

Es handelt sich um Verbindungen, die durch ein aromatisches Ringsystem gekennzeichnet sind, welches eine oder mehrere Hydroxygruppen trägt. HÄNSEL, STICHER & STEINEGGER (1999) beschreiben, dass auch funktionelle Derivate der Phenole, z. B. Methylether, Ester oder Glykoside, zu den Phenolen zählen.

Aufgrund ihres Vorkommens in fast allen Pflanzenarten, weisen phenolische Verbindungen eine enorme Vielfalt pflanzenspezifischer Strukturen auf. Dies macht sie zu wichtigen Leitstoffen in der pharmazeutischen Analytik. Nach RECHNER (2001) lassen sich Phenole bzw. Polyphenole in drei Gruppen einteilen: **Phenolcarbonsäuren**, **Flavonoide** und **niedermolekulare Phenole**. Bei den niedermolekularen Phenolen handelt es sich vorwiegend um flüchtige Verbindungen, die teilweise wichtige Aromastoffe sind.

2.3.1.1. Kennzeichnung und Synthese

Phenolcarbonsäuren

Phenolcarbonsäuren werden in der Literatur auch als „Phenolsäuren“ bezeichnet und lassen sich in die Gruppe der Hydroxybenzoesäuren und in die Gruppe der Hydroxyzimtsäuren unterteilen (HÄNSEL, STICHER & STEINEGGER, 1999; WATZL & RECHKEMMER, 2001a). Es handelt sich um chemische Verbindungen, die in der Pflanze häufig in den äußeren Zellschichten auftreten und hier zur Stabilität des Gewebes beitragen.

Die Hydroxybenzoesäuren weisen einen C₁-C₆-Grundkörper auf (Abb. 2.4a), während die Hydroxyzimtsäuren durch einen C₃-C₆-Grundkörper (Abb. 2.4b) charakterisiert werden (RECHNER, 2001). Sie kommen in pflanzlichen Drogen v. a. in gebundener Form vor: als Ester mit anderen Säuren, mit Alkoholen oder an Zucker gebunden bzw. als Glykoside decarboxylierter Säuren. In ungebundener Form treten Hydroxybenzoesäuren, v. a. Gallussäure, Salicylsäure, *p*-Hydroxybenzoesäure, Protocatechusäure und Vanillinsäure auf. Sie spielen in pflanzlichen Drogen jedoch meist eine untergeordnete Rolle, da sie in relativ geringer Konzentration vorkommen (HÄNSEL, STICHER & STEINEGGER, 1999).

Von wesentlich größerer Bedeutung sind die Hydroxyzimtsäuren, deren Hauptvertreter die *p*-Coumarsäure, Ferulasäure und die Kaffeesäure sind. Sie sind im Pflanzenreich sehr stark verbreitet und liegen meist in gebundener Form sowie in höheren Konzentrationen vor (RECHNER, 2001).

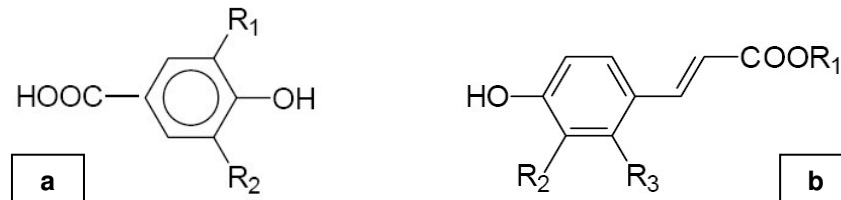


Abb. 2.4: Grundstruktur von Hydroxybenzoesäure- (a) und Hydroxyzimtsäureverbindungen (b), NIKFARDJAM (2001).

Die Chlorogensäure mit ihren Stellungsisomeren Neochlorogensäure und Kryptochlorogensäure ist eine Esterverbindung zwischen Kaffeesäure und Chinasäure (HÄNSEL, STICHER & STEINEGGER, 1999). Sie wird als Depsid bezeichnet und ist die am weitesten verbreitete Hydroxyzimtsäureverbindung im Pflanzenreich (RECHNER, 2001). Chlorogensäure ist nach der IUPAC-Nomenklatur² von 1976 unter der chemischen Bezeichnung „5-*O*-Caffeoylchinasäure“ zu finden (HERRMANN, 1997).

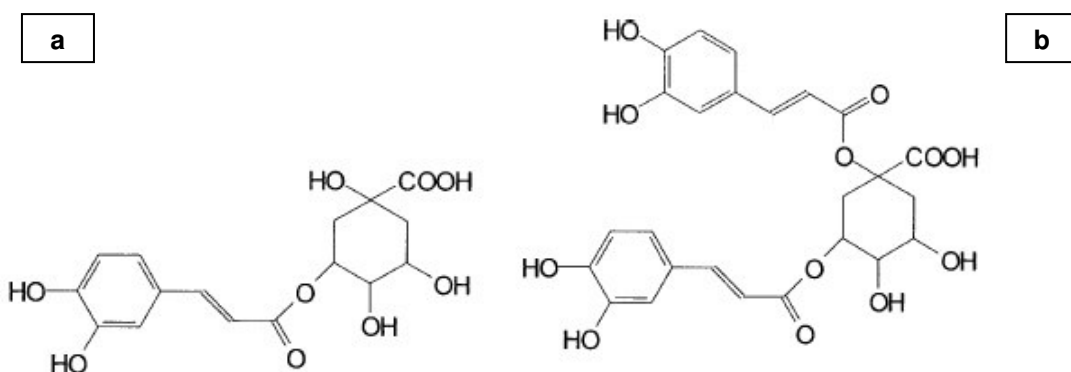


Abb. 2.5: Strukturformel von MonoCCS (Bsp.: 5-*O*-Caffeoylchinasäure, a) und DiCCS (Bsp.: 1,3-Di-*O*-Caffeoylchinasäure, b), FRITSCHKE et al. (2002).

Caffeoylchinasäurederivate, bei denen ein Molekül Kaffeesäure mit einem Molekül Chinasäure verestert ist, werden als Mono-Caffeoylchinasäurederivate

² In der vorliegenden Arbeit werden alle chemischen Bezeichnungen, wenn nicht explizit ausgewiesen, nach neuer IUPAC-Nomenklatur benannt.

(MonoCCS) bezeichnet (Abb. 2.5a). Analog sind bei Di-Caffeoylchinasäurederivaten (DiCCS) zwei Moleküle Kaffeesäure mit einem Molekül Chinasäure verestert (Abb. 2.5b).

Flavonoide

Nach RECHNER (2001) kommt den Flavonoiden die größte Bedeutung unter den Polyphenolen im Pflanzenreich zu. Dementsprechend wird ihnen auch das häufigste Vorkommen in Nahrungsmitteln zugeschrieben (WATZL & RECHKEMMER, 2001b). Bei den Flavonoiden handelt es sich um Verbindungen, die durch drei Kohlenstoffringe charakterisiert sind, von denen zwei (A und B, Abb. 2.6) aromatisch sind und einer *O*-heterozyklisch (C) ist (WATZL & RECHKEMMER, 2001b). In Abb. 2.6 ist die Grundstruktur des Flavans (2-Phenyl-benzo-dihydropyran) abgebildet, woraus sich strukturell alle Flavonoide ableiten (RECHNER, 2001).

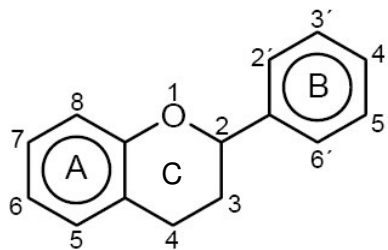


Abb. 2.6: Flavan-Grundstruktur, NIKFARDJAM (2001).

Aufgrund der Vielfalt der Flavonoide im Pflanzenreich ist eine Unterteilung in weitere Untergruppen notwendig. Nach WATZL & RECHKEMMER (2001b) erfolgt die Unterscheidung der Flavonoide, die auf strukturelle Unterschiede am heterozyklischen C-Ring zurückzuführen ist, in sechs Gruppen (Tab. 2.1). Flavonoide kommen in der Natur nicht frei sondern in Form von Flavonoidglykosiden vor (eine Ausnahme bilden die Flavanole). In der Pflanze sind sie, wie die Phenolcarbonsäuren, meist in den äußeren Zellschichten zu finden, wo sie nach DACHLER & PELZMANN (1999) die Funktion des Anlockens von Insekten sowie den Schutz vor Infektionen übernehmen. In der Pharmazie werden ihre krampflösenden, abführenden und entzündungshemmenden Eigenschaften genutzt.

Tab. 2.1: Verbindungsklassen der Flavonoide, WATZL & RECHKEMMER, (2001b).

Verbindung	Hauptkomponenten	Eigenschaft	Vorkommen
Flavonole	Quercitin Kämpferol	hellgelbe Pigmente	Zwiebel
Flavanole	Catechin Epicatechingallate	adstringierende Wirkung	Apfel, Rotwein, grüner Tee
Flavanone	Naringenin Hesperidin	Bitterstoffe	Orange, Grapefruit
Flavone	Apigenin Luteolin	hellgelbe Pigmente	Paprika, Sellerie, Artischocke
Anthocyane	Malvidin Cyanidin	rote und blaue Pigmente	Trauben (blau), Kirsche
Isoflavonoide	Genistein Daidzein	Phytoöstrogen	Sojabohnen

Biosynthese

Grundlage für die Biosynthese phenolischer Verbindungen stellen Produkte des Kohlenhydratstoffwechsels der Pflanze dar (NIKFARDJAM, 2001). Dabei erfüllen die Teilbereiche Shikimisäure-Bereich, Phenylpropanoid-Bereich und Flavonoid-Bereich unterschiedliche Aufgaben.

Im **Shikimisäure-Bereich** werden die Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan synthetisiert, während im **Phenylpropanoid-Bereich** Hydroxyzimtsäurederivate sowie Vorstufen der Flavonoide synthetisiert werden. Die Synthese der Flavonoide findet im **Flavonoid-Bereich** statt.

Aus Abb. 2.7 ist zu erkennen, dass die Shikimisäure, die im Zuge des Shikimatweges aus Phosphoenolpyruvat und Erythrose-Phosphat synthetisiert wird, eine Vorstufe der o. g. Aminosäuren darstellt (HELDT, 1996). Aus Phenylalanin wird mittels der Phenylalanin-Ammoniak-Lyase (PAL) die *trans*-Zimtsäure katalysiert. Dabei wird Ammoniak (NH₃) frei, welches durch das Enzym Glutamin-Synthetase wieder fixiert wird. Aus Gründen ihres chemischen Aufbaus (Benzolring + C₃-Seitenkette) werden Phenylalanin und Zimtsäure unter dem Begriff Phenylpropanoide zusammengefasst. Die Hydroxylierung des Phenylrings der Zimtsäure geschieht durch eine an die Membran des Endoplasmatischen Retikulums gebundene Monooxygenase (Zimtsäure-4-Hydroxylase), wobei der Sauerstoff aus dem Cytochrom P₄₅₀ stammt. Als Produkt dieser Reaktion entsteht *p*-Coumarsäure, die durch weitere Hydroxylierung zur Kaffeesäure (siehe Abb. 2.7) führt. Auf diese Art der Biosynthese entstehen Hydroxyzimtsäureverbindungen, die nach WATZL & RECHKEMMER (2001) eine wichtige Bedeutung in der menschlichen Ernährung haben.

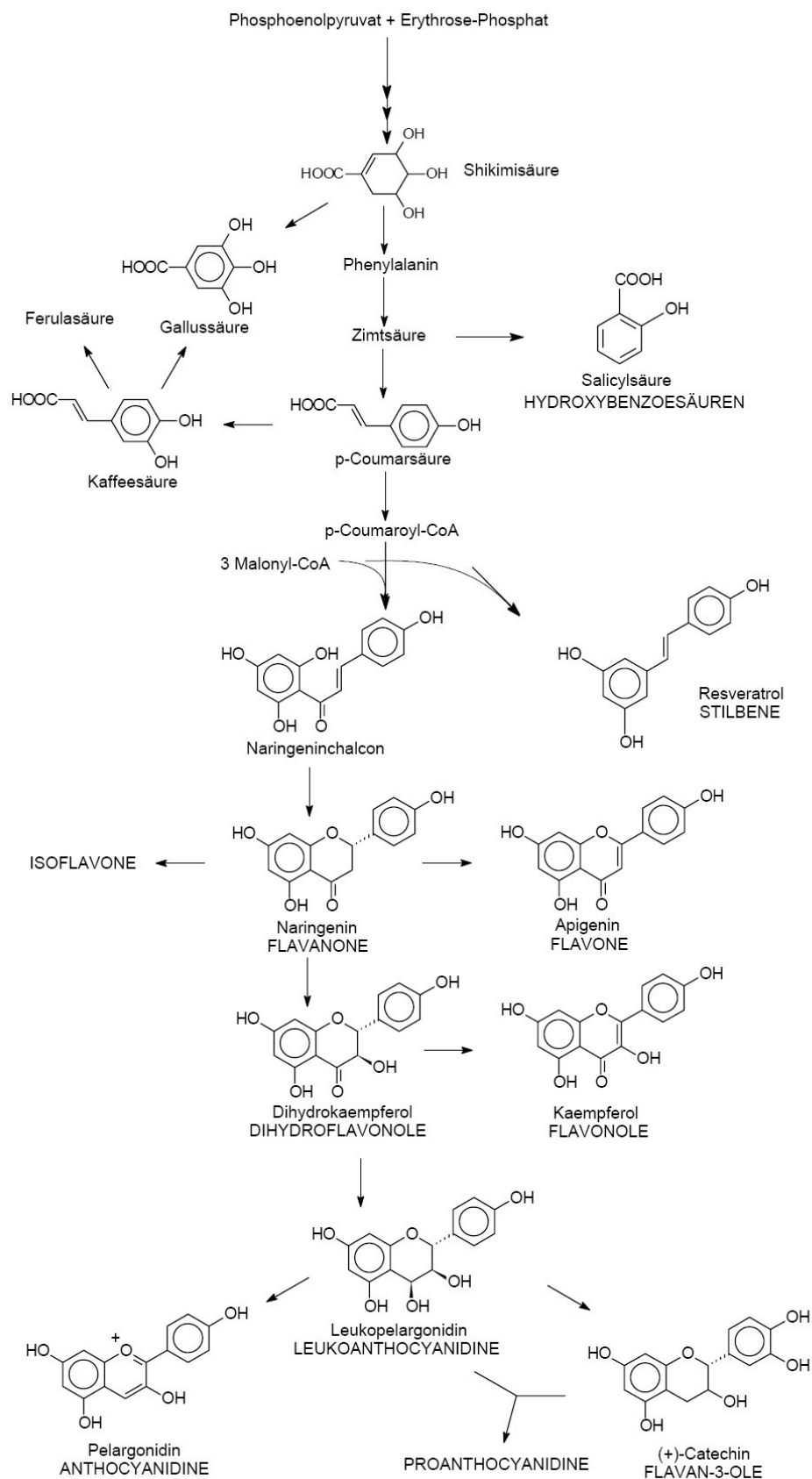


Abb. 2.7: Biosyntheseweg von Polyphenolen, NIKFARDJAM (2001).

HELDT (1996) beschreibt die Biosynthese der Hydroxybenzoesäuren durch die Abspaltung eines C₂-Fragments aus den Phenylpropanoiden. So stellt Salicylsäure, die eine wichtige Funktion als Signalüberträger übernimmt, das unmittelbare Folgeprodukt der C₂-Abspaltung von der Zimtsäure dar.

Die Biosynthese der Flavonoide beginnt mit der Bildung von Chalcon (Naringenchalcon), welches aus einem Molekül *p*-Coumaroyl-CoA und drei Molekülen Malonyl-CoA mit Hilfe der Chalcon-Synthase (CHS) unter CO₂-Abspaltung katalysiert wird (HELDT 1996). Seine C₆-C₃-C₆-Struktur stellt die Grundlage für alle Flavonoide dar (siehe Abb. 2.7, NIKFARDJAM, 2001). Durch Addition einer phenolischen Hydroxygruppe katalysiert die Chalcon-Isomerase Chalcon zu Flavanon. Diese Substanz stellt die Ausgangssubstanz diverser Flavonoide mit vielfältigen Funktionen dar (HELDT 1996).

Nach LATTANZIO und MORONE (1978) findet die Synthese phenolischer Verbindungen am Ort des Verbrauchs bzw. der Akkumulation statt, wobei eine Abwanderung in andere Pflanzengewebe nicht zu finden sei. Polyphenole stellen nach Meinung dieser Autoren nicht das Endprodukt der Polyphenolsynthese sondern im Laufe der Pflanzenentwicklung eine Zwischenstufe bzw. ein Reserveprodukt für weitere phenolische Komponenten dar.

2.3.1.2. Phenolische Verbindungen in der Artischocke

Inhaltsstoffprofil

In der Blattdroge der Artischocke wird die Zusammensetzung phenolischer Verbindungen durch Derivate der Caffeoylchinasäure sowie durch Flavonglykoside geprägt (BRAND & WESCHTA, 1991, WITTEMER et al., 2005). Die wichtigsten CCS-Verbindungen sind die MonoCCS-Verbindung Chlorogensäure (5-*O*-Caffeoylchinasäure) und die DiCCS-Verbindungen Cynarin (1,5-Di-*O*-Caffeoylchinasäure) und 1,3-Di-*O*-Caffeoylchinasäure. Bei den Flavonoiden spielen Cynarosid (Luteolin-7-*O*-glucosid) und Scolymosid (Luteolin-7-*O*-rutinosid), beides Flavonoide vom Luteolin-Typ, eine entscheidende Rolle (BRAND, 1997; SCHILCHER & HAGELS, 1999; FRITSCHKE et al., 2002). HERRMANN (1997) sowie CHINOÛ & HARVALA (1997) fanden neben den Hydroxyzimtsäuren Kaffeesäure, *p*-Coumarsäure und Ferulasäure alle strukturell möglichen Mono- und DiCCS-Verbindungen in den Blütenständen von *Cynara scolymus* L.

Weiterhin konnten die Flavone Apigenin und Luteolin nachgewiesen werden. In der Fachliteratur sind unterschiedliche Angaben hinsichtlich des Gehaltes phenolischer Verbindungen in der Artischocke zu finden. So nennt TEUSCHER (1997) CCS-Gehalte von 0,1 bis 1,4 % während die Gehalte in den von BRAND (1997) untersuchten Handelsdrogen zwischen 1,0 und 2,5 % lagen. WAGENBRETH et al. (1996) fanden in den Blättern von Artischocken, die im Rahmen von Freilandversuchen kultiviert wurden, CCS-Gehalte von 2,4 bis 6,0 %. Die Flavonoidgehalte lagen in dieser Untersuchung zwischen 0,35 und 0,75 % TM. BLASCHEK (2004) geht von 4 % Caffeoylchinasäurederivaten und 0,5 % Flavonoiden aus. In vielen Studien wird Chlorogensäure als Referenzsubstanz zur Bestimmung des Gesamt-CCS-Gehaltes verwendet. Tatsächlich stellt diese MonoCCS-Verbindung nach Angaben von LATTANZIO & MORONE (1979) mit 75 bis 83 % der phenolischen Verbindungen die mengenmäßig bedeutsamste Komponente dar. Cynarin, welches aufgrund seiner pharmakologischen Eigenschaften als eine der Hauptkomponenten der Blattdroge angesehen wird, ist in den Blättern der Artischocke nur in geringer Konzentration enthalten.

Beeinflussung des Gehaltes und der Zusammensetzung

Wie aus einer Vielzahl wissenschaftlicher Studien hervorgeht, wird das Inhaltsstoffprofil der Artischocke neben der Beeinflussung durch genetische sowie äußere Faktoren auch durch den Entwicklungsstand der Pflanzen beeinflusst (WAGENBRETH et al., 1996, BRAND, 1999, FRITSCHKE et al., 2002). Demnach ist in den wachsenden, jungen Rosettenblättern der Artischocke ein signifikant höherer Gehalt an CCS-Verbindungen zu finden als in den entwicklungsphysiologisch älteren Blättern (LATTANZIO & MORONE, 1978; WAGENBRETH et al., 1996; HANNIG & EICH, 2001; BAIER, 2003). LATTANZIO und MORONE (1978) fanden in den jüngsten Blättern Chlorogensäuregehalte von 5,97 bis 6,65 % TM (Mittelwert³ (MW) 6,31%) während der Gehalt in den voll entwickelten Blättern zwischen 1,33 und 4,83 % TM (MW 3,08 %) lag. Eine zunehmende Adoleszenz der Blätter resultierte in Gehalten von 0,85 bis 2,71 % TM (MW 1,78 %) in seneszenten und 0,04 bis 0,28 % TM (MW 0,16 %) in abgestorbenen Blättern. Die ausgewachsenen, voll entwickelten Blätter der Artischocke weisen nach WAGENBRETH et al. (1996) einen einheitlichen CCS-Gehalt auf, der erst ab dem Zeitpunkt der Blattseneszenz und

³ Berechnet aus den angegebenen Daten.

Schossphase zu sinken beginnt. Diese Beobachtung machten auch LATTANZIO & MORONE (1978).

Der Flavonidgehalt in den älteren Blättern war dagegen höher als in den jungen Blättern (BAIER, 2003). Von steigenden Flavonidgehalten bis zum Schossen der Pflanzen und einer anschließenden Gehaltsabnahme wird auch von BRAND (1999) sowie WAGENBRETH et al. (1996) berichtet. Diese Ergebnisse werden von LATTANZIO & MORONE (1978) durch eine Akkumulation der Flavonoide, v. a. von Scolymosid, im Laufe des Pflanzenwachstums erklärt.

Innerhalb eines Blattes ist eine Abnahme des Wirkstoffgehaltes von der Blattspitze zur Blattbasis festzustellen. Darüber hinaus enthalten die Blattachsen sowie die Blattnerven geringere Gehalte pharmazeutisch aktiver Substanzen (WAGENBRETH et al., 1996).

Anhand der vorliegenden Erkenntnisse mehrerer wissenschaftlicher Studien zum Einfluss des Entwicklungsstadiums der Artischocke, empfiehlt BAIER (2003) die Verwendung wachsenden Blattmaterials für die Herstellung von Artischockenblattextrakten (ABE). Aus pflanzenbaulicher Sicht sollte demnach relativ früh mit der Ernte der Rosettenblätter begonnen werden.

Neben den entwicklungsphysiologischen Einflüssen spielen auch Faktoren wie die Stickstoffversorgung sowie die Nacherntebehandlung eine entscheidende Rolle auf die Zusammensetzung und den Gehalt pharmazeutisch aktiver Substanzen in der Artischockendroge. So werden durch die Stickstoffapplikation einerseits hohe Biomasseerträge erreicht, andererseits existiert eine negative Korrelation zwischen der Höhe der Stickstoffdüngung und den Wirkstoffgehalten. HANNIG & EICH (2001) konnten nachweisen, dass die Erhöhung der N-Menge niedrigere Wirkstoffgehalte bewirkte. Eine ähnliche Wirkung wird durch zu hohe Trocknungstemperaturen erzielt (WAGENBRETH et al., 1996; BAIER & HANNIG, 1998; HANNIG & EICH, 2001). So führen Temperaturen von über 40 °C zu signifikanten Verlusten an CCS-Verbindungen und Flavonoiden (siehe Kapitel 2.5.2.), was nach BRAND (1999) auf Gärungsprozesse und eine vorübergehend erhöhte Enzymaktivität der Polyphenoloxidase zurückzuführen ist. Nicht nur im Rahmen der Trocknung sondern auch bei der Drogenaufarbeitung hat die Temperatur einen Einfluss auf den Wirkstoffgehalt.

Der Gehalt an CCS-Verbindungen und Flavonoiden wird durch die Dauer der Extraktion, durch das Extraktionsmittel sowie durch die Extraktionstemperatur beeinflusst (FRITSCHÉ et al., 2002). So nimmt z. B. der Gehalt an Cynarin mit einer höheren Extraktionstemperatur und einer längeren Extraktionsdauer zu (WIEDENFELD, 1997). Diese Umesterung phenolischer Verbindungen ist nach Meinung von WAGENBRETH et al. (1996) eine Erklärung für eine abweichende Zusammensetzung von ABE im Vergleich zur ursprünglichen Droge.

2.3.2. Bitterstoffe (Sesquiterpenlactone)

Bei den Bitterstoffen handelt es sich um Sesquiterpenlactone, die in ihrer Struktur auf drei Isopreneinheiten zurückzuführen sind und der Gruppe der Guajanolide angehören (WILLUHN, 1987). Es handelt sich um stabile C₁₅-Terpenoide, die nicht flüchtig sind. Da sie für den Bitterwert einiger Pflanzen(teile) verantwortlich sind, werden sie auch als Bitterstoffe bezeichnet. Nach SCHNEIDER & THIELE (1974a) stellen die Bitterstoffe mengenmäßig die bedeutendste Gruppe sekundärer Pflanzenstoffe in der Artischocke dar. In der Blattdroge sind bis zu 5 % zu finden, wobei die Hauptverbindung das Cynaropikrin darstellt (siehe Abb. 2.8).

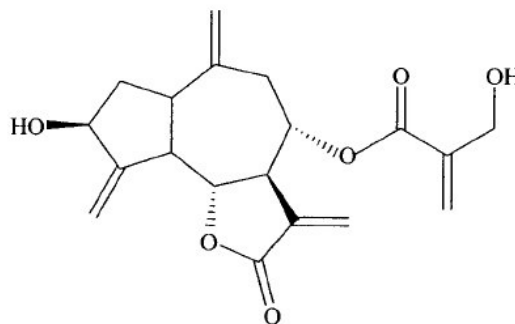


Abb. 2.8: Strukturformel von Cynaropikrin, FRITSCHÉ et al. (2002).

Auf das Cynaropikrin sind ca. 80 % des bitteren Geschmacks zurückzuführen (BERNHARD, THIELE & PRETSCH, 1979; BERNHARD, 1982, zitiert in FRITSCHÉ et al., 2002). Darüber hinaus sind auch die Substanzen Dehydrocynaropikrin, Großheimin und Cynaratriol für den bitteren Geschmack der Artischocke verantwortlich (SCHNEIDER & THIELE, 1974a; HERMANN, 1997; SCHILCHER & HAGELS, 1999). In einer Studie des Jahres 1971 fanden SCHNEIDER und THIELE (1974b) heraus, dass die Bitterstoffe ausschließlich in den grünen Pflanzenteilen

vorhanden sind. In den Wurzeln sowie in voll entwickelten Blüten und Früchten konnten keine Bitterstoffe nachgewiesen werden.

2.4. Verwendung und wirtschaftliche Bedeutung der Artischocke

BIANCO (2006) zufolge kann jedes Organ der Artischocke wirtschaftlich genutzt werden. Dabei nimmt mit mehr als 90 % die Produktion von Gemüse, v. a. von unreifen Blütenständen, den weitaus größten Anteil des Marktes ein. Die Hauptproduzenten hinsichtlich Anbaufläche, Flächenertrag und Produktion sind in Tabelle 2.2 dargestellt. Daraus geht hervor, dass die Erträge der Blütenstände zwischen 6,5 und 27 t FM/ha schwanken. Italien ist mit knapp 50.000 ha Anbaufläche und einem mittleren Flächenertrag von ca. 10 t/ha der weltweit wichtigste Produzent für Artischockengemüse.

Tab. 2.2: Hauptproduzenten von Gemüseartischocken 2011 (FAOSTAT, 2013).

Land	Anbaufläche (ha)	Ertrag (t/ha)	Produktion (t)
Italien	49.577	9,6	474.550
Spanien	15.144	12,2	182.120
China	11.000	6,8	75.000
Ägypten	9.476	21,4	202.458
Peru	7.890	19,1	150.417
Frankreich	7.822	6,5	50.589
Chile	4.409	9,6	41.694
Argentinien	3.847	26,2	100.891
Algerien	3.760	12,4	46.808
USA	2.990	15,1	45.310
Marokko	2.769	15,6	43.137

Dieser mehrjährige, in der Regel dreijährige Produktionszweig ist nach Aussage von EBEL et al. (2003) aufgrund der mangelnden Frostempfindlichkeit auf mediterrane Klimagebiete (z.B. Spanien, Abb. 2.9a) angewiesen. Der Schwerpunkt liegt auf der Verarbeitung frischer Blütenstände (Abb. 2.9b), die entweder als Frischgemüse oder als Verarbeitungsprodukt in Form von Artischockenherzen und anderen konservierten Zubereitungen in den Handel gelangen (BIANCO, 2006). Die Abfälle aus der Gemüseproduktion finden zweierlei Verwendung: die Sprossachsen werden z. T. als Tierfutter (v. a. für Schweine) verwendet, während die Blätter als Sekundärprodukt der pharmazeutischen Industrie zur Herstellung von Phytopharmaka dienen (HANNIG & EICH, 2001).

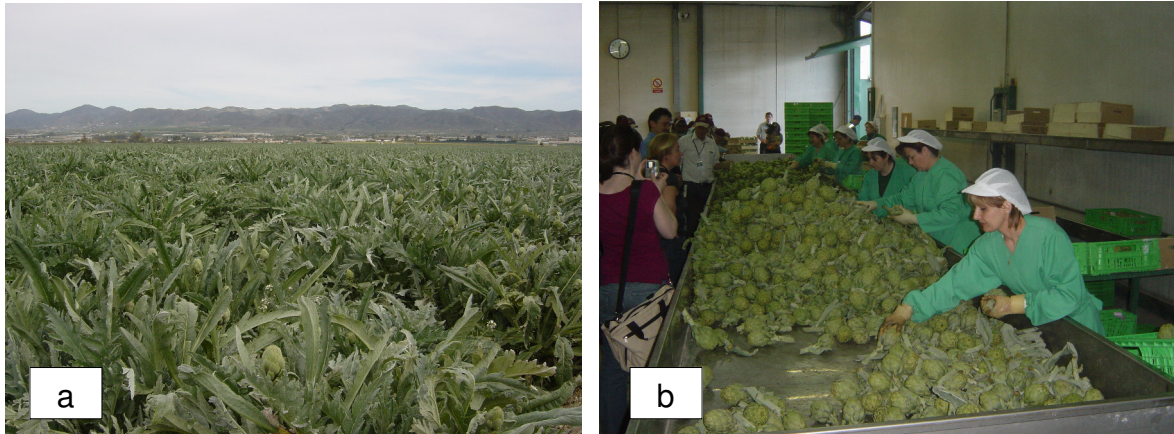


Abb. 2.9: Anbau (a) und Verarbeitung (b) der Gemüseartischocke in der Region Lorca, Murcia (Spanien, eigene Fotos, 2006).

In gemäßigten Klimaten spielt die Nutzung der Artischocke als Blattpflanze die einzige Rolle. Hier steht die einjährige Produktion der grünen Rosettenblätter im Vordergrund. Der Anbau solcher Blattkulturen ist überwiegend in Deutschland (Hessen, siehe Abb. 2.10, Bayern und Thüringen) mit ca. 100 ha Anbaufläche sowie Frankreich und in den Balkanländern zu finden.



Abb. 2.10: Kommerzieller Artischockenanbau in Süd Hessen (Hofgutkräuter GmbH & Co., 64354 Reinheim, eigenes Foto, 2004).

Aus den Blättern werden vorwiegend Phytopharmaka hergestellt. Sie finden jedoch nach BIANCO (2006) auch Verwendung in Kräuterteemischungen, Kosmetika und Süßungsmitteln.

Darüber hinaus werden Sie als Nahrungsergänzungsmittel eingesetzt, und sind in Gerinnungsmitteln und Industriefarbstoffen zu finden. Der Artischockenlikör „Cynar“ ist ein weiteres bekanntes Produkt. Die Mittelrippen der Blätter von *Cynara cardunculus* L. ssp. *cardunculus* werden in einigen Regionen Europas als Gemüse verwendet. Darüber hinaus werden die Blütenstände als Zierpflanze genutzt. Die Wurzeln und Rhizome dienen zur Herstellung von Aufgüssen und Tees (BIANCO, 2006). Neben diesen Verwendungsrichtungen könnten in Zukunft jedoch alternative Nutzungsmöglichkeiten in den Vordergrund des Interesses geraten. Dabei hat die Artischocke nach Meinung von FOTI et al. (1999) ein großes Potential als Biomasselieferant zur Energiegewinnung sowie zur Gewinnung ernährungsphysiologisch hochwertiger Öle (BIANCO, 2006).

2.5. Kultivierung

Nach BRAND (1999) sollte das Ziel eines kontrollierten Anbaus von Blattkulturen in der Ernte der vollständig entwickelten grundständigen Blattrosette liegen. Grundlage einer erfolgreichen Bestandesetablierung sind **Standorte**, die sich durch tiefgründige Böden auszeichnen und nicht zur Staunässe neigen (HANNIG & EICH, 2001). Vorzugsweise stellen lehmige Sande bis sandige Lehme optimale Bodenbedingungen für die Kultivierung der Artischocke dar (BAIER & HANNIG, 1998). In weiteren Publikationen wird auf die Vermeidung von Bodenverdichtungen sowie auf ausreichende Grundwasserstände von 90 bis 120 cm hingewiesen (MARQUARD & KROTH, 2001).

Die **Etablierung des Bestandes** wird durch Direktsaat realisiert. Obwohl der Saatgutbedarf hoch ist, wird die Direktsaat der Pflanzung aus Kostengründen vorgezogen (BAIER & HANNIG, 1998). Diese Meinung vertreten auch WAGENBRETH et al. (1996), die darüber hinaus für den einjährigen pharmazeutisch ausgerichteten Artischockenanbau Sorten mit ausreichender Homogenität und v. a. Saatgut von hoher Keimfähigkeit fordern. Daneben muss für das Direktsaatverfahren das Saatbett sorgfältig hergerichtet sein, um einen einheitlichen Aufgang zu gewährleisten (MARQUARD & KROTH, 2001). Zum Einsatz kommen Sägeräte mit Einzelkornablage, die das Saatgut bei einem Reihenabstand von 50 – 75 cm und einer Aufwandmenge von 4,5 – 10 kg/ha

aussäen (HANNIG & EICH, 2001). Realisiert werden dabei Bestandesdichten von 70.000 bis 80.000 Pflanzen pro Hektar, die deutlich über den Bestandesdichten im Gemüseanbau liegen (BAIER & HANNIG, 1998). In der Praxis⁴ werden wesentlich höhere Bestandesdichten angestrebt, um in der Summe der Schnitte hohe Flächenerträge zu garantieren. Hinsichtlich des Aussaattermins sprechen zwei Gründe gegen eine zeitige Aussaat im Frühjahr (vor Ende April/Anfang Mai). Wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, stellt die Frostempfindlichkeit der Artischocke einen limitierenden Faktor in Bezug auf eine mehrjährige Produktion in gemäßigten Klimazonen dar. So wird nach BAIER & HANNIG (1998) ein Kulturbeginn nicht vor Anfang Mai empfohlen. Dies ist auch der Zeitpunkt, an dem die erforderlichen Bodentemperaturen erreicht sind, um einen erfolgreichen Keimverlauf zu garantieren (WAGENBRETH et al., 1996). Ein zweiter Aspekt im Zusammenhang mit einer zu frühen Aussaat stellt die Tendenz zur Schosserbildung dar. So könnte durch eine zeitige Aussaat die Ernte zu einem früheren Zeitpunkt realisiert werden, doch haben eigene sowie externe Untersuchungen gezeigt, dass auf diese Weise der prozentuale Anteil an Blütenständen zum Zeitpunkt der Ernte sehr hoch ist (HANNIG & EICH, 2001; MATTHES, 2002). So wurden beispielsweise bei einer Aussaat Mitte April bis zu 72 % blühende Pflanzen im Bestand gefunden, während eine Aussaat Ende April zu lediglich 27 % blühender Pflanzen führte. Blütenstände wurden bei Aussaatterminen ab Mitte Mai nicht gebildet. Im Hinblick auf eine optimale Quantität und Qualität der Blattdroge empfehlen HANNIG & EICH (2001) sowie WAGENBRETH et al. (1996), das Saatgut nicht vor Anfang Mai auszubringen.

Aus der hohen Biomasseproduktion resultiert ein hoher Nährstoffentzug bzw. **Nährstoffbedarf** der Artischocke. Eine ausreichende Nährstoffversorgung der Böden mit P und K sowie eine der Pflanzenentwicklung angepasste N-Düngung ist demnach zwingend erforderlich. HANNIG & EICH (2001) empfehlen eine Nährstoffversorgung der Artischocken mit 60 – 80 kg N, 80 – 100 kg P₂O₅ und 120 – 150 kg K₂O pro Hektar (HANNIG & EICH, 2001). Dieses Nährstoffniveau wird in der Praxis tatsächlich umgesetzt, VOGT⁴ (2008) appliziert über die gesamte Vegetationsperiode eine N-Menge von 230 – 280 kg/ha in Form von KAS (26 %

⁴ VOGT, T., Hofgutkräuter GmbH & Co.: „Anbau von Artischocken für agrimed Hessen w. V.“. Gesprächsnotiz, März 2008.

N). Die N-Applikation sollte in Teilgaben erfolgen. Optimale Applikationstermine sind die Aussaatphase sowie nach der Ernte (HANNIG & EICH, 2001). In Feldversuchen haben EICH et al. (1998) eine negative Korrelation zwischen N-Düngung und CCS-Gehalt beobachtet. Eine Erhöhung der N-Konzentration führte einerseits zu höheren Trockenmasseerträgen, andererseits sanken die CCS-Gehalte in der Droge. Die Ergebnisse dieser Studie resultierten, unter Einbeziehung der N_{\min} -Werte, in einer Aufwandsempfehlung von 90 -120 kg N/ha.

Aufgrund der langsamen Jugendentwicklung und der großen Reihenweiten sind Artischockenbestände einem hohen Unkrautdruck ausgesetzt, so dass die **Bestandespflge** sehr aufwendig ist (BAIER & HANNIG, 1998). Im Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit werden einige Herbizide aufgeführt, die nach § 18 des Pflanzenschutzgesetzes eine Zulassung für die Anwendung im Artischocken-Anbau haben (BVL, 2006). Neben der chemischen Unkrautbekämpfung spielt jedoch nach wie vor die mechanische Bekämpfung von Beikräutern eine wichtige Rolle. So wird sowohl der Einsatz von Reihenfräsen und Hackmaschine als auch die manuelle Unkrautbekämpfung im Artischockenanbau praktiziert (BAIER & HANNIG, 1998).

Die **phytosanitäre Situation** wird beim Anbau von Artischocken zur Blattnutzung als wenig problematisch eingeschätzt. Im Rahmen eines Neuanbaus ist nur mit geringeren Infektionen durch Schaderreger zu rechnen. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die in der Gemüseproduktion auftretenden Schädlinge und Schaderreger auch im Arzneipflanzenanbau auftreten. HANNIG & EICH (2001) berichten von gelegentlichem Befall mit Blattläusen (*Aphididae*) und Mehltau (*Erysiphaceae*), welcher aber keine negativen Auswirkungen auf den Blattertrag und die Drogenqualität hatte. Dagegen konnten im Erwerbsanbau ertragsmindernde Fraßschäden durch die Raupen des Falters Gammaeule (*Autographa gamma*) festgestellt werden, deren Bekämpfung nur durch den Einsatz von zugelassenen Insektiziden zu realisieren ist (VOGT, 2008)⁴.

Der optimale **Erntezeitpunkt** der grundständigen Blattrosette wird in der Fachliteratur durch den Zeitpunkt des Schossens beschrieben und wird durch die

Kombination hoher Blatterträge, einem geringen Schosseranteil sowie hohen Inhaltsstoffgehalten begründet (WAGENBRETH et al., 1996; BAIER & HANNIG, 1998; BRAND, 1999; HANNIG & EICH, 2001). In Deutschland sind bei einem Erntebeginn Anfang bis Mitte August und 5-wöchigem Ernteabstand je nach Herbstwitterung mindestens drei Schnitte möglich. Der kommerzielle Artischockenanbau ist jedoch darauf ausgerichtet, vier bis fünf Schnitte pro Jahr durchzuführen (VOGT, 2008)⁴ um auch hier, wie bereits im Rahmen der Bestandesdichte erwähnt, insgesamt hohe Flächenerträge zu erzielen. Nach SCHNEIDER et al. (2001) konnte in Anbauversuchen in Südamerika 3 bis 4 Monate nach Bestandesetablierung mit der Ernte begonnen werden. Jeder weitere Schnitt war im Abstand von 4 bis 8 Wochen realisierbar. Erntemaschinen (Vollernter, siehe Abb. 2.11a) schneiden die Blätter in einer Höhe von 10 bis 15 cm ab und nehmen das Blattmaterial ohne Bodenkontakt auf, wodurch die Ernte von sauberen Blättern gewährleistet wird.



Abb. 2.11: Erntemaschine (a) zur Artischockenblatternte und Trennung von Blattspreite und Blattstielen (b) (Hofgutkräuter GmbH & Co., 64354 Reinheim, eigene Fotos, 2004, 2008).

Weiterhin gelangen weniger dicke Blattstiele in das Erntematerial, wodurch die Trocknungsdauer entscheidend verkürzt wird (WAGENBRETH et al., 1996; BAIER & HANNIG, 1998). Die erzielten **Drogenerträge** sinken nach SCHNEIDER et al. (2001) mit jedem Schnitt. Im ersten Schnitt lag der Ertrag bei 18 bis 20 t FM je Hektar, zum 4. Schnitt wurden 9 t FM/ha erzielt. VOGT⁴ (2008), der zu einem wesentlich früheren Zeitpunkt mit der Blatternte beginnt, erreicht seine Höchsterträge i. d. R. zum zweiten bzw. dritten Schnitt (ca. 1 t TM/ha), bevor auch hier eine Ertragsdepression mit den folgenden Teilernten einhergeht. Der saisonale Frischmasseertrag reicht von 40 bis 50 t bei Pflanzung bzw. 55 bis 60 t bei

Direktsaat (4 Schnitte). Diese Erträge decken sich angesichts der Schnitthäufigkeit mit den Aussagen von BAIER & HANNIG (1998), die bei dreimaligem Schnitt von 15 bis 40 t FM ausgehen. Flächenerträge von 3,0 bis 3,5 t TM/ha sind realistische Größenordnungen im praktischen Artischockenanbau (VOGT, 2008)⁴. Der Wassergehalt frischer Artischockenblätter liegt bei 80 bis 90 %. Diese Situation stellt hohe Anforderungen an die Nacherntebehandlung.



Abb. 2.12: Trocknung der Artischockenblätter (Hofgutkräuter GmbH & Co., 64354 Reinheim, eigene Fotos, 2004, 2009).

Die **Trocknung** des Blattmaterials sollte schnellstmöglich im Anschluss an die Ernte erfolgen, um Inhaltsstoffverlusten durch Gärungsprozesse und hohe Enzymaktivitäten vorzubeugen (BRAND, 1999). BAIER & HANNIG, (1998) sowie HANNIG & EICH (2001) empfehlen daher den Einsatz durchsatzstarker Band- oder Flächentrockner (siehe Abb. 2.12), die eine ausreichend große Wasserverdunstung gewährleisten. Zur Optimierung des Wasserentzuges ist eine Zerkleinerung des Erntegutes sinnvoll wobei durch Windsichtung die dickeren Blattstiele und Mittelrippen der Blätter von den Blattspreiten getrennt werden können (siehe Abb. 2.11b). Wichtig für eine qualitativ hochwertige Artischockendroge ist die Trocknung bei relativ niedrigen Temperaturen. So fanden HANNIG & EICH (2001) heraus, dass Trocknungstemperaturen oberhalb von 40 °C zu starken Verlusten der thermolabilen CCS-Verbindungen führten. In der durchgeführten Studie bewirkte die Erhöhung der Trocknungstemperatur um jeweils 10 °C eine Halbierung des CCS-Gehaltes.

Die stark hygroskopische Droge erfordert eine Lagerung bei niedriger Luftfeuchte um eine Erhöhung der Restfeuchte über die geforderten 10 % zu vermeiden (BAIER & HANNIG, 1998).

2.6. Wirkung und Indikation

Zu den Hauptanwendungsgebieten der Artischocke als Phytopharmakon zählen funktionelle Erkrankungen, die auf Störungen des Magen-Darm-Traktes zurückzuführen sind. Kommen diese Symptome im Bereich des Oberbauchs vor, werden sie formal als dyspeptische Beschwerden zusammengefasst (SALLER, ITEN & REICHLING, 2001; WEGENER & FINTELMANN, 2003). Dabei treten nach SALLER, ITEN & REICHLING (2001) folgende Krankheitsbilder am häufigsten auf: „Bauchschmerzen, Stuhlunregelmäßigkeiten, Blähungen, Schmerzen unterschiedlicher Art an verschiedenen, oft mehreren Stellen, Konsistenzwechsel des Stuhls“. REGLIN (1993), HAUSDORF (1995) sowie KIRCHHOFF et al. (1994), zitiert nach WEGENER & FINTELMANN (2003) nennen darüber hinaus „Übelkeit und Völlegefühl“. Schätzungen zufolge leiden zwischen 15 und 30 % der Erwachsenen an verschiedenen Formen dyspeptischer Beschwerden, wobei Frauen doppelt so häufig betroffen sind wie Männer (SALLER, ITEN & REICHLING, 2001; WEGENER & FINTELMANN, 2003).

In der Monographie *Cynara* in *Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis*, wird als Anwendungsgebiet von Artischockenblättern (*Cynarae folium*) ebenso die Einnahme gegen dyspeptische Beschwerden genannt (BRAND, 1992). Des Weiteren erschien im Bundesanzeiger von 1988 (korrigiert 1990) die Monographie „*Cynarae folium*“, in der die KOMMISSION E (1988) die Anwendung von Artischockenblättern offiziell gegen dyspeptische Beschwerden anführt. Laut Monographie besitzen ABE choleretische Wirkungen. Die Anwendung von ABE sei ohne Nebenwirkungen. Lediglich das Auftreten von Allergien gegen Artischocken bzw. andere Vertreter aus der Familie der *Asteraceae* ist als Gegenanzeige bekannt. Ähnlich beschreibt RIMPLER (1999) die Verwendung standardisierter ABE zur Senkung dyspeptischer Beschwerden aufgrund ihrer choleretischen Eigenschaften. Arzneistoffe, die derartige Eigenschaften besitzen, induzieren eine Ausschüttung von Gallenflüssigkeit in den Darm. Zusammenfassend werden diese Drogen als Cholagoga bezeichnet, wobei Choleretica den Gallefluss speziell aus der Leber anregen (HÄNSEL, STICHER & STEINEGGER, 1999). Die choleretische Wirkung von ABE wurde erstmals von TRÉMOLIÈRES et al. (1933) entdeckt. Seit dieser Zeit ist sie in zahlreichen

klinischen Studien nachgewiesen und bestätigt worden (RODRIGUEZ, GARCÍA GIMÉNEZ & DE LA PUERTA VÁZQUEZ, 2002; BLASCHEK, 2004). So belegte beispielsweise FINTELMANN (1999) in einer durchgeführten Langzeit-Beobachtungsstudie die anti-dyspeptischen Eigenschaften eines Präparates⁵. Neben der choloretischen Wirkung der ABE sind es v. a. lipidsenkende und hepatoprotektive Effekte, die zur Linderung von Oberbauchbeschwerden beitragen (FINTELMANN, 1998; HOLTMANN et al., 2003). In verschiedenen pharmakologischen Untersuchungen wurden darüber hinaus antiatherosklerotische, antibakterielle, anticholestatische und antioxidative Eigenschaften gefunden (FINTELMANN, 1999; WANG et al., 2003). GEBHARDT (1995) wies zudem in einer In-vitro-Studie die Senkung des Cholesterolspiegels durch die Hemmung der Cholesterol-Synthese sowie die Hemmung der LDL Oxidation nach (zitiert in SCHILCHER & HAGELS, 1999). Mangels Placebo kontrollierter Studien an Patienten mit funktionellen Erkrankungen sind viele der genannten Eigenschaften jedoch noch nicht klinisch belegt (HOLTMANN, 2003).

Die Frage, welche Wirkstoffgruppe für die pharmazeutische Wirksamkeit von ABE verantwortlich ist, wurde in mehreren Publikationen untersucht. So wiesen u. a. BRAND (1992) sowie SCHILCHER & HEIL (1992) auf die Studien von LIETTI des Jahres 1977 hin, in der er der Gesamtheit aller CCS-Verbindungen wertbestimmende Eigenschaften zuschreibt (synergistische Wirkung). Frühere Annahmen, dass Cynarin der entscheidende Wirkstoff für die anti-dyspeptische Wirkung ist (FRÖHLICH & ZIGLER, 1973, zitiert nach GEBHARDT & HANIKA, 1999) sind durch diverse Untersuchungen an Rattenhepatozyten hinfällig geworden (REGLIN, 1993; GEBHARDT & HANIKA, 1999). Vielmehr ist bekannt, dass cynarinhaltige Extrakte eine höhere Wirksamkeit aufweisen als die Reinsubstanz alleine (SCHILCHER & HAGELS, 1999). Als verantwortlich für die Senkung des Blutlipidspiegels nennen WEGENER & FINTELMANN (2003) Mono- und DiCCS-Komponenten, jedoch sind auch Flavonoide, v. a. Luteolin und Scolymosid (Luteolin-7-O-rutinosid) an der Wirkung beteiligt. Diese Aussage wird durch BLASCHEK (2004) bestätigt. Die choloretische, antioxidative und hepatoprotektive Wirkung von ABE konnte in diversen pharmakologischen Untersuchungen auf

⁵ Dieses führte über einen Einnahmezeitraum von 23 Wochen (Median) sowie bei einer mittleren Tagesdosis von 5 Kapseln (à 320 mg ABE) zu einer Linderung der Beschwerden um durchschnittlich 73 %.

Chlorogensäure und Cynarin zurückgeführt werden (CZOK, 1961 und 1973; FRÖHLICH & ZIGLER, 1973; ADZET, CAMARASA & LAGUNA, 1987; MONTINI, 1975, zitiert nach WIEDENFELD, 1997). Nach Meinung von GEBHARDT, REXHEPAJ & FAUSEL (1999) besitzt jedoch Luteolin ein hohes antioxidatives und hepatoprotektives Potential, welches nach Meinung von FINTELMANN (1999) auf alle phenolischen Verbindungen zurückzuführen ist. ADZET, CAMARASA & LAGUNA (1987, zitiert nach SCHILCHER & HEIL, 1992) führen die hepatoprotektive Wirkung von ABE auf die Anwesenheit von Cynarin zurück. Für die Hemmung der Cholesterin-Biosynthese sind vermutlich Luteolin sowie dessen Aglykon Cynarosid verantwortlich (FINTELMANN, 1999; GEBHARDT & HANIKA, 1999). Den Bitterstoffen wird aufgrund ihrer Instabilität keine pharmakologische Wirksamkeit anerkannt (WEGENER & FINTELMANN, 2003).

Im deutschen Arzneimittelverzeichnis *Rote Liste* sind 22 Präparate aufgeführt, die entweder als Monopräparat oder in Kombination mit anderen Pflanzenextrakten (Kombipräparate) ABE enthalten (ROTE LISTE, 2001). Über diese apothekenpflichtigen Präparate hinaus werden in Deutschland viele ABE-haltige Präparate als Nahrungsergänzungsmittel angeboten, die zur Linderung dyspeptischer Beschwerden beitragen sollen.

2.7. Qualitätsanforderungen an die Droge

Die Verwendung frischer bzw. getrockneter Blätter der Artischocke als Ausgangssubstanz zur Herstellung pharmazeutischer Produkte erfordert die Einhaltung von Qualitätskriterien, die in der Regel in offiziellen Arzneibuchmonografien dokumentiert sind. Im deutschen Arzneibuch ist keine Eintragung zur Artischockendroge zu finden, während das europäische Arzneibuch (*Ph. Eur.*) eine solche Monographie enthält. Im Falle der Artischocke spielen auch das französische Arzneibuch (*PFX*) sowie das brasilianische Arzneibuch (*Brasil 3*) eine entscheidende Rolle in der Festlegung dieser Qualitätsstandards. In den Qualitätsanforderungen nach BRAND (1999) wird darüber hinaus auf folgende Qualitätsparameter hingewiesen:

Tab. 2.3: Qualitätsanforderungen an die Artischockendroge (BRAND, 1999).

Makroskopie	ausschließliche Verwendung von Artischockenblättern (<i>Cynarae folium</i>)
Sensorik	schwach aromatischer Geruch und leicht salziger, dann sehr bitterer Geschmack
Dünnschichtchromatographie	Fingerprintprüfung auf CCS und Flavonglykoside
Trocknungsverlust	ca. 75 – 90 %, bestimmt mit 1 g geschnittener Blätter, 100 – 105 °C/2 Stunden
Extraktivstoffe	ca. 2,5 – 7 % extrahierbare Bestandteile
Wirkstoffgehalt	0,1 – 7 % CCS; 0,03 – 0,3 % Flavonoide

Die für den Anbau und die Vermarktung wichtigen Qualitätsanforderungen wurden von BAIER & HANNIG (1998) zusammengestellt. Demnach darf die Droge ausschließlich Blattspreiten und Blattrippen enthalten. Schosser dürfen in der Droge nicht enthalten sein. Die natürliche Farbe der Blätter muss weitestgehend erhalten sein während der Anteil an abgestorbenen oder fermentierten Blättern bei null liegen sollte. Hinsichtlich des Anteils fremder Bestandteile ist ein Gehalt von 2 % nicht zu übersteigen. Die physikalisch-chemischen Qualitätsanforderungen entsprechen denen der allgemein gültigen Regelungen des europäischen Arzneibuches, wonach die Restfeuchte der Droge maximal 10 % und die Gesamtasche maximal 13 % betragen darf. Die Schwermetalle Cadmium und Blei dürfen die Höchstmengen von max. 0,2 mg/kg (Cd) bzw. max. 5 mg/kg (Pb) nicht überschreiten.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. Versuchsstandorte

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurden an drei Versuchsstandorten des Instituts für Pflanzenbau & Pflanzenzüchtung I, Lehrstuhl für Pflanzenbau der Justus-Liebig-Universität Gießen, realisiert:

1. Versuchsstation `Weilburger Grenze`, Gießen (GI),
2. Versuchsstation Rauschholzhausen (RH),
3. Gefäßversuchsstation `Phytotron`, RH.

Zu Vergleichszwecken wurden Ergebnisse des Erzeugerbetriebes Hofgutkräuter GmbH & Co. KG, Reinheim hinzugezogen.

3.1.1. Standort Gießen – `Weilburger Grenze`

Die Versuchsstation `Weilburger Grenze` ist im Lahntal in unmittelbarer Nachbarschaft zur Stadt Gießen/Lahn (Hessen) am südwestlichen Rande des Vogelsberges auf einer Höhe von 158 m über NN gelegen (50° 36´ 11´´ Nord, 8° 39´ 17´´ Ost). Sie wird durch einen braunen Aueboden vom Typ allochtone Vega bestimmt, welcher aus jungem, umgelagertem Solummaterial entstanden ist. Der A_n-Horizont enthält organische, biologische aktive Substanzen und weist einen Tongehalt von 28 – 33 % auf (Bodenart = schluffiger Ton (Tu)). In Anlehnung an den Ackerschätzungsrahmen von 1982 wird der Boden mit einer Ackerzahl von 60 Bodenpunkten bewertet.

Tab. 3.1: Allgemeine Kennzahlen und Nährstoffversorgungsgrad des Bodens am Standort Gießen.

pH-Wert	P ₂ O ₅ [mg/100g Boden]	K ₂ O [mg/100g Boden]	C-Gehalt [%]	N-Gehalt [%]	C/N- Verhältnis	nFK** [mm]
6,0 – 6,4	16 – 45	12 – 33	1,35 – 1,48	0,15 – 0,16	10:1	190

** nutzbare Feldkapazität, bezogen auf 100 cm Bodentiefe

Der Standort Gießen ist durch eine mittlere Jahrestemperatur von 8,9 °C sowie eine Niederschlagssumme von 638 mm gekennzeichnet.

Dabei ist im Mittel der letzten 50 Jahre eine konstante Zunahme der Lufttemperatur bis zum Monat Juli zu erkennen (Abb. 3.1), bevor eine stetige Temperaturabnahme bis zu den Minima in den Monaten Dezember und Januar folgt.

Die Niederschlagsverteilung zeichnet sich durch kräftige Niederschläge in den Sommermonaten sowie im Dezember aus. Dabei fällt ca. ein Drittel der Niederschläge in den für das Pflanzenwachstum entscheidenden Monaten Mai bis August (Abb. 3.2).

Wie aus Abbildung 3.1 hervorgeht, lag die mittlere Lufttemperatur des Versuchsjahres 2003 über die gesamte Vegetationsperiode von April bis Oktober um 2 °C bis 3 °C über dem langjährigen Mittel. Im Jahresmittel wurde eine Lufttemperatur von 10,5 °C gemessen, wobei der August mit 22 °C der heißeste Monat war. Die mittlere Lufttemperatur des Versuchsjahres 2004 lag mit 10,9 °C ebenso um 2 °C über dem langjährigen Mittel der vergangenen 50 Jahre. Wie im Jahr zuvor war der August mit annähernd 20 °C der heißeste Monat, während 2005 ähnliche Temperaturen im Juli gemessen wurden. Hier lag die mittlere Jahrestemperatur bei 10,3 °C.

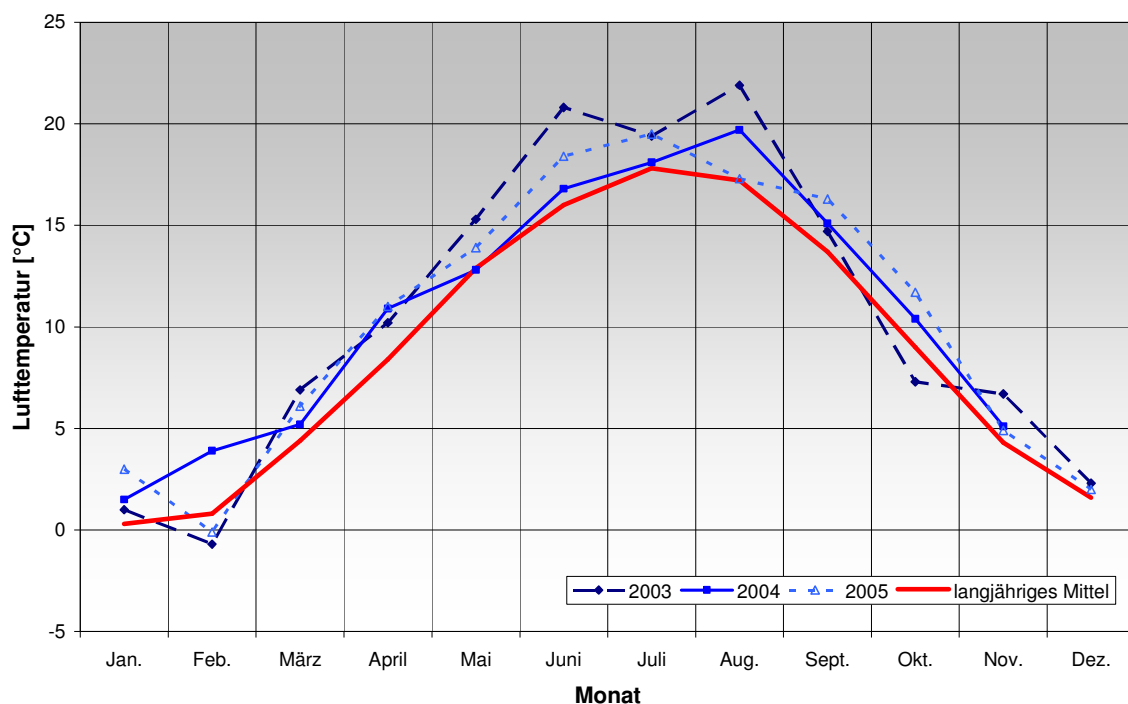


Abb. 3.1: Mittlere Lufttemperatur [° C] der Jahre 2003 – 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Gießen.

Die mittlere Niederschlagssumme betrug im Jahre 2003 561 mm und lag somit um 77 mm unter dem langjährigen Mittel. Im April 2003 fehlten im Vergleich zum langjährigen Mittel ca. 10 mm Niederschlag, während in den Monaten Mai bis Juli sehr kurze und intensive Niederschläge für eine ausreichende Wasserversorgung sorgten (Abb. 3.2). Dagegen wiesen die für den zweiten und dritten Aufwuchs entscheidenden Monate August bis Oktober keine ausreichenden Niederschlagsmengen auf. Während der Jungpflanzenentwicklung des Jahres 2004 konnte im Monat Mai eine überdurchschnittliche Niederschlagsmenge von 105,2 mm (ca. 15 % der Jahresmenge) festgestellt werden. Dieses Phänomen wiederholte sich im Jahr 2005, in dem in den Monaten April (89,2 mm) und Mai (103,1 mm) ca. 37 % der Jahresmenge fielen. Das Jahr 2004 muss im Vergleich zum langjährigen Mittel als vergleichsweise nasses Jahr angesehen werden, während 2005 mit einer mittleren Niederschlagssumme von lediglich 520 mm als trocken eingestuft werden kann. Eine ausreichende Wasserversorgung während der Vegetationsperiode kann jedoch in beiden Jahren als gegeben betrachtet werden.

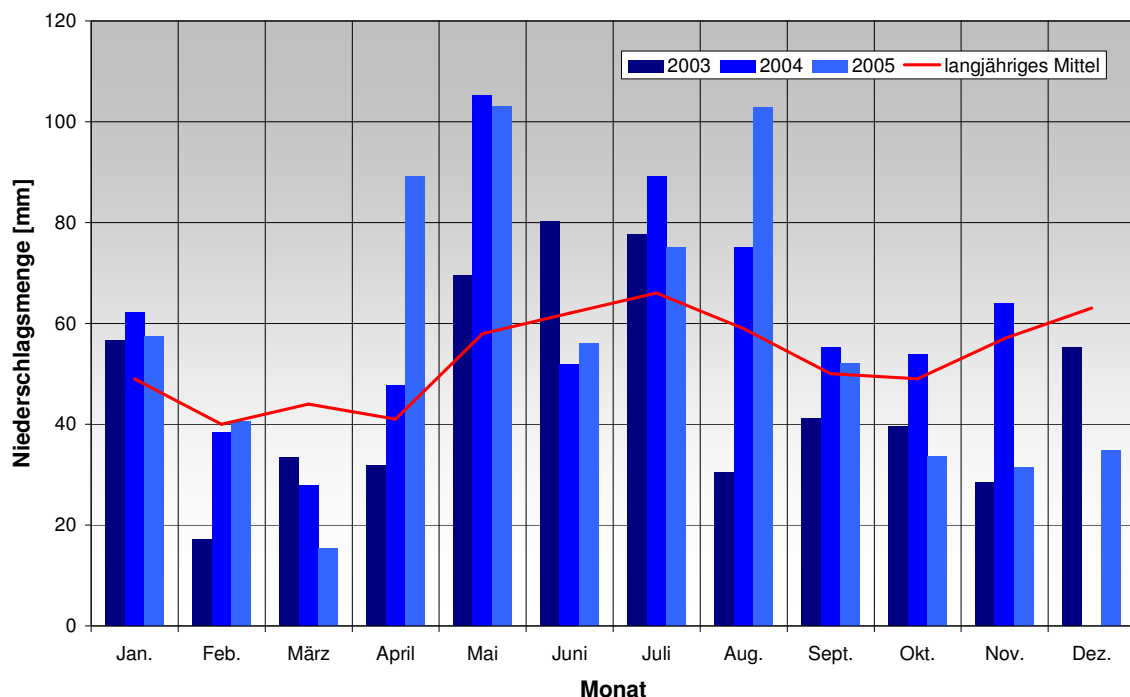


Abb. 3.2: Mittlere Niederschlagsmenge [mm] der Jahre 2003 – 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Gießen.

Die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zur Vegetationszeit zwischen den Versuchsjahren 2003 und 2004 können darüber hinaus mittels der physiologisch wirksamen Temperatursumme ($> 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) verdeutlicht werden (Tab. 3.2). So wurde während der Vegetationszeit 2004 vom Zeitpunkt der Aussaat (Anfang Mai) bis zum Zeitpunkt der letzten Ernte (Anfang Oktober) des ersten Schnittes eine Temperatursumme von $1711 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (cv. 'Green Globe') bzw. $1759 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (cv. 'White Giant') ermittelt, während im Jahr 2003 von der Aussaat (Mitte April) bis Anfang Oktober (Variante 15) eine Temperatursumme von $2189 \text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht wurde. Analog war die Licht- bzw. Strahlungsintensität über diesen Zeitraum in 2003 wesentlich höher (36556 Watt/m^2) als 2004 (ca. 29000 Watt/m^2).

Tab. 3.2: Lichtintensität und Temperatursummen (Temperaturen $> 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) von Aussaat bis Ernte der Artischocken, Standort Gießen.

Jahr	Sorte	Variante	Lichtintensität [Watt/m^2]*			Temperatursumme [$^{\circ}\text{C}$]		
			1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
2003	'Green Globe'	1	16056	10266	7471	831,9	646,4	533,5
		2	17784	10420	6988	938,0	697,7	471,8
		3	19230	10443	6248	1021,8	720,6	412,5
		4	21669	9583	5285	1126,1	695,3	336,4
		5	23255	9070	4628	1228,1	673,7	330,3
		6	24779	8641	-	1358,7	625,1	-
		7	26399	8105	-	1471,2	578,6	-
		8	28189	7457	-	1626,0	503,2	-
		9	29679	6690	-	1741,6	437,5	-
		10	31380	5537	-	1828,5	374,9	-
		11	32367	4979	-	1915,0	343,3	-
		12	33538	-	-	1989,2	-	-
		13	34586	-	-	2060,2	-	-
		14	35305	-	-	2109,6	-	-
		15	36556	-	-	2189,4	-	-
2004	'Green Globe'	1	19882	6736	3990	1010,0	512,2	279,1
		2	22862	5900	-	1249,9	410,1	-
		3	25013	5008	-	1423,2	356,2	-
		4	27887	3319	-	1625,4	225,1	-
		5	29309	-	-	1710,9	-	-
	'White Giant'	1	17763	7131	5077	893,7	526,9	355,6
		2	21472	6129	-	1135,1	458,4	-
		3	23986	5161	-	1334,6	374,4	-
		4	26242	4196	-	1501,6	284,5	-
		5	28552	-	-	1649,9	-	-
		6	29788	-	-	1759,3	-	-

* Die Daten wurden auf der Versuchsstation für Grünlandwirtschaft und Futterbau des Instituts für Pflanzenbau & Pflanzenzüchtung II, Professur für Grünlandwirtschaft und Futterbau in Linden-Forst (ca. 10 km von der Versuchsstation 'Weilburger Grenze' entfernt) erhoben.

3.1.2. Standort Rauschholzhausen – `Versuchsstation & Gefäßversuchsstation`

Der Versuchsstandort Rauschholzhausen ist auf einer Höhe von 200 – 295 m über NN am nordwestlichen Rande des Vogelsberges im Amöneburger Becken (Hessen) gelegen (50° 45' 40'' Nord, 8° 52' 49'' Ost). Dieser Standort wird durch den Bodentyp Parabraunerde dominiert, welcher sich durch eine dynamische Verlagerung von Tonsubstanz aus den oberen in die tieferen Profillbereiche auszeichnet (Tonwanderung). Der Tongehalt dieses schluffigen Lehms (Lu) liegt bei 16 – 18 %, die Ackerzahl beträgt 66 Bodenpunkte.

Tab. 3.3: Allgemeine Kennzahlen und Nährstoffversorgungsgrad des Bodens am Standort Rauschholzhausen.

pH-Wert	P ₂ O ₅ [mg/100g Boden]	K ₂ O [mg/100g Boden]	C-Gehalt [%]	N-Gehalt [%]	C/N- Verhältnis	nFK** [mm]
6,08	14,0	19,7	1,30*	0,15*	8,7:1*	123

* Werte nicht unmittelbar an den Versuchsfeldern erhoben

** nutzbare Feldkapazität, bezogen auf 100 cm Bodentiefe

Der Standort Rauschholzhausen ist durch eine mittlere Jahrestemperatur von 8,2°C sowie eine mittlere Niederschlagssumme von 596 mm charakterisiert. Wie aus Abb. 3.3 hervorgeht, ist im Mittel der letzten 50 Jahre eine stetige Zunahme der Lufttemperatur von Januar bis August zu verzeichnen. Daran schließt sich ein zügiger Temperaturabfall bis Dezember an. Hinsichtlich der Niederschlagsverteilung sind Parallelen zum Standort Gießen festzustellen – v. a. während der Sommermonate Juni bis August wird die Wasserversorgung der Pflanzen durch intensive Niederschläge gewährleistet. Das Versuchsjahr 2004 war, im Vergleich zum langjährigen Mittel, durch eine ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge (Abb. 3.4) als auch durch höhere mittlere Lufttemperaturen gekennzeichnet (Abb. 3.3). Dies gilt sowohl für das Mikroklima am Standort `Versuchsfeld` als auch am Standort `Gefäßversuchsstation`. Zum Zeitpunkt der Aussaat (Anfang Mai) fielen ca. 38 mm mehr Niederschlag, während der für die Jugendentwicklung der Pflanzen wichtige Monat Juni am Standort `Versuchsstation` zu geringe Niederschlagsmengen aufwies (minus 20 mm). Die folgende Vegetationsperiode war durch ausreichend Niederschlag (Ausnahme September) sowie durch hohe Lufttemperaturen gekennzeichnet.

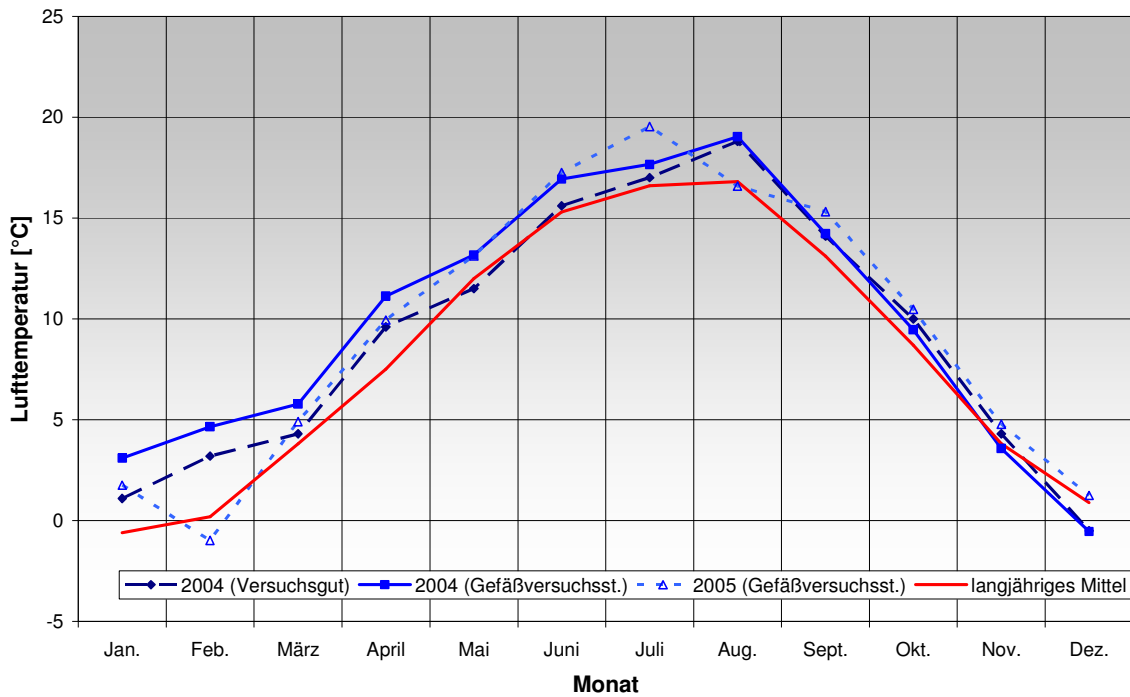


Abb. 3.3: Mittlere Lufttemperatur [° C] der Jahre 2004 und 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Versuchsstation und Gefäßversuchsstation Rauschholzhausen.

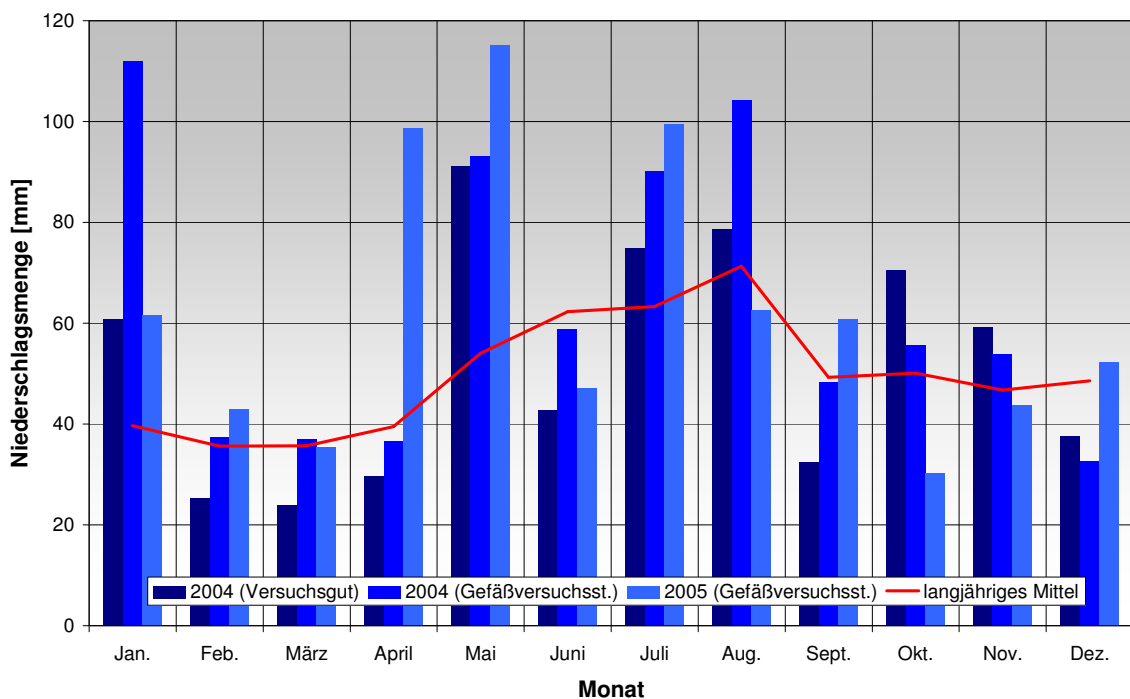


Abb. 3.4: Mittlere Niederschlagsmenge [mm] der Jahre 2004 und 2005 im Vergleich zum langjährigen Mittel, Versuchsstation und Gefäßversuchsstation Rauschholzhausen.

Das Versuchsjahr 2005 war durch starke Niederschläge sowie hohe Niederschlagsmengen während der Monate April, Mai und Juli gekennzeichnet (Abb. 3.4). Allein in diesen drei Monaten fielen 42 % der Jahresniederschlagsmenge. Der Juni war mit 47,1 mm vergleichsweise regenarm, während eine mittlere Lufttemperatur von 17,3 °C auf relativ warme Bedingungen hinweist (plus 2 °C geg. LM). Mit 19,5°C wurde hier die höchste Lufttemperatur gemessen (Abb. 3.3).

Hinsichtlich der Parameter Temperatursumme und Licht- bzw. Strahlungsintensität sind im Vergleich zu den erhobenen Daten am Standort Gießen niedrigere Werte ermittelt worden (vgl. Tab. 3.3 und 3.4). So betrug die Lichtintensität zum ersten Schnitt 26000 – 27000 Watt/m², die Temperatursumme lag bei ca. 1600 °C. Wie aus Tab. 3.4 hervorgeht, zeigen sich zum zweiten und dritten Schnitt Unterschiede zwischen den angebauten Sorten. Sowohl Lichtintensität als auch Temperatursumme weisen bei der Sorte 'White Giant' höhere Werte auf, was eindeutig auf die etwas später realisierten Teilernten zurückzuführen ist.

Tab. 3.4: Lichtintensität und Temperatursummen (Temperaturen > 5 °C) von Aussaat bis Ernte, Standort Rauschholzhausen.

Jahr	Sorte	Ernte-termin	Lichtintensität [Watt/m ²]			Temperatursumme [°C]		
			1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
2004	'Green Globe'	1	17726	5708	3349	904	455	254
		2	20279	5148	-	1124	359	-
		3	22218	4127	-	1283	318	-
		4	24600	2530	-	1443	191	-
		5	25901	-	-	1540	-	-
		6	26846	-	-	1621	-	-
	'White Giant'	1	15887	6047	4417	798	476	323
		2	19265	5192	-	1022	408	-
		3	21367	4391	-	1203	329	-
		4	23370	3279	-	1358	247	-
		5	25365	-	-	1489	-	-
		6	26254	-	-	1595	-	-

3.1.3. Praxisstandort Reinheim – `Hofgutkräuter GmbH & Co. KG´

Die Erzeugergemeinschaft Hofgutkräuter GmbH & Co. KG befindet sich in Reinheim im vorderen Odenwald (Hessen) auf einer Höhe von 170 – 280 m ü. NN. Die Flächen des Betriebes sind durch Parabraunerden mit der dominierenden Bodenart Löß-Lehm gekennzeichnet (40 bis 85 Bodenpunkte). Standortbestimmend sind eine mittlere Niederschlagsmenge von ca. 700 – 800 mm sowie eine mittlere Lufttemperatur von ca. 9,6 °C. Eine Zusatzbewässerung steht nicht zur Verfügung, um Trockenperioden im Frühjahr sowie während der Sommermonate ausgleichen zu können.

Tab. 3.5: Mittlere Lufttemperatur [° C] sowie mittlere Niederschlagsmenge [mm] des langjährigen Mittels, Erzeugerbetrieb Hofgutkräuter GmbH & Co. KG, Reinheim.

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Σ	MW
LT [° C]	0,9	1,6	5,3	9,1	13,7	16,7	18,8	18,2	14,1	9,6	4,8	1,9		9,6
NS [mm]	62	61	75	53	76	71	72	64	66	75	65	79	819	
SD* [h]	43	78	116	173	206	211	232	218	156	104	47	32	1616	

* SD = Sonnenscheindauer

3.2. Versuchsaufbau

3.2.1. Feldversuche

Die Feldversuche wurden in Anlehnung an SCHUSTER (1992) im Rahmen einfaktorieller, vollständig randomisierter Blockanlagen mit vier Wiederholungen und den Artischockensorten `Green Globe´ (Fa. Pharmasaat GmbH, 06556 Artern) und `White Giant´ (Fa. Suba & Unico s.r.l., 47020 Longiano, Italien) durchgeführt. Die Prüffaktoren wurden dabei in allen Versuchsanlagen in die aus Tabelle 3.6 ersichtlichen Faktorstufen untergliedert. Im Jahr 2003 fand die Ernte alle sieben Tage statt, während im Jahr 2004 die Prüfparzellen im Abstand von 14 Tagen geerntet wurden (Tab. 3.7 – „Vegetationsdauer“). Im Jahr 2005 wurde eine tageszeitlich gestaffelte Ernte durchgeführt („Tagesverlauf“), wobei die Faktorstufen im Abstand von zwei Stunden geerntet wurden. Die Aussaat erfolgte manuell Mitte April bzw. Anfang Mai (Tabelle 3.7), wobei jede Pflanzstelle mit drei Samenkörnern belegt wurde.

Nach Erreichen des 2-Blatt-Stadiums fand zur Realisierung einer einheitlichen Bestandesdichte von vier Pflanzen/m² eine Bestandesregulierung statt. Der Reihenabstand betrug dabei 0,75 m, während der Abstand innerhalb der Reihen 0,33 m betrug. Alle Prüfparzellen wiesen eine Parzellengröße von 21 m² auf.

Tab. 3.6: Versuchsdesign – Feldversuche.

Versuchsjahr	Standort	Sorte	Faktorstufen	Wdh.	N
2003	Gießen	`Green Globe´	15	4	60
2004	Gießen	`Green Globe´	5*	3*	15*
		`White Giant´	6	4	20
	Rauischholzhausen	`Green Globe´	6	4	20
		`White Giant´	6	4	20
2005	Gießen	`White Giant´	7	4	28

* Aufgrund der geringen Keimfähigkeit sowie der schlechten Triebkraft musste die Versuchsanlage der Sorte `Green Globe´ am Standort Gießen im Jahr 2004 auf drei Wiederholungen und fünf Faktorstufen reduziert werden.

Um ein einheitliches Bild über die Entwicklung der Pflanzen zu erhalten, wurden im Vorfeld der Ernte jeweils sechs repräsentative Einzelpflanzen/Parzelle festgelegt, die in regelmäßigen Abständen (siehe Tabelle 3.7) manuell in einer Höhe von ca. 10 cm über der Bodenoberfläche abgeschnitten wurden.

Tab. 3.7: Aussaat- und Erntetermine der Feldversuche.

Jahr	Standort	Sorte	Aussaat-termin	Schnitt	Ernte-frequenz	Ernteperiode	
						Beginn	Ende
2003 *	Gießen	`Green Globe´	15.04.	1	7-tägig	25.06.	01.10.
				2	7-tägig	07.08.	15.10.
				3	7-tägig	16.09.	14.10.
2004 *	Gießen	`Green Globe´	03.05.	1	14-tägig	03.08.	28.09.
				2	14-tägig	09.09.	21.10.
				3	-	19.10.	-
		`White Giant´	04.05.	1	14-tägig	27.07.	05.10.
				2	14-tägig	02.09.	14.10.
				3	-	12.10.	-
	Rauischholzhausen	`Green Globe´	04.05.	1	14-tägig	04.08.	13.10.
				2	14-tägig	09.09.	21.10.
				3	-	20.10.	-
`White Giant´	05.05.	1	14-tägig	28.07.	06.10.		
		2	14-tägig	02.09.	14.10.		
		3	-	14.10.	-		
2005 **	Gießen	`White Giant´	02.05.	1	2-stündig	06:00 Uhr	18:00 Uhr
				2			
				3			

* Vegetationsdauer, ** Tagesverlauf

Zur besseren Berechnung der Drogenerträge folgte die Beerntung der gesamten Prüfparzelle unter Gesichtspunkten der unter 3.3.1. beschriebenen Probenaufteilung.

3.2.2. Gefäßversuche

Die Gefäßversuche wurden auf der Gefäßversuchsstation Rauschholzhausen durchgeführt. Versuchsaufbau sowie Prüffaktoren sind den Tabellen 3.8 und 3.9 zu entnehmen.

Tab. 3.8: Versuchsdesign – Gefäßversuche.

Jahr	Pflanzung	Prüffaktor	Prüfstufen	Wdh.	N	Versuchsaufbau
2004	30.04.	A. N-Form	4	8	96	Spaltanlage, nicht randomisiert
		B. N-Dosis	3			
2005	21.03.	A. Tageslänge	3	6	36	Spaltanlage (Klimakammer)
		B. Temperatur	2			
	28.04.	A. N-Form	4	6	96	Spaltanlage
		B. Wasserversorgung	4			

In diesen Versuchsreihen wurde jeweils eine Artischockenpflanze der Sorte 'White Giant' (Fa. Suba & Unico s.r.l., 47020 Longiano, Italien) in ein Mitscherlich-Gefäß (6,2 l) nach vorheriger Vorkultivierung im Folienhaus gepflanzt. Sickerwasser wurde aus den Auffangschalen in regelmäßigen Abständen den jeweiligen Gefäßen wieder zugeführt, um Nährstoffverluste zu vermeiden.

Tab. 3.9: Prüffaktoren und –stufen in den Gefäßversuchen Rauschholzhausen.

Versuchsjahr	Prüffaktor	Faktorstufen
2004	A. N-Form	1. NO ₃ 2. NH ₄ 3. Harnstoff 4. Nitrifikationsinhibitor*
	B. N-Dosis	1. 0,75 g N/Gefäß 2. 1,50 g N/Gefäß 3. 2,50 g N/Gefäß
2005	A. N-Form	1. NO ₃ 2. NH ₄ 3. Harnstoff 4. Nitrifikationsinhibitor*
	B. Wasserversorgung	1. optimal (60 % MWK) 2. Trockenstress (50 % MWK) 3. optimal bis 1. Schnitt, dann Trockenstress 4. Trockenstress bis 1. Schnitt, dann optimal
2005	A. Tageslänge	1. 12 h Licht 2. 14 h Licht 3. 16 h Licht
	B. Temperatur	1. 5 Nächte in Kühlkammer (3 °C) 2. Kontrolle

* auf Harnstoffbasis

Die Faktoren Tageslänge, Lufttemperatur und Wasserversorgung konnten im Außenbereich der Gefäßversuchsstation nicht kontrolliert werden, während in den Klimakammern die Steuerung dieser Parameter nach einem vorgegebenen Plan möglich war (siehe Abb. 3.5).

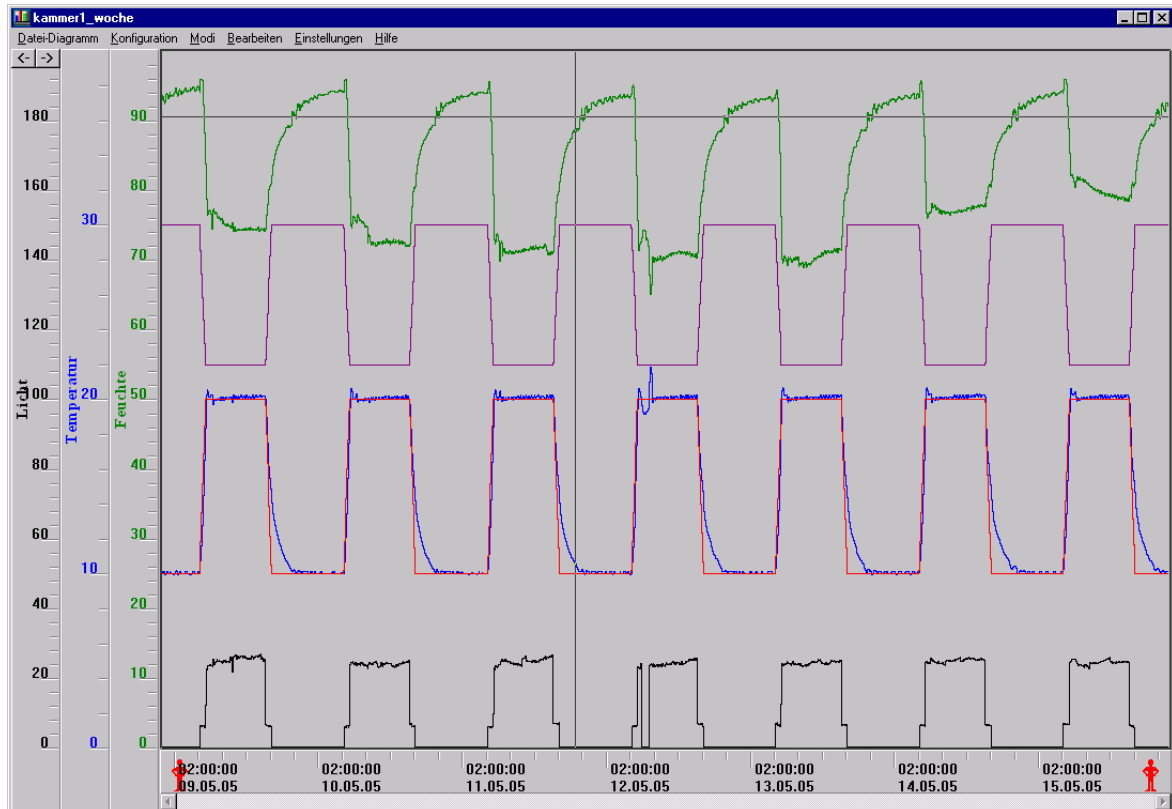


Abb. 3.5: Tageslänge (Licht – schwarze Kurve) und Lufttemperatur (Temperatur – rote und blaue Kurve) von Klimakammer 1 (12 h Tageslicht), Gefäßversuch Rauschholzhausen, 2005.

3.3. Versuchsdurchführung

3.3.1. Feldversuche

Bodenbearbeitung

„Feld 2“ am Standort **Gießen** wurde nach der Winterweizenernte im Oktober 2002 gepflügt. Vor der Aussaat der Artischocken im Jahr 2003 wurde die Versuchsfläche im März abgeschleppt und unmittelbar vor der Aussaat mit der Kreiselegge bearbeitet. Die gleiche Vorgehensweise wurde ein Jahr später zur Frühjahrsaussaat auf „Feld 4“ durchgeführt. Nach der Zuckerrübenernte 2003 wurde am Standort **Rauschholzhausen** die Versuchsfläche gepflügt.

Unmittelbar vor der Artischockenaussaat im Mai 2004 fand die Saatbettbereitung mit der Kreiselegge statt.

Fruchtfolge

Aus Tabelle 3.10 geht die Einordnung der Artischocken-Versuche in die Fruchtfolgen der Versuchsstandorte Gießen und Rauischholzhausen hervor.

Tab. 3.10: Fruchtfolge – Artischocken-Versuche.

Jahr	Ort	Fläche	Vorfrucht			Nachfrucht
			2001	2002	2003	
2003	GI	„Feld 2“	Artischocke (<i>Cynara cardunculus</i> L.)	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	---	Zuckerrübe (<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i> var. <i>altissima</i>)
2004	GI	„Feld 4“	---	Hafer (<i>Avena sativa</i> L.)	Sommerweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Hafer (<i>Avena sativa</i> L.)
	RH	„Böhlacker“	Erbse (<i>Pisum sativum</i> L.)	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Zuckerrübe (<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i> var. <i>altissima</i>)	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)

Aussaat und Bestandesaufbau

Die Bestandesdichte von vier Pfl./m² bei einem Reihenabstand von 75 cm und einem Pflanzenabstand in der Reihe von 33 cm wurde vor der Aussaat festgelegt. Die Aussaattermine sind in Tabelle 3.7 aufgeführt.

Beregnung

In **Gießen** wurden im Jahr 2003 60mm (5./6. Mai) und im Jahr 2004 52 mm (7. Juni) zusätzlich beregnet. In **Rauischholzhausen** wurde nur zum Aufgang der Pflanzen eine niedrig dosierte Bewässerung vorgenommen.

Düngung

Die Parzellen aller durchgeführten Feldversuche erhielten unabhängig des N_{min}-Gehaltes des Bodens (siehe Tabelle 3.11) einheitliche Stickstoff-Gaben. Dabei wurden jeweils zur Aussaat sowie nach jeder Teilernte netto 40 kg N/ha und Parzelle in Form von Kalk-Ammon-Salpeter (KAS) appliziert. Der Nährstoffversorgungsgrad der Böden an den Versuchsstandorten laut Bodenuntersuchungen ist in Tabelle 3.11 dargestellt.

Am Standort **Rauischholzhausen** wurde aufgrund der guten Nährstoffversorgung des Bodens kein zusätzlicher Grunddünger ausgebracht, in **Gießen** erfolgte die Grunddüngung am 06. März 2003 mit einer Aufwandmenge von 80 kg/ha NPK.

Tab. 3.11: N_{min} sowie Nährstoffversorgungsgrad der Versuchsflächen laut Bodenuntersuchung.

Jahr	Standort	N _{min}		P ₂ O ₅ [mg/100 g]	K ₂ O [mg/100 g]	Mg [mg/100 g]	pH
		Bodentiefe [cm]	Gehalt [kg N/ha]				
2003	GI	0 – 30	16,54	18,62	10,82	12,55	6,56
		30 – 60	12,23				
		60 – 90	12,79				
		gesamt	41,56				
2004	GI	0 – 30	12,57	24,64	8,67	12,30	6,67
		30 – 60	13,3				
		60 – 90	12,19				
		gesamt	38,06				
	RH	0 – 30	16,64	28,34	22,34	n. m.	6,3
		30 – 60	17,51				
		60 – 90	14,54				
		gesamt	48,69				

n. m. nicht messbar

Pflanzenschutz

Der Einsatz von Lentagran WP (Fa. Syngenta Agro GmbH, Zulassungs-Nr. 3231-00) gegen einjährige, zweikeimblättrige Unkräuter erfolgte ausschließlich in **Gießen** im Jahr 2003. Die Aufwandmenge betrug 1 l/ha, die Anwendung wurde am 30. Mai 2003 durchgeführt.

Die übrige Unkrautregulierung erfolgte ausschließlich manuell bzw. maschinell (GI: Agria 2100, Fa. Agria, RH: Agria Fräse, Fa. Agria). Gegen die schwarze Bohnenblattlaus (*Aphis fabae*) bzw. Erdflöhe (*Phyllotreta undulata*) wurde „KARATE®“ (mit Zeon Technologie™, Fa. Syngenta Agro GmbH, Zulassungs-Nr. 4675-00) eingesetzt. Die Aufwandmenge betrug dabei 75 ml/ha im Jahr 2003 (23. Juli). Im Jahr 2004 wurden diese Schaderreger mit einer Aufwandmenge von 100 ml/ha bekämpft. In **Rauischholzhausen** wurde auf den Einsatz von Pestiziden verzichtet.

Ernte

Zur Qualitätsuntersuchung wurden repräsentative Einzelpflanzen aus den Versuchspartellen in einer Schnitthöhe von ca. 10 cm geerntet. Nach der Entnahme dieser Einzelpflanzen folgte die Ernte des Partellenrestes nach gleicher Methode.

Gelbe Blätter und evtl. vorhandene Blütenstände sowie Stängel wurden separiert und gewogen. Daraufhin wurden alle grünen Blätter geerntet und verwogen.

Probenaufteilung

Im Anschluss an die Ernte wurden die Einzelpflanzen in ihre jeweiligen Organe bzw. Blattinsertionen aufgeteilt. In Abb. 3.6a wird schematisch die Einteilung der Pflanze in Pflanzenorgane sowie Blattinsertionen dargestellt. Die Zerlegung der Pflanzen nach entwicklungsphysiologischen Gesichtspunkten (Blattalter) erfolgte nach Abb. 3.6b. Hier wurden lediglich die grünen Blätter in Blattspreite und –achse untergliedert.

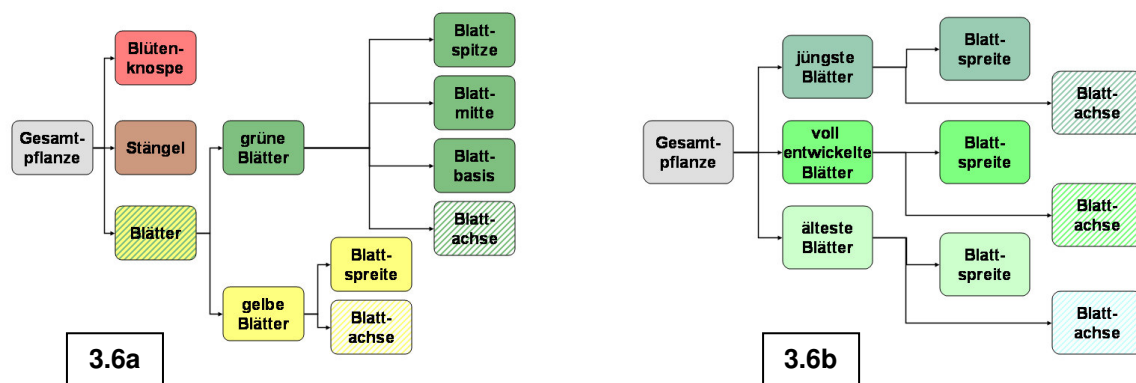


Abb. 3.6: Probenaufteilung nach Pflanzenorgan und Blattinsertion (Abb. 3.6a) und Blattalter (Abb. 3.6b).

Realisiert werden konnte diese Aufteilung aufgrund der Rosettenbildung der Artischocken im vegetativen Stadium. Die inneren Blätter repräsentieren dabei die physiologisch jüngeren Blätter, während die physiologisch älteren Blätter mit den äußeren Rosettenblättern gleichzusetzen sind.

Trocknung, Vermahlung und Lagerung

Die für die Ertragsbestimmung relevanten Mischproben wurden bei 105 °C im Trockenschrank (Fa. Heraeus Typ TU2) bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Trocknung der zur Wirkstoffanalyse bestimmten Mischproben erfolgt bei ca. 39 °C. Im Anschluss an die Trocknung erfolgte die Vermahlung des relativ groben Probenmaterials zu feinem Pulver. Dazu kam in **Gießen** eine Retsch Schlagmühle (Typ SR2 Nr. 61129) mit Dietz Motor (Typ DR 80) zum Einsatz.

In **Rauischholzhausen** erfolgte die Vermahlung der Proben mit Hilfe einer Retsch-Mühle (Typ ZM1). Die vermahlenden Proben wurden in PE-Beutel überführt und verschlossen. Bis zum Beginn der Laboranalysen lagerten die Proben in den Versuchsstationen. Während der Analyse fand die Lagerung der Proben unmittelbar im Labor (Zimmertemperatur) bzw. im Probenkeller (15 °C) statt.

3.3.2. Gefäßversuche

Ansetzen der Gefäße und Pflanzung

In den Jahren 2004 und 2005 wurden Mitscherlich-Gefäße mit einem Fassungsvermögen von 6,2 l und einem Gefäßgewicht von 1250 g verwendet. Das Bodensubstrat bestand aus einem Boden-Sand-Gemisch im Verhältnis 1 : 2 (2000 g bzw. 4000 g). Verwendet wurde ortsüblicher Lößboden vom Standort Rauischholzhausen. Bei dem verwendeten Sand handelte es sich ebenfalls um ortsübliches Material einer nahe gelegenen Kiesgrube. Die Bestimmung der maximalen Wasserkapazität erfolgte nach max. Wassersättigung und durch Auswiegen der Gefäße.

Um ein gleichmäßiges Anwachsen der Pflanzen in den Gefäßen zu garantieren, wurden das Saatgut ca. fünf Wochen vor Versuchsbeginn in Multitopfpaletten ausgesät und die Pflanzen im Folienhaus bis zum 2-Blatt-Stadium vorgezogen. Als Anzuchtsubstrat diente dabei herkömmliche Anzuchterde. In die vorbereiteten Gefäße wurde jeweils ein Setzling gepflanzt und ausreichend gewässert.

Die Pflanzung erfolgte im Versuchsjahr 2004 am 30. April, im Jahr 2005 am 28. April. Durch den von äußeren Klimafaktoren unabhängigen Klimakammerversuch konnte hier bereits am 21. März 2005 die Pflanzung der Gefäße realisiert werden. Nach etwa drei Wochen wurde die Substratoberfläche mit einer Schicht aus Kies abgedeckt, um Unkrautwuchs zu unterdrücken und Substratauswaschung durch starke Regenfälle zu vermeiden.

Düngung

Die Versorgung mit Stickstoff war versuchsabhängig und ist Tabelle 3.12 zu entnehmen. Die N-Düngung erfolgte jeweils zum Ansetzen der Gefäße sowie nach jedem durchgeführten Schnitt.

Darüber hinaus wurden alle Gefäße zu Versuchsbeginn mit folgenden Nährstoffen versorgt: Phosphor: 0,8 g $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; Kalium: 2,0 g K_2SO_4 ; Magnesium: 0,25 g MgSO_4 ; Calcium: 5,0 g CaCO_3 .

Tab. 3.12: N-Versorgung der Gefäßversuche.

Jahr	Versuchsfrage	N-Form	N-Menge [g/Gefäß]
2004	N-Form und N-Konzentration	NO_3 ¹	0,75
		NH_4 ²	1,50
		Harnstoff ³	2,50
		Nitrifikationsinhibitor ⁴	
2005	Tageslänge und Temperatur	NO_3 ¹	1,50
	N-Form und Wasserversorgung	NO_3 ¹ NH_4 ² Harnstoff ³ Nitrifikationsinhibitor ⁴	1,50

¹ Lösung (2 g N/100 ml)

Ammoniumnitrat

CaNO_3

² Lösung (2 g N/100 ml)

Ammoniumsulfat

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21 % N, 24 % S)

³ feste Form (46 g N/100 g)

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (46 % N)

⁴ Dicyandiamid (auf Harnstoff-Basis, 33 % N)

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (46 % N + DCD)

Wasserversorgung

Die Bestimmung der maximalen Wasserkapazität (MWK) vor Versuchsbeginn bildete die Grundlage zur Steuerung der Wasserversorgung der Pflanzen. Eine optimale Versorgung mit Wasser war in Abhängigkeit des Wasserverbrauchs der Pflanzen bei 60 - 80 % der MWK gegeben. Das Eigengewicht der Gefäße zuzüglich Boden-Sand-Substrat, Kiesauflage und Pflanzenmaterial bildeten zusammen mit der optimalen Wasserkapazität das Sollgewicht der Gefäße. Auf dieses Sollgewicht wurde die Wasserversorgung wöchentlich während der Vegetationsperiode eingestellt.

Pflanzenschutz

Die Gefäßversuche wurden in den Jahren 2004 und 2005 z. T. stark von der schwarzen Bohnenblattlaus (*Aphis fabae*) befallen, welche mittels „PIRIMOR®-GRANULAT“ (Fa. Syngenta Agro GmbH, Zulassungs-Nr. 2470-00) am 09. Juni 2004 bekämpft wurde. Im Versuchsjahr 2005 fand die Bekämpfung am 30. Mai sowie 23. Juni mit „KARATE®“ (mit Zeon Technologie™, Fa. Syngenta Agro GmbH, Zulassungs-Nr. 4675-00) und am 20. Juli mit „PIRIMOR®-GRANULAT“ statt.

Ernte und Nacherntebehandlung

Jede Pflanze wurde ca. 10 cm oberhalb der Kiesauflage abgeschnitten und einzeln verwogen, um ein korrektes Ergebnis zur Bestimmung des TM-Ertrages zu erhalten. Im Laufe der Vegetationsperiode konnten alle Gefäßversuche dreimal geerntet werden.

Die Pflanzen des Gefäßversuches 2004 wurden analog den Abbildungen 3.6a/b (siehe Abschnitt 3.3.1 – Probenaufteilung) nach Pflanzenorganen und Blattalter aufgeteilt. Von den Pflanzen der Versuchsreihen 2005 wurden ausschließlich die grünen Rosettenblätter geerntet und zur weiteren Untersuchung verwendet. Gelbe Blätter sowie Blütenstände (incl. Stängel) wurden nach der Ernte entsorgt. Die Trocknung erfolgte analog Abschnitt 3.3.1. Mit Hilfe einer Hammer-Mühle (Raubauz Original Typ A, Fa. Maschinenfabrik O. Herbold, Meckenheim) wurden größere Erntemengen sowie die Blütenstände und Stängel vermahlen. Kleinere Mengen wurden in einer Schlagrotor-Mühle (SR2, Fa. Retsch GmbH u. Co. KG, Haan) vermahlen. Das Probenmaterial wurde anschließend in Papiertüten bei Zimmertemperatur bzw. 15 °C gelagert.

3.4. Versuchsbegleitende Maßnahmen und Messungen

Zur Kennzeichnung des Entwicklungsverlaufes der Artischocken in den durchgeführten Feldversuchen wurde im Abstand von sieben bis 14 Tagen an sechs repräsentativen Einzelpflanzen die Bestimmung der Blattanzahl, die Messung der Parameter Blattlänge, Blattbreite und Wuchshöhe sowie die Messung des Chlorophyll-Content-Index vorgenommen. In den Gefäßversuchen geschah dies an jeder einzelnen (Klimakammer) bzw. jeder zweiten Pflanze.

Bestimmung der Blattanzahl und Anzahl an Blütenständen

Es wurden alle grünen und gelben (seneszenten) Rosettenblätter gezählt. Dabei blieben abgestorbene Rosettenblätter und Blätter, die als Hochblätter während der Differenzierungsphase zu identifizieren waren, unberücksichtigt. Blätter, die über basale Seitentriebe („Kindl“) eindeutig der jeweiligen Pflanze zuzuordnen waren wurden mitgezählt. Während der regelmäßigen Bestimmung der Blattanzahl wurde die Anzahl an Blütenknospen bzw. an bereits vorhandenen Blütenständen

notiert. Zum Zeitpunkt der Ernte wurde zu Zwecken der Bestimmung des Gesamtertrages zudem ihr Gewicht (inkl. Haupttrieb bzw. Stängel) bestimmt.

Messung von Blattlänge, Blattbreite und Wuchshöhe

Die Messung der Blattlänge und Blattbreite wurde an einem der ältesten Rosettenblätter einer Pflanze vorgenommen.

Dabei wurde die Blattlänge von der Blattbasis bis zur Blattspitze gemessen, während die Messung der Blattbreite an der breitesten Stelle der Blattspreite erfolgte. Um einen Eindruck über das Längenwachstum der Artischocken zu erhalten, wurde die Höhe der Pflanze vom Boden her bestimmt.

Messung des Chlorophyll-Content-Index (CCI)

Zu jeder Teilernte bzw. zu jedem Schnitt erfolgte die Messung des CCI an zwei oder drei willkürlich gewählten Blättern einer Artischocke. Zur Feststellung des CCI diente der `Chlorophyll Content Meter – ADC: OSI CCM 200´ der Firma ADC BioScientific Ltd. Seine Funktionsweise beruht auf der Messung der vom Blatt in zwei Wellenlängenbereiche transmittierten Lichtmenge, in denen die Lichtabsorption von Chlorophyll verschieden ist. Im roten Bereich wird Chlorophyll stark absorbiert, im infraroten Bereich ist die Absorption nahezu Null. Das von den Photodioden eingefangene Licht wird in verschiedene Signale umgewandelt, aus denen der CCI berechnet und angezeigt wird. Dieser Messwert gibt Aufschluss über die Pigmentierung, v. a. den Chlorophyllgehalt des Blattes.

3.5. Wirkstoffanalyse (HPLC)

Die Proben wurden am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I der Justus-Liebig-Universität Gießen, Lehrstuhl für Pflanzenbau, mittels HPLC-DAD untersucht. Die verwendete Methode wurde von BRAND und WESCHTA (1991) etabliert und dient seither als Standardmethode zur Bestimmung von Polyphenolen in der Artischockendroge. Im Laufe der Laboranalysen wurden einige Anpassungen an der vorhandenen Methode vorgenommen. Diese Anpassungen beeinflussten jedoch nicht den chromatographischen Trennvorgang der Wirkstoffkomponenten, sondern bezogen sich lediglich auf systembedingte Schwierigkeiten (siehe 3.4.4.).

Das System bestand aus folgenden Einzelkomponenten⁶:

- WellChrom[®] K-1001 Pumpe mit 10 ml Pumpenkopf (Edelstahl)
- WellChrom[®] Solvent Organizer K-1500
- Degasser (4-Kanal)
- Mischkammer
- Basic Marathon Autosampler, Spark Marathon⁷
- Trennsäule Phenomenex[®] Synergi 4u Hydro-RP 80A (250 x 4,6 mm)⁸
- Vorsäule Phenomenex[®] Security Guard HPLC Guard Cartridge System
- Säulenofen mit Thermostat, Techlab⁹
- Dioden-Array-Detektor WellChrom[®] K-2007
- HPLC-Software EuroChrom[®] for Windows Basic Edition Vers. 3.05

3.5.1. Probenaufbereitung

Von den auf den Versuchstationen getrockneten und fein zermahlenden Proben wurden 50 mg ($\pm 5\%$) in einen 50 ml-Messkolben¹⁰ eingewogen. Die anschließende Extraktion der phenolischen Verbindungen fand im Ultraschallbad nach Zugabe von 12,5 ml Methanol (p. a., Fa. Roth, Karlsruhe)/Wasser (bi-dist) (80/20, v/v) statt. Eine Kühlung des Ultraschallbades war nicht notwendig, da die Extraktionstemperatur 40 °C nicht überstieg¹¹.

Die extrahierte Probenlösung wurde im Anschluss mit 12,5 ml Wasser (bi-dist) verdünnt, um auf eine Analysenlösung im Verhältnis 40/60 v/v (Methanol/Wasser) zu kommen. Ca. 7 ml dieser Lösung wurden nach dem Umfüllen in ein 10 ml-Reagenzglas für 15 min bei 5000 bis 6000 U/min zentrifugiert (Hettich Universal 2S, Typ 1300, Fa. Hettich, Tuttlingen). Mit Hilfe einer Luerspritze (Fa. Graf Fortuna) sowie eines Mikrofilters (Rotilab, 13 mm/0,45 μm , PVDF, Fa. Roth, Karlsruhe) wurde der klare Überstand in HPLC-Vials überführt.

⁶ Fa. Knauer, Berlin

⁷ Fa. Spark Holland, Emmen, Niederlande

⁸ Fa. Phenomenex, Aschaffenburg

⁹ Fa. Techlab, Erkerode

¹⁰ Die Verwendung dieser Kolbengröße wurde aufgrund der besten Handhabung bei der Einwaage der Proben nach Ausprobieren verschiedener Kolbengrößen festgelegt.

¹¹ Eine Kühlung wäre bei Temperaturen $> 40\text{ °C}$ notwendig gewesen, da in diesen Temperaturbereichen ein signifikanter Abbau der wertgebenden Inhaltsstoffe stattfindet (BRAND & WESCHTA, 1991).

3.5.2. Chromatographische Bedingungen

Im Anschluss an die Probenaufbereitung erfolgte die Analyse in oben beschriebenem HPLC-System. Der durch die Pumpe erzeugte Druck von ca. 150 * 0,1 hPa bewirkte auf der Niederdruckseite einen Sog, durch welchen die Solventen A (H₃PO₄, 0,5 %) und B (Acetonitril, g. g., Fa. Roth, Karlsruhe) in das laufende System gesogen wurden. Auf der Hochdruckseite der Pumpe wurden diese Solventen in der Mischkammer homogenisiert und gelangten zusammen mit der durch den Autosampler injizierten Probe (20 µl) bei einer Flussrate von 1 ml/min in die stationäre Phase (Trennsäule mit Vorsäule). Hier fand bei 30 °C die Trennung der Probenlösung in die einzelnen Komponenten der vorhandenen phenolischen Verbindungen statt. Nach einer Analysenzeit von 50 Minuten wurden diese Komponenten im DAD registriert und bei einer λ-Wellenlänge von 330 nm im Chromatogramm aufgezeichnet. Zu jedem Zeitpunkt der Analyse zeichnete der DAD zusätzlich einen Wellenlängenbereich von 200 nm – 400 nm auf.

3.5.3. Methodenbeschreibung

Die Methode beschreibt einen Gradienten zwischen den Solventen A (H₃PO₄) und B (ACN) vom Zeitpunkt der Probeninjektion ($t_0 = 0$ min) bis zu einer Analysenzeit von $t_1 = 29,30$ min (siehe Abb. 3.7a). Anschließend findet für fünf Minuten ($t_2 = 30,30$ min bis $t_3 = 35,30$ min) ein Spülen der Trennsäule mit 100 % ACN statt, bevor bis zum Zeitpunkt $t_4 = 50,30$ min die Ausgangsbedingungen (A: 94 %, B: 6 %) wieder hergestellt werden. Die Kombination der unter 3.5.2. beschriebenen chromatographischen Bedingungen sowie der nach Lichtwer Pharma AG vorgegebenen Methode führten in dem verwendeten System zu wiederkehrenden Störungen durch das Aufeinandertreffen hoher Konzentrationen der Solventen A und B zum Zeitpunkt t_2 bzw. t_3 (Abb. 3.7a). Nach Auskunft des Herstellers führte vermutlich eine Auskristallisation von Phosphaten in den Kugelventilen der Hochdruckpumpe zu Verstopfungen, was sich in einer gestörten Flüssigkeitsförderung darstellte. Diese war an einem direkten Druckabfall auf 0 hPa zu erkennen. Zur Lösung des Problems wurde ein drittes Solvent (C: H₂O g. g., Fa. MAGV, Rabenau-Londorf bzw. Fa. Roth, Karlsruhe) dem System hinzugefügt.

3.7a

	Time hh:mm:ss	Flow ml/min	Valve %A	Valve %B	Ev. 1	D.In	Wavelength 1
1	000:00:00	1.000	94	6	1	0---	330
2	000:00:02	1.000	94	6	0	1---	330
3	000:00:04	1.000	94	6	1	----	330
4	000:00:06	1.000	94	6	0	----	330
5	000:01:30	1.000	94	6	0	----	330
6	000:06:30	1.000	88	12	0	----	330
7	000:08:30	1.000	82	18	0	----	330
8	000:18:30	1.000	82	18	0	----	330
9	000:19:30	1.000	78	22	0	----	330
10	000:29:30	1.000	78	22	0	----	330
11	000:30:30	1.000	0	100	0	----	330
12	000:35:30	1.000	0	100	0	----	330
13	000:36:30	1.000	94	6	0	----	330
14	000:50:30	1.000	94	6	0	----	330

3.7b

	Time min	Flow ml/min	Valve %A	Valve %B	Valve %C	D.In	Wavelength 1-A
1	0.00	1.000	94	6	0	-	330
2	0.02	1.000	94	6	0	1	330
3	0.04	1.000	94	6	0	-	330
4	1.50	1.000	94	6	0	-	330
5	6.50	1.000	88	12	0	-	330
6	8.50	1.000	82	18	0	-	330
7	18.50	1.000	82	18	0	-	330
8	19.50	1.000	78	22	0	-	330
9	29.50	1.000	78	22	0	-	330
10	31.00	1.000	0	0	100	-	330
11	33.00	1.000	0	0	100	-	330
12	34.50	1.000	0	95	5	-	330
13	39.50	1.000	0	95	5	-	330
14	41.00	1.000	0	0	100	-	330
15	43.00	1.000	0	0	100	-	330
16	44.50	1.000	94	6	0	-	330
17	50.00	1.000	94	6	0	-	330

Abb. 3.7: Zeittafel der HPLC-Methode zur Analyse phenolischer Verbindungen in der Droge der Artischocke. Ursprüngliche Methode nach Lichtwer Pharma AG (3.7a), veränderte Methode nach Matthes (3.7b). Aus: Software EuroChrom® for Windows Basic Edition Vers. 3.05 (2005).

Dieser verhinderte die beschriebene Auskristallisation durch 2-minütiges Spülen der Ventile mit 100 % C (31 – 33 min und 41 – 43 min, siehe Abb. 3.8b). Die in Abbildung 3.7b dargestellte Methode, welche nicht den chromatographischen Trennvorgang der Wirkstoffkomponenten beeinflusste ($t_0 = 0$ min bis $t_1 = 29,50$ min), stellt somit die Grundlage für die hier dargestellten Ergebnisse dar.

3.5.4. Spektrenzuordnung

Zur Bestimmung des Gesamtgehaltes phenolischer Verbindungen (CCS und Flavonoide) in den Blättern der Artischocke war die Etablierung eines Dioden Array Detektors notwendig. Aufgrund der Tatsache, dass mit Hilfe dieses Detektors ein Wellenlängenbereich von mehreren 100 nm aufgezeichnet werden kann, ist eine Zuordnung der aufgezeichneten Spektren zu speziellen, durch ihr Spektrum charakteristische Referenzsubstanzen möglich. So sind in Abbildung 3.9 die Spektren von Chlorogensäure (Abb. 3.9a) und Cynarosid (Abb. 3.9b) im Wellenlängenbereich von 200 – 400 nm dargestellt. Da alle Komponenten der CCS-Fraktion ein der Chlorogensäure identisches Spektrum aufweisen, können diese Komponenten aufgrund ihres Spektrums eindeutig der CCS-Fraktion zugeordnet werden. Analoges gilt für die Fraktion der Flavonoide.

Auch hier können unbekannte Komponenten anhand ihres dem Cynarosid entsprechenden Spektrums der Gruppe der Flavonoide zugeordnet werden. Als Übereinstimmungsminimum zwischen den in der Spektrenbibliothek gespeicherten Referenzspektren und den detektierten Wirkstoffkomponenten wurde eine Korrelation von $\geq 0,925$ vorausgesetzt.

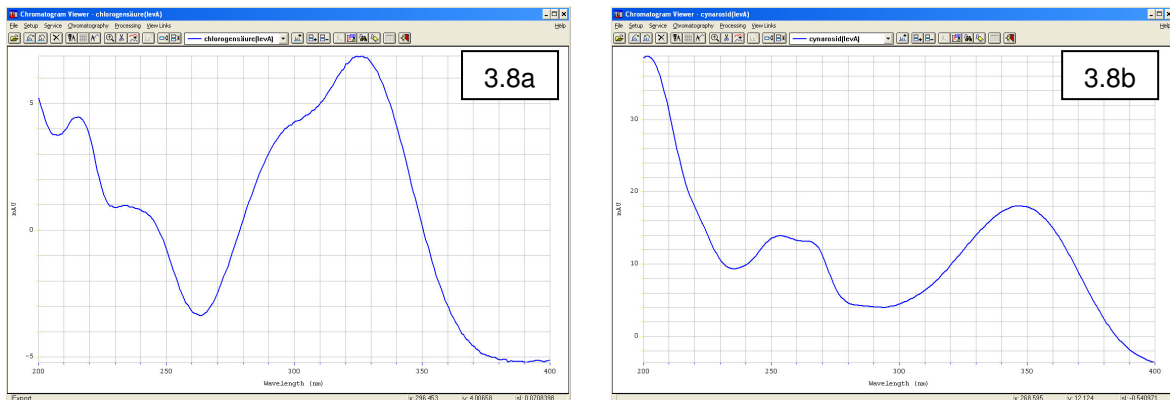


Abb. 3.8: Spektren der Referenzsubstanzen Chlorogensäure (3.8a) und Cynarosid (3.8b). Aus: Software EuroChrom[®] for Windows Basic Edition Vers. 3.05 (2005).

3.5.5. Berechnung des Wirkstoffgehaltes

Nach Zuordnung aller detektierten Komponenten wurden mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel der Rest-CCS-Gehalt (ohne Chlorogensäure, Kaffeesäure und Cynarin) sowie der Rest-Flavonidgehalt (ohne Cynarosid) berechnet. Im Anschluss daran erfolgte die Summierung der Einzelkomponenten und Restgehalte zum Gesamt-CCS- bzw. Gesamt-Flavonidgehalt. Mit nachfolgender Formel 3.1 wurden die in $\mu\text{g/ml}$ angegebenen Gehalte der detektierten Wirkstoffkomponenten in die der Literatur entsprechende Gehaltsangabe % TM umgerechnet:

$$\text{Gehalt [\% TM]} = \frac{\text{Konz. [\mu\text{g/ml}] * 100 \% * Vol. [ml]}}{\text{EW [mg] * 1000}}$$

Formel 3.1: Berechnung des Wirkstoffgehaltes in % der TM.

3.6. Statistische Auswertung

Die vorliegenden Ergebnisse wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 2002 aufbereitet und anschließend mit dem Statistikprogramm SPSS for Windows Vers. 12.0.1 verrechnet.

Zur Prüfung der Voraussetzung auf Normalverteilung wurde der nichtparametrische Test nach Kolmogorov-Smirnov durchgeführt, die Prüfung auf Homogenität der Fehlervarianzen erfolgte nach Levené.

Bei Erfüllung der Testvoraussetzungen konnte eine einfaktorielle (Feldversuche) bzw. mehrfaktorielle (Gefäßversuche) Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt werden. Dabei beziehen sich alle angegebenen Unterschiede, soweit nicht speziell ausgewiesen, auf ein Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ ($p = 0,05$). Die Bestätigung der Hypothese H_0 (es liegen keine signifikanten Unterschiede vor) erfolgte durch $p > 0,05$, die Hypothese H_1 (es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten) wurde bei $p < 0,05$ angenommen.

Der Anschlussstest nach Tukey (bei homogenen Fehlervarianzen) bzw. der Anschlussstest Dunnett-T3 (bei inhomogenen Fehlervarianzen) sollte Aufschluss über die „Lage“ der Mittelwertunterschiede geben. Zusätzlich wurde die Grenzdifferenz (GD) zur Darstellung der minimalen Mittelwertunterschiede berechnet.

Lagen keine normalverteilten Daten vor, konnten mit Hilfe des nicht-parametrischen Tests nach Kruskal-Wallis signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen eines Prüffaktors nachgewiesen werden. Zur „Lage“ der signifikanten Unterschiede bei mehr als zwei Faktorstufen gab der nicht-parametrische Test nach Mann-Whitney Aufschluss. Eine Aussage über evtl. vorhandene Wechselwirkungen konnte mit diesen Tests nicht getroffen werden.

In den dargestellten Tabellen und Abbildungen sind folgende Signifikanzniveaus ausgewiesen: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ und *** $p \leq 0,001$.

4. ERGEBNISSE

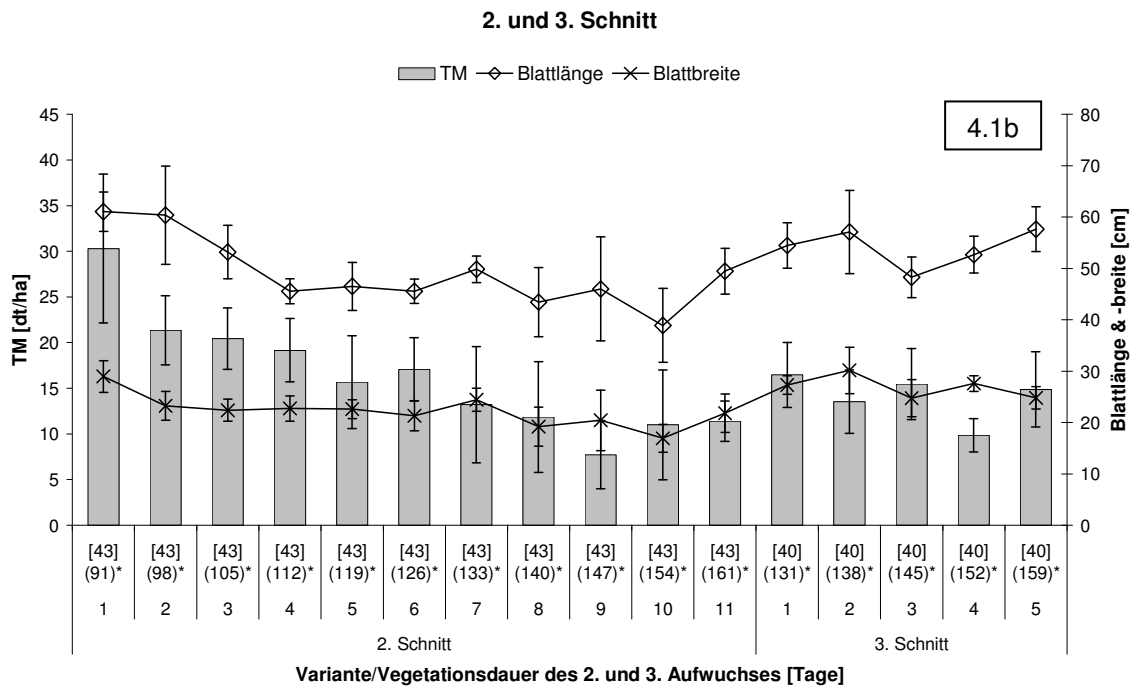
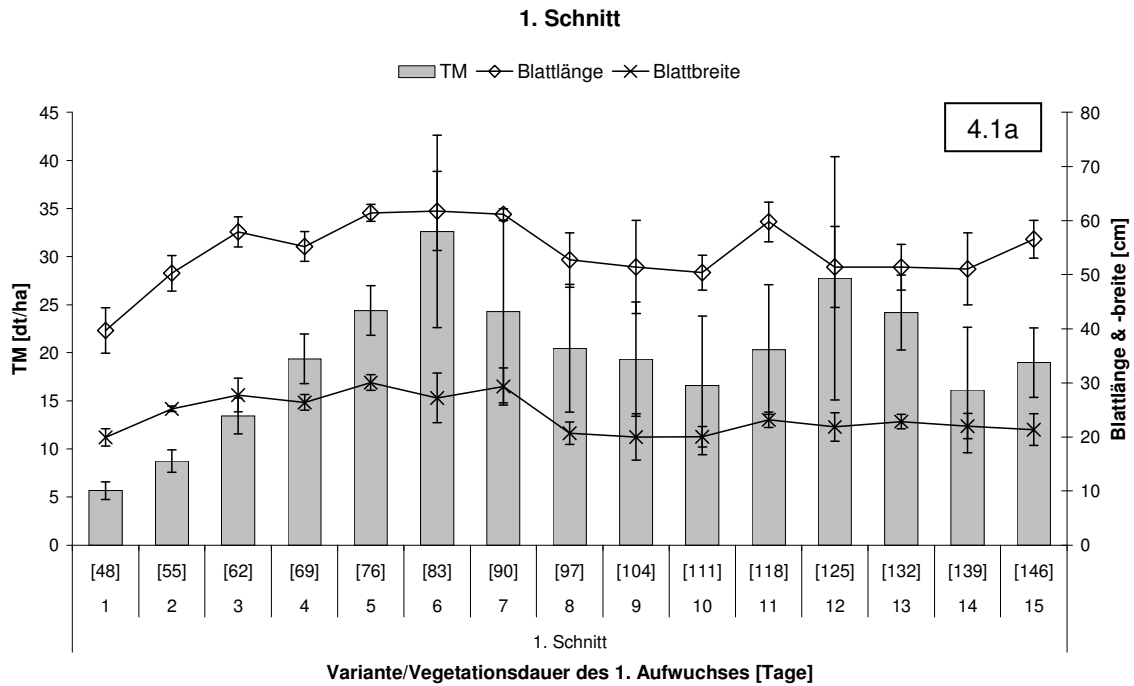
4.1. Wirkung der Vegetationsdauer

4.1.1. Feldversuche am Standort Gießen

4.1.1.1. Bestandesentwicklung, Ertragsstruktur und Blattertrag

Im Versuchsjahr 2003 betrug die Dauer der Keimungsphase der Artischockensamen (Aussaat bis Feldaufgang) bei `Green Globe´ 21 Tage. Im Versuchsjahr 2004 wurden dagegen längere Keimungsphasen von 33 Tagen bei `White Giant´ bzw. 48 Tagen¹⁰ bei `Green Globe´ beobachtet. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die Pflanzen des Jahres **2003** bereits im 6-Blattstadium, und es wurde die erste Teilernte durchgeführt (Variante 1). Die Rosettenblätter wiesen dabei eine mittlere Länge von 40 cm und eine Breite von 20 cm auf (siehe Abb. 4.1a). Die Höhe des geernteten Bestandes betrug 18 cm. Seneszenz konnte in dieser Phase des Wachstums noch nicht bzw. nur sehr vereinzelt beobachtet werden, der Anteil an bereits vergilbten Rosettenblättern betrug ca. 2 % des Erntegutes (siehe Tab. 4.1). Die weitere Entwicklung der Versuchspflanzen war im Jahr 2003 durch einen Zuwachs grüner Rosettenblätter gekennzeichnet. Nach dem Erreichen des 12-Blattstadiums (83 Tage nach Aufgang, Variante 6) wurde über die gesamte Vegetationsperiode keine weitere Änderung in der Anzahl grüner Blätter beobachtet. Demgegenüber nahm der Anteil seneszenten Blätter, Sprossachsen und Blütenstände im Laufe der Vegetationsperiode signifikant zu. Folglich kam es zu einer Reduktion des Anteils grüner Blätter um ca. 70 % am gesamten Erntegut innerhalb des ersten Aufwuchses. Signifikante Veränderungen konnten auch in der Entwicklung der Länge (L) und Breite (B) der Blätter beobachtet werden (L: $p < 0,001$, B: $p < 0,001$). So nahm die Blattlänge bis zum Erreichen des Ertragsmaximums von 32,6 dt/ha in Variante 6 (83 Vegetationstage, VT) auf 62 cm zu. Analog wurde eine Blattbreite von 27 cm gemessen.

¹⁰ Aufgrund der schlechten Keimung wurde die komplette Versuchsanlage der Sorte `Green Globe´ am 28.06.2004 umstrukturiert (siehe Kapitel 3.2.1).



* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
TM [dt/ha]	9,1 ***	7,3 ***	5,2
Blattlänge [cm]	6,9	8,5	7,8
Blattbreite [cm]	3,7	4,7	4,5

Abb. 4.1a & b: Blattlänge und -breite sowie Blatterträge der Schnitte 1 bis 3 (4.1a: 1. Schnitt, 4.1b: 2. & 3. Schnitt) der Artischocke, cv. 'Green Globe' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2003

Die Schwankungen in Blattlänge und –breite im weiteren Entwicklungsverlauf der Pflanzen spiegelten sich auch in den TM-Erträgen wider. Wie in Abbildung 4.1a und b zu erkennen ist, war über die gesamte Versuchsdauer ein enger Zusammenhang zwischen dem Blattertrag und den Parametern Blattlänge und –breite vorhanden. Die längeren und breiteren Blätter nach 118 VT (Variante 11, Abb. 4.1a) führten zu einem zweiten Ertragsmaximum von 27,7 dt/ha nach 125 VT (Variante 12). Während der zweiten Schnittserie konnte eine ständige und z. T. signifikante Verminderung der Blattdrogenerträge sowie der Blattlängen und –breiten von der ersten Teilernte (nach 91 Tagen) bis zur neunten Teilernte (nach 147 Tagen) beobachtet werden (vgl. Abb. 4.1b). Nach einer Vegetationsdauer von insgesamt 91 Tagen (Variante 1) waren der ermittelte TM-Ertrag von 30,3 dt/ha sowie eine mittlere Blattlänge von 61 cm und eine Blattbreite von 29 cm vergleichbar mit dem Maximalertrag und den Größenparametern des ersten Schnittes (vgl. Abb. 4.1a und b). Spätere Erntetermine führten zu kleineren Blättern (40 x 17 cm nach 154 Tagen, Variante 10) und niedrigeren Blatterträgen, wobei die Anzahl von zwölf grünen Rosettenblättern pro Pflanze zur Ernte nahezu gleich blieb. Zum dritten Schnitt wurde im Mittel ein Blattertrag von 14,0 dt/ha ermittelt, die Blätter waren 54 cm lang und 27 cm breit. In dieser Phase des Wachstums konnten für diese Parameter keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden.

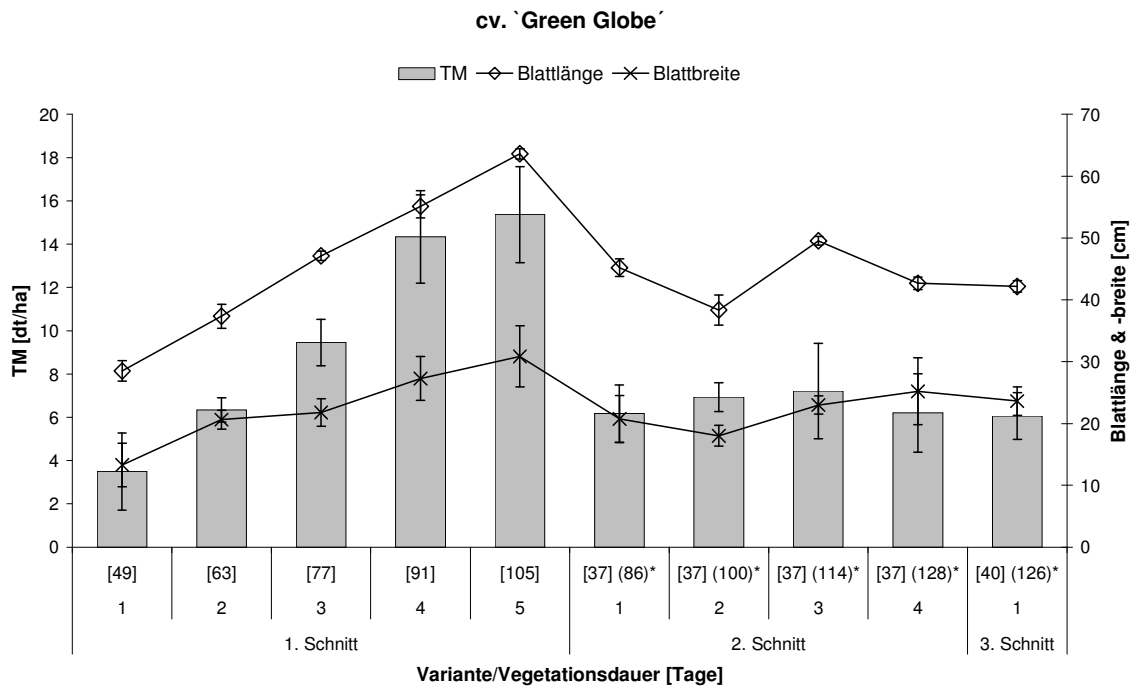
Tab. 4.1. Anteil an seneszenten Blättern (sB), Sprossachsen (Sa) und Blütenständen (Bs) [%] am Gesamtertrag, cv. `Green Globe`, Gießen, 2003.

Var.	1. Schnitt			2. Schnitt			3. Schnitt		
	sB	Sa	Bs	sB	Sa	Bs	sB	Sa	Bs
1	2,27	0,00	0,00	8,19	2,22	2,72	0,00	0,00	4,02
2	3,94	0,00	0,00	9,95	3,26	13,10	0,00	0,00	0,00
3	2,39	0,00	0,00	4,21	1,77	23,09	0,00	0,00	0,00
4	5,11	0,00	0,40	5,90	0,00	16,02	0,00	0,00	0,00
5	4,12	1,44	1,86	0,00	0,00	11,98	0,00	0,00	0,00
6	3,97	0,95	3,67	0,00	2,74	11,53			
7	10,14	3,63	10,08	0,00	0,00	7,89			
8	14,64	4,61	18,36	0,00	0,00	4,24			
9	19,88	9,81	23,86	0,00	0,00	0,00			
10	5,83	9,54	35,38	0,00	0,00	0,00			
11	4,20	5,06	38,89	0,00	0,00	0,00			
12	4,95	10,19	35,33						
13	4,58	9,80	27,19						
14	4,45	12,98	53,11						
15	2,64	12,81	52,02						

Gelbe Blätter sowie Sprossachsen und Blütenstände wurden nach dem ersten Schnitt der Pflanzen in wesentlich geringerem Ausmaß gebildet, so dass der Anteil grüner Blätter am Erntegut zwischen 70 und 100 % lag.

In Abbildung 4.2 ist zu erkennen, dass die Entwicklung der Pflanzen der Sorte **‘Green Globe’** im Versuchsjahr **2004**, gemessen an Blattlänge und –breite, sowie die ermittelten Blatterträge des ersten Schnittes vergleichbar mit den Ergebnissen des Vorjahres sind. Die zweiwöchige Erntefrequenz ergab eine signifikante Zunahme des TM-Ertrages innerhalb des ersten Aufwuchses ($p < 0,001$). Hier stieg die TM von 3,5 dt/ha nach 49 Tagen (Variante 1) bis auf 15,4 dt/ha nach 105 Tagen (Variante 5) an. Gleichzeitig nahmen auch Blattlänge und Blattbreite während dieser Zeit signifikant zu (L: $p < 0,001$, B: $p < 0,001$). Der zweite Schnitt wies dagegen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Teilernten im Drogenertrag auf ($p = 0,814$). Im Mittel wurden hier grüne Blätter mit einem Ertrag von 6,6 dt/ha geerntet.

Die Schwankungen in Blattlänge (38 – 50 cm) und –breite (18 – 25 cm) waren nicht signifikant. In jeder Variante konnten im Mittel acht grüne Rosettenblätter geerntet werden. Ausnahmen bildeten hier Variante 1 (49 VT) mit fünf Blättern sowie Variante 3 zum zweiten Schnitt (114 VT) mit sechs Blättern. Gelbe Blätter, Sprossachsen und Blütenstände wurden zwar über die gesamte Versuchsdauer hinweg registriert, ihr Anteil am Erntegut lag gegenüber 2003 jedoch bei maximal 23 %. Die zum dritten Mal geerntete Variante 1 (insgesamt 126 VT) wies in ihren Ertragsparametern keine Unterschiede zum zweiten Schnitt auf. Im direkten Vergleich zwischen den Versuchsjahren 2003 und 2004 ist festzustellen, dass die Sorte **‘Green Globe’** im Jahr 2003 im Ertragsniveau deutlich höher lag. Dagegen wiesen Blattlänge und –breite in beiden Jahren die gleiche Größenordnung auf (vgl. Abb. 4.1a/b und 4.2).



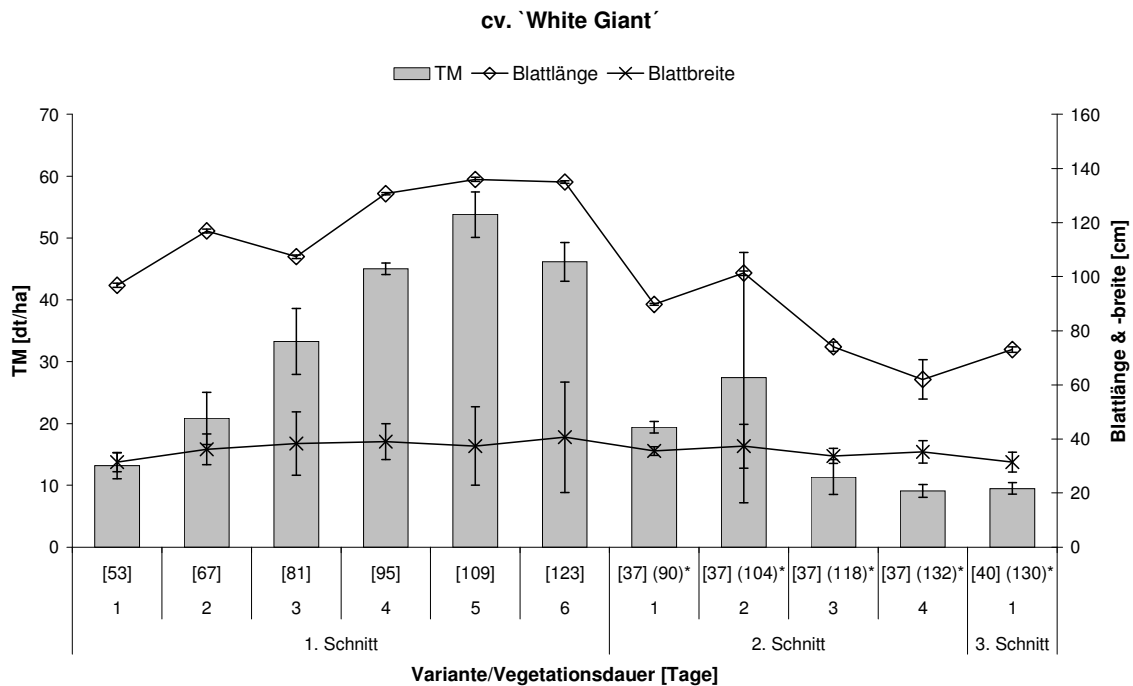
* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
TM [dt/ha]	3,1 ***	3,0	n. b.
Blattlänge [cm]	7,4	8,1	n. b.
Blattbreite [cm]	5,9	5,4	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.2: Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. 'Green Globe' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.

Im Versuchsjahr **2004** wurde bei der Sorte '**White Giant**' eine signifikante Zunahme der Blatterträge vom ersten Erntetermin (nach 53 Tagen) bis zum fünften Erntetermin (nach 109 Tagen) beobachtet (vgl. Abb. 4.3). Eine weitere Verzögerung der Ernte bis zum 123. Vegetationstag bewirkte eine Abnahme des Blattertrages. Nach dem ersten Schnitt im 9-Blattstadium, 53 Tage nach Aufgang, stieg der TM-Ertrag von 13,2 dt/ha auf 53,8 dt/ha (109 VT, Variante 5) signifikant an ($p < 0,001$, siehe Abb. 4.3). Die Anzahl erntefähiger grüner Rosettenblätter nahm dabei bis auf 16 Blätter/Pflanze zu. Gegenüber der Sorte 'Green Globe' zeichnet sich die Sorte 'White Giant' durch wesentlich größere Blätter aus, was auch einen Einfluss auf die Höhe des gesamten Bestandes hatte. So ging mit der Zunahme der Blattlänge von 97 auf 135 cm ($p < 0,001$) sowie der Blattbreite von 31 auf 40 cm ($p = 0,022$) eine Zunahme der Bestandeshöhe von 59 bis auf 107 cm einher.



* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
TM [dt/ha]	7,8 ***	4,2	n. b.
Blattlänge [cm]	11,7	5,8	n. b.
Blattbreite [cm]	5,3	3,8	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.3: Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. 'White Giant' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.

Hinsichtlich der Ausprägung der Seneszenz ist zu beobachten, dass die Sorte 'White Giant' nur wenige gelbe Blätter ausbildete. Des Weiteren wurde die generative Phase, gekennzeichnet durch die Bildung von Blütenständen, deutlich später initiiert als bei der Sorte 'Green Globe'. Dies wird auch durch den Anteil grüner Blätter am gesamten Erntegut sichtbar, der im Mittel der Schnitte zwischen 91 und 100 % lag. Innerhalb der zweiten Schnittserie ist zunächst eine Ertragszunahme sowie eine Zunahme in der Blattlänge von Variante 1 (90 VT) auf 2 (104 VT) zu erkennen (Abb. 4.3). Im weiteren Verlauf nahmen sowohl der TM-Ertrag als auch die Blattlänge signifikant ab ($p < 0,001$). Die Breite der grünen Blätter blieb unverändert, es konnten aber bei einer Grenzdifferenz von 3,76 cm signifikante Unterschiede ($p = 0,001$) zwischen den einzelnen Faktorstufen nachgewiesen werden. Die Höhe des Bestandes zum Zeitpunkt der Ernte betrug im Mittel über den zweiten und dritten Schnitt 52 cm, was einen Höhenunterschied von ca. 21 cm gegenüber der Sorte 'Green Globe' ausmachte.

Tab. 4.2. Anteil* an seneszenten Blättern (sB) und Blütenständen** (Bs) [%] am Gesamtertrag, cv. `Green Globe` und cv. `White Giant`, Gießen, 2004.

cv.	Var.	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt	
		sB	Bs	sB	Bs	sB	Bs
`Green Globe`	1	0,00	1,05	1,86	19,22	4,42	5,25
	2	5,14	3,62	9,28	9,99		
	3	3,29	16,47	4,01	5,20		
	4	2,16	22,99	7,05	3,09		
	5	4,64	21,26				
`White Giant`	1	0,00	0,00	7,82	1,08	0,00	0,00
	2	1,25	0,00	2,72	3,67		
	3	1,24	0,00	2,21	2,05		
	4	3,18	2,94	0,79	0,00		
	5	4,59	6,24				
	6	1,82	3,76				

* Werte beziehen sich auf den im Feld ermittelten FM-Ertrag.

** Die Sprossachsen wurden nicht von den Blütenständen separiert.

4.1.1.2. Chlorophyllindex

Die Messungen der Chlorophyllindices (CCI) der grünen Rosettenblätter am Standort Gießen zeigten starke Schwankungen innerhalb der drei realisierten Aufwüchse (siehe Abb. 4.4 und 4.5). Eine gerichtete Veränderung der Chlorophyllindices unter dem Einfluss der Vegetationsdauer konnte nicht beobachtet werden. Dennoch sind im Versuchsjahr **2003** signifikante Unterschiede zwischen den Teilernten in der ersten ($p = 0,002$) wie auch in der zweiten Schnittserie ($p < 0,001$) festzustellen. Mit einem CCI von 43 wurde zum ersten Schnitt nach 146 Vegetationstagen (Variante 15), zum Abschluss der Vegetationsperiode, der höchste Wert gemessen, während nach 118 Tagen (Variante 11) der geringste CCI ermittelt wurde (siehe Abb. 4.4). Der zweite Schnitt zeichnete sich durch ein insgesamt niedrigeres CCI-Niveau aus, wobei der maximale CCI-Wert von 45 (Variante 2 und 9) über dem maximalen CCI-Wert des ersten Schnittes lag. Für den dritten Schnitt konnten keine statistisch nachweisbaren Unterschiede ermittelt werden, die CCI-Werte wiesen insgesamt eine Spanne von 35 bis 44 auf.

Die im Feldversuch **2004** ermittelten CCI-Werte der Sorte `White Giant` wiesen in der ersten Schnittserie steigende Werte zum Ende der Vegetationsperiode auf (siehe Abb. 4.5). Der CCI steigt hier bis auf einen Wert von 42 an (Variante 6).

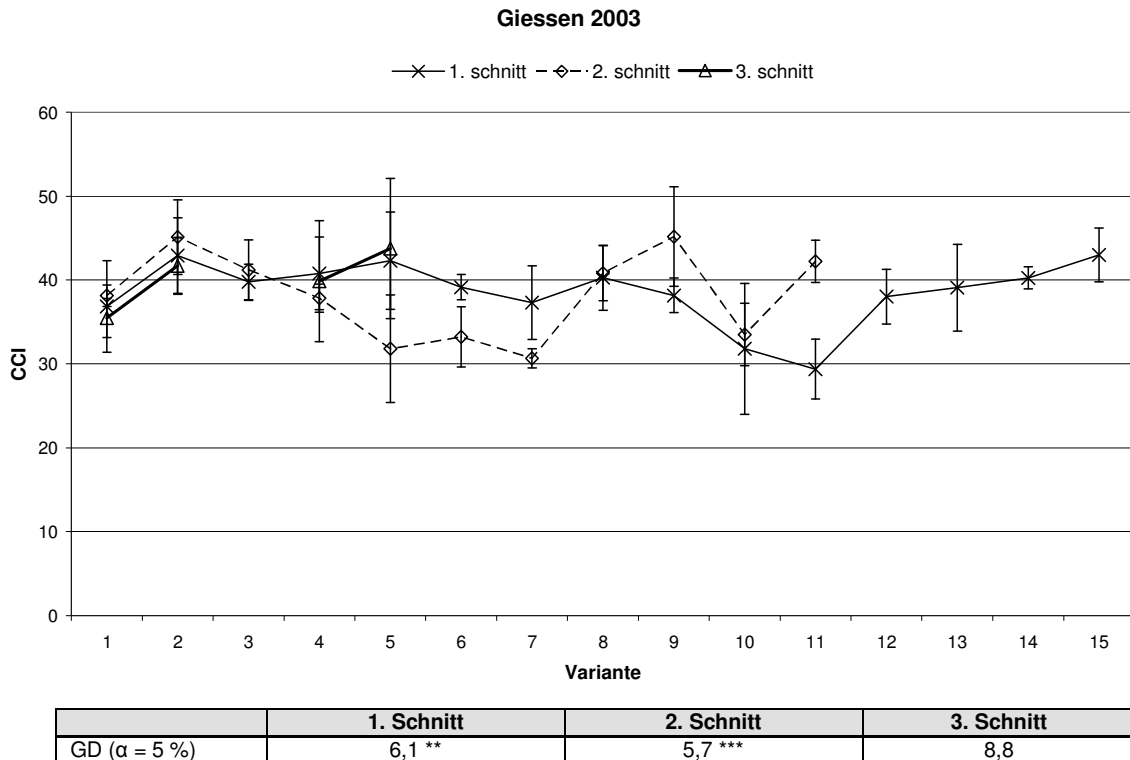


Abb. 4.4: Chlorophyllindices der Artischocke, cv. 'Green Globe' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2003.

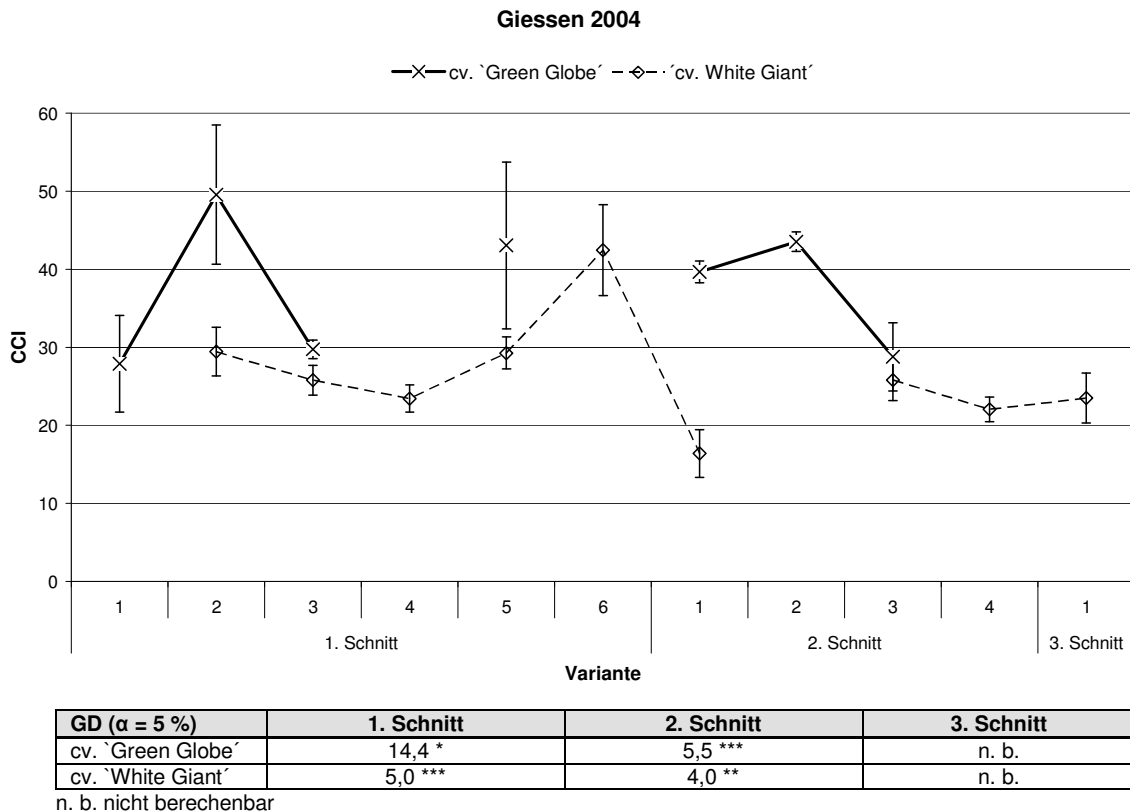


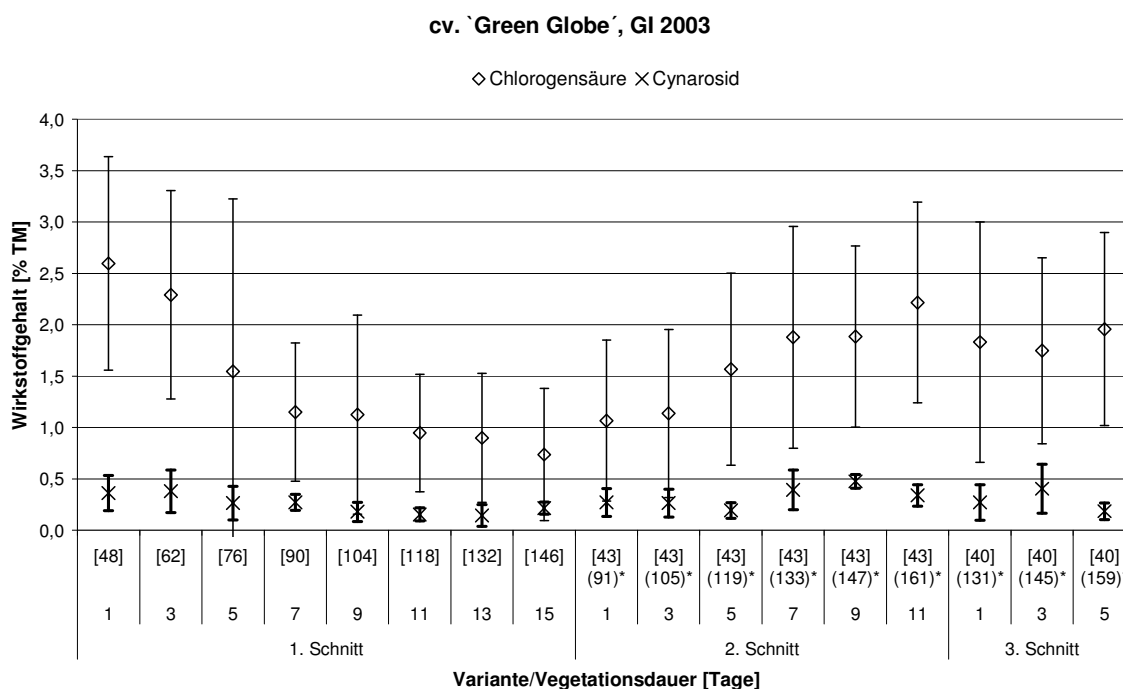
Abb. 4.5: Chlorophyllindices der Artschocke, cv. 'Green Globe' und cv. 'White Giant' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.

Zum zweiten Schnitt lagen die gemessenen CCI-Werte in einem Bereich von 16 bis 25. Statistisch sind die Unterschiede zwischen den Teilernten auf dem Niveau $\alpha = 5\%$ signifikant (1. Schnitt: $p < 0,001$, 2. Schnitt: $p = 0,002$).

Auch für die Sorte 'Green Globe' konnten signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Messterminen festgestellt werden (1. Schnitt: $p = 0,023$, 2. Schnitt: $p = 0,001$). Mit einem CCI von 49 nach 63 Tagen und 43 nach 105 Tagen ist dennoch kein eindeutiger Zusammenhang zur Vegetationsdauer zu erkennen.

4.1.1.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden

Im Versuchsjahr 2003 beschränkten sich die Qualitätsanalysen der pharmazeutisch relevanten grünen Rosettenblätter auf die Referenzsubstanzen Chlorogensäure und Cynarosid.



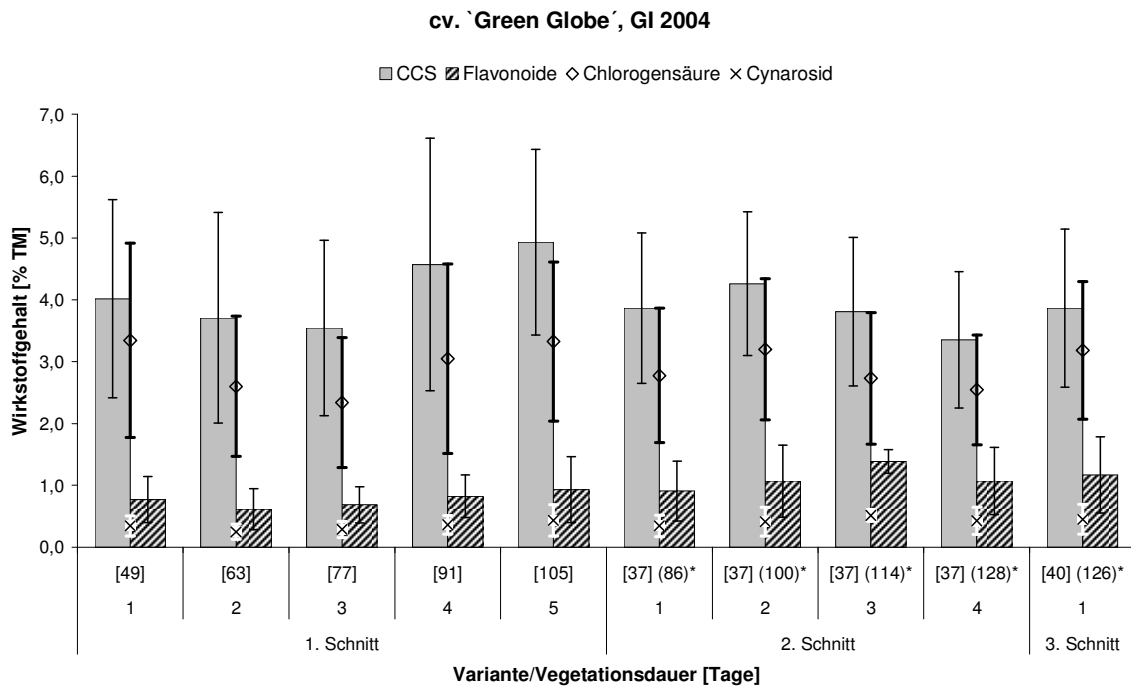
* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
Chlorogensäure	1,39 ***	1,13 **	1,21
Cynarosid	0,18 ***	0,18 ***	0,22 ***

Abb. 4.6: Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. 'Green Globe' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2003.

So ist in Abbildung 4.6 zu erkennen, dass mit einer Zunahme der Vegetationsdauer im ersten Schnitt eine signifikante Abnahme des Chlorogensäuregehaltes von 2,60 % TM auf 0,74 % TM einherging ($p < 0,001$). Gleichzeitig nahm auch der Gehalt an Cynarosid bei späteren Ernteterminen signifikant ab ($p < 0,001$). Der Ausgangswert von 0,36 % TM nach 48 Vegetationstagen sank innerhalb von 70 Tagen auf 0,15 % ab. Die zweite Schnittserie zeigte einen gegenläufigen Trend. Hier wurde in den später geernteten Proben ein signifikant höherer Wirkstoffgehalt ermittelt. Im Falle der Chlorogensäure kam es zu einer Verdopplung des Gehaltes ($p = 0,008$). Cynarosid erreichte den höchsten Gehalt von 0,47 % TM insgesamt 147 Tage nach Feldaufgang ($p < 0,001$). Der mittlere Gehalt an Chlorogensäure lag bei 1,85 % TM, statistisch konnten keine Unterschiede zwischen den Teilernten nachgewiesen werden ($p = 0,265$). Der mittlere Gehalt an Cynarosid betrug 0,29 % der TM (siehe Abb. 4.6). Zwischen den Ernteterminen lagen signifikante Unterschiede vor ($p = 0,001$).

Im Versuchsjahr **2004** nahm der Gehalt an Chlorogensäure und an Gesamt-CCS-Verbindungen bei der Sorte 'Green Globe' bis Variante 3 (77 VT) zunächst ab. Gegen Ende der ersten Schnittserie wurden aber wieder höhere Gehalte beobachtet (Abb. 4.7). Der höchste CCS-Gehalt lag bei 4,93 % TM (Variante 5, 105 VT). Die Wirkstoffgruppe der Flavonoide zeigte ebenso nach einer anfänglichen Gehaltsabnahme von 0,77 (Variante 1) auf 0,61 % (Variante 3) eine kontinuierliche Zunahme auf 0,93 % der TM (Variante 5). Die statistische Auswertung dieser Daten ergab jedoch weder für den CCS-Gehalt noch für den Flavonidgehalt signifikante Unterschiede (CCS: $p = 0,223$, Flav: $p = 0,353$). Während des zweiten und dritten Aufwuchses sind Schwankungen im Wirkstoffgehalt der Artischockenblätter zu erkennen. Der mittlere Gehalt an CCS-Verbindungen lag bei 3,83 % TM ($p = 0,319$), während ein Flavonidgehalt von 1,12 % detektiert wurde ($p = 0,323$). Der Vergleich der Referenzsubstanzen Chlorogensäure und Cynarosid über beide Versuchsjahre zeigt, dass letztere im Jahr 2004 auf ähnlichem Niveau lag wie im Jahr 2003. Chlorogensäure wies dagegen im Jahr 2004 etwas höhere Gehalte in den grünen Rosettenblättern auf als im Jahr 2003 (vgl. Abb. 4.6 und 4.7).



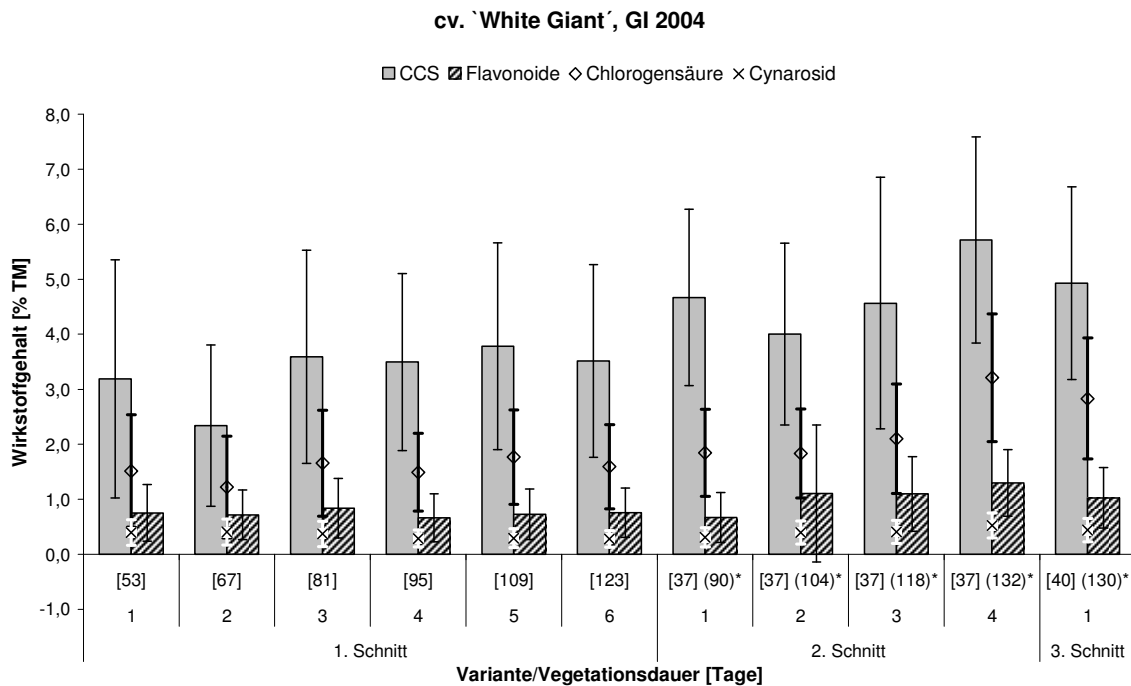
* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
CCS	2,36	1,67	n. b.
Flavonoide	0,55	0,72	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.7: Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. `Green Globe` in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.

Über die gesamte Vegetationsperiode betrachtet wiesen bei der Sorte `White Giant` die wiederholt geernteten Parzellen mit jedem Schnitt eine Zunahme im Gesamt-CCS-Gehalt auf. So nahm in Variante 1 (53, 90 und 130 VT) der CCS-Gehalt von 3,19 (1. Schnitt) auf 4,67 (2. Schnitt) und 4,93 % der TM (3. Schnitt) zu. Dies entspricht einer Steigerung um 54 %. Analog nahm auch die Hauptkomponente Chlorogensäure in dieser Variante signifikant zu. Die statistische Auswertung der einzelnen Schnitte ergab jedoch wie zuvor bei der Sorte `Green Globe` keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Ernteterminen (1. Schnitt: $p = 0,273$, 2. Schnitt: $p = 0,094$). In Abb. 4.8 ist erkennbar, dass spätere Erntetermine höhere CCS-Gehalte aufweisen. Für die Flavonoide ist über die gesamte Vegetationsperiode betrachtet ebenfalls eine geringe Zunahme der Werte zu erkennen, jedoch waren die Unterschiede nicht signifikant (1. Schnitt: $p = 0,948$, 2. Schnitt: $p = 0,182$).



* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
CCS	2,55	2,65	n. b.
Flavonoide	0,67	1,14	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.8: Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. 'White Giant' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Gießen 2004.

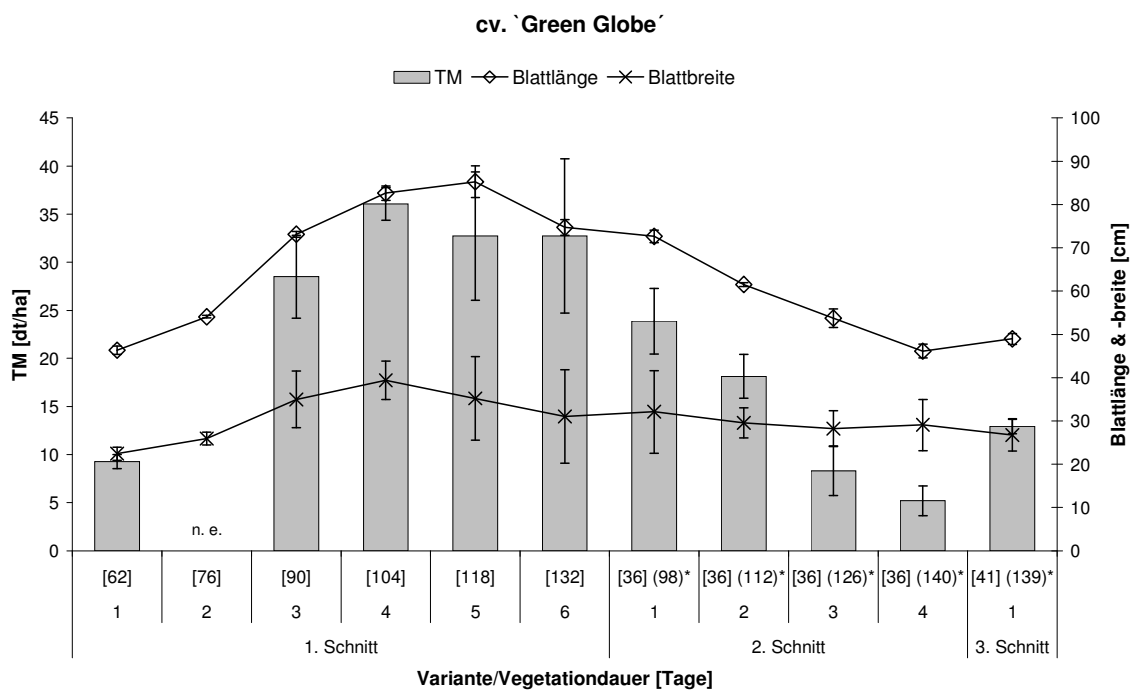
Die im Versuchsjahr 2004 kultivierten Sorten 'Green Globe' und 'White Giant' wiesen ähnliche Wirkstoffgehalte in der Trockenmasse auf. Es kann dennoch festgestellt werden, dass die ertragsmäßig unterlegene Sorte 'Green Globe' (siehe 4.1.1.1.) am Versuchsstandort Gießen verhältnismäßig mehr Caffeoylchinasäurederivate synthetisiert hat als die Sorte 'White Giant', die eine signifikant höhere Biomasseproduktion aufwies.

4.1.2. Feldversuche am Standort Rauischholzhausen

4.1.2.1. Bestandesentwicklung, Ertragsstruktur und Blattertrag

Die Keimungsphase der Sorte 'White Giant' war am Standort Rauischholzhausen ebenso wie am Standort Gießen kürzer als bei der Sorte 'Green Globe'. 19 Tage nach der Aussaat waren 75 % der 'White-Giant'-Pflanzen aufgelaufen, während für 'Green Globe' erst nach 29 Tagen der Feldaufgang festgestellt wurde. In Abbildung 4.9 ist zu erkennen, dass der Blattertrag eng mit den Messparametern

Blattlänge und –breite korrelierte. So erreichte die Blattlänge der Sorte `Green Globe´ ein Maximum von ca. 85 cm nach 118 Vegetationstagen (Variante 5) während die breitesten Blätter (ca. 40 cm) in Variante 4 (104 VT) gemessen wurden. Gleichmaßen konnte nach 104 Tagen das Ertragsmaximum grüner Rosettenblätter ermittelt werden, welches mit 36,1 dt/ha um 140 % über dem Ertragsmaximum der Sorte `Green Globe´ am Standort Gießen lag. Spätere Erntetermine hatten eine verstärkte Bildung von gelben Blättern, Sprossachsen und Blütenständen zur Folge. Ihr Anteil am Erntegut nahm von 0,4 % nach 62 Tagen auf 42 % nach 132 Tagen signifikant zu. Auch die Wuchshöhe der Artischocken nahm im Laufe der Wachstumsperiode um 60 cm, von 21 cm zu Versuchsbeginn (Variante 1) bis 81 cm nach 132 Vegetationstagen (Variante 6), zu.



* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

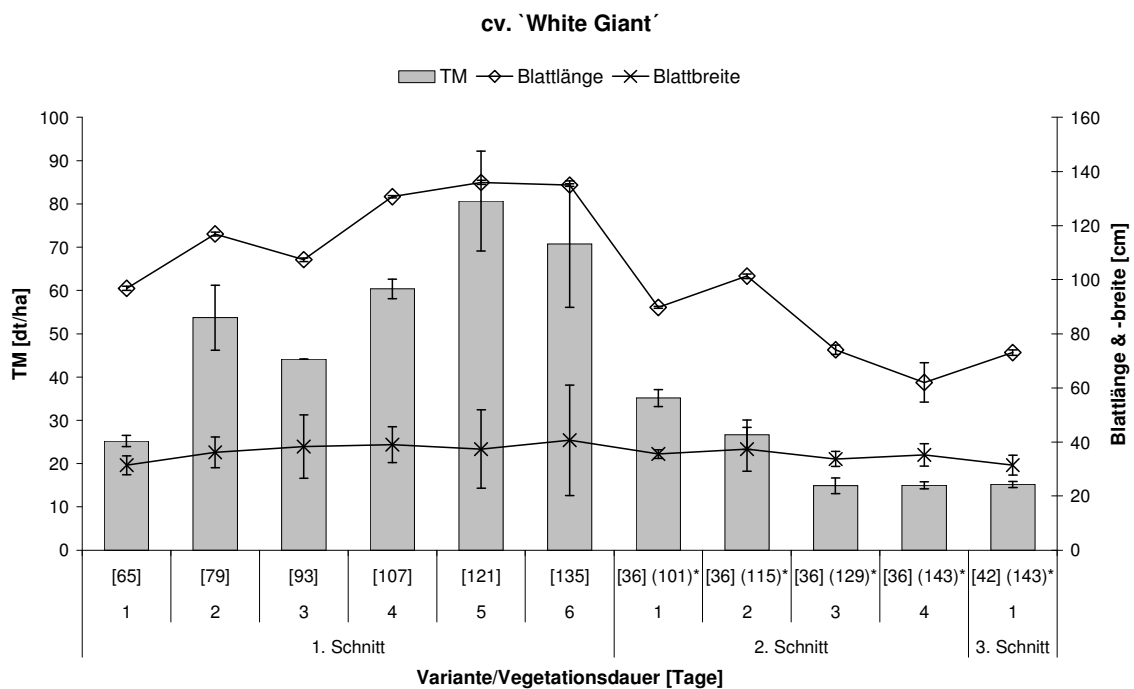
GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
TM [dt/ha]	7,7 ***	3,9 ***	n. b.
Blattlänge [cm]	12,4	8,9	n. b.
Blattbreite [cm]	7,9	4,8	n. b.

n. e. nicht ermittelbar; n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.9: Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. `Green Globe´ in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.

Wie in den zuvor beschriebenen Versuchsergebnissen gab es hinsichtlich der Anzahl grüner Rosettenblätter keine Unterschiede zwischen den Faktorstufen über die gesamte Versuchsdauer. Im Mittel jeder Teilernte besaßen die Pflanzen neun Rosettenblätter, deren Länge und Breite während des zweiten Aufwuchses kontinuierlich abnahm (siehe Abb. 4.9). Innerhalb des Messparameters Blattlänge konnten bei einer Grenzdifferenz von 8,9 cm signifikante Mittelwertunterschiede festgestellt werden ($p < 0,001$), während bei einer Grenzdifferenz von 4,8 cm bezüglich der Blattbreite keine statistisch nachweisbaren Unterschiede festzustellen waren ($p = 0,355$).

Das Ertragsniveau der Sorte `White Giant` war auch am Standort Rauschholzhausen ungefähr doppelt so hoch wie das der Sorte `Green Globe` (vgl. Abb. 4.9 und 4.10).



* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
TM [dt/ha]	13,7 ***	3,4 ***	n. b.
Blattlänge [cm]	20,8	11,7	n. b.
Blattbreite [cm]	5,3	4,5	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.10: Blattlänge und –breite sowie Blatterträge der Artischocke, cv. `White Giant` in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.

So wurden hier zu Beginn der Ernte im Mittel acht bis neun grüne Blätter pro Pflanze geerntet, zum Ende der Vegetationsdauer hatten die Prüfpflanzen elf erntefähige Blätter ausgebildet. Wie Abb. 4.10 zeigt, wurden die Blätter innerhalb der ersten Schnittserie signifikant länger und breiter (L: $p = 0,004$, B: $p = 0,030$). Zum zweiten Schnitt ist für die Blattbreite keine signifikante Veränderung zu erkennen ($p = 0,411$), während die Länge der Rosettenblätter von 90 cm auf 60 cm signifikant abnahm ($p < 0,001$). Die Anzahl geernteter Rosettenblätter veränderte sich nicht, im Mittel wurden neun Blätter geerntet. Hinsichtlich des Blattertrages hatte die Vegetationsdauer bzw. der Erntetermin sowohl im ersten als auch im zweiten Aufwuchs einen signifikanten Einfluss: Der TM-Ertrag stieg von 25,2 dt/ha nach 65 Vegetationstagen (Variante 1) auf 80,7 dt/ha nach 121 Tagen (Variante 5) an ($p < 0,001$), im zweiten Aufwuchs fielen die Erträge auf 15,0 dt/ha nach insgesamt 143 Tagen (Variante 1, 3. Schnitt) ab (Abb. 4.10). Im dritten Aufwuchs wurde ein mittlerer Blattertrag von 15,2 dt/ha ermittelt. Die Schwankungen des Blattertrages spiegelten sich auch in der Wuchshöhe der Pflanzen wider. So lag die Ausgangshöhe zum ersten Schnitt nach 65 Tagen bei 72 cm und stieg bis auf 123 cm in Variante 6 an. Der zweite Aufwuchs zeichnete sich durch Wuchshöhen zwischen 33 und 70 cm aus, die Pflanzen aus der dritten Schnittserie waren im Mittel 43 cm hoch.

Tab. 4.3. Anteil* an seneszenten Blättern (sB) und Blütenständen** (Bs) [%] am Gesamtertrag, cv. 'Green Globe' und cv. 'White Giant', Rauschholzhausen, 2004.

cv.	Var.	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt	
		sB	Bs	sB	Bs	sB	Bs
'Green Globe'	1	0,41	0,00	1,20	20,61	0,00	1,98
	2	1,74	0,00	1,29	11,00		
	3	0,82	56,81	0,91	7,15		
	4	1,77	26,19	0,00	2,82		
	5	2,85	35,99				
	6	0,60	46,84				
'White Giant'	1	0,54	0,00	0,89	0,43	0,00	0,00
	2	2,74	0,00	0,00	36,72		
	3	2,18	0,44	0,11	0,03		
	4	2,73	1,69	0,00	0,00		
	5	1,53	5,58				
	6	1,51	8,73				

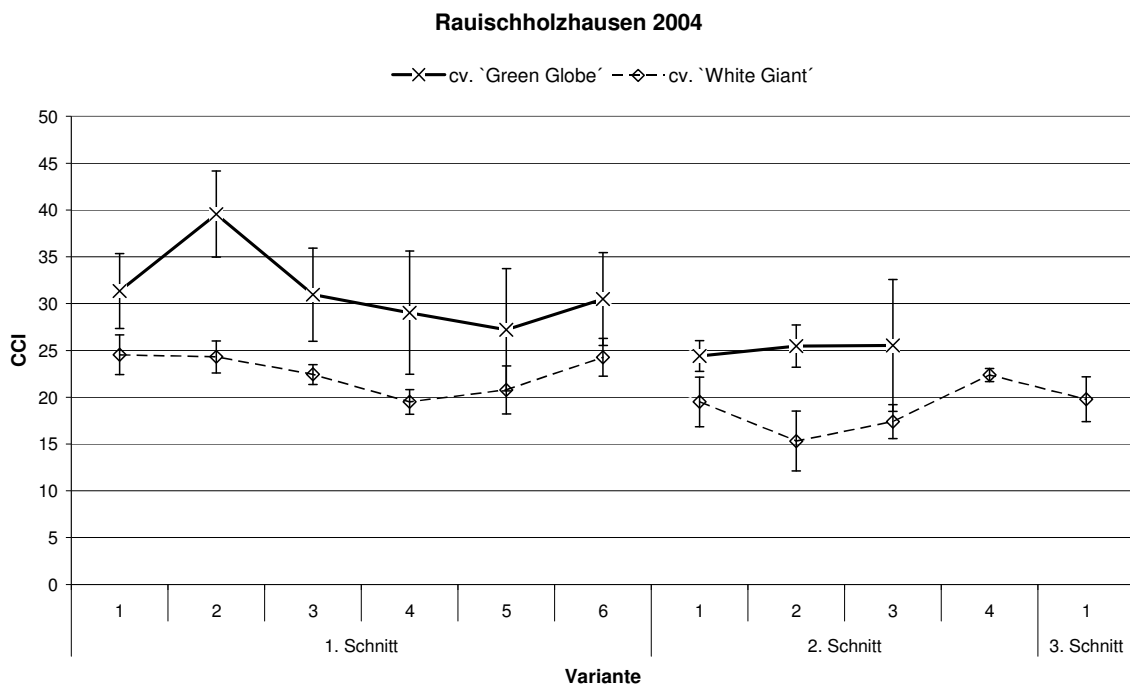
* Werte beziehen sich auf den im Feld ermittelten FM-Ertrag.

** Die Sprossachsen wurden nicht von den Blütenständen separiert.

Der Grad der Vergilbung sowie die Neigung zur Schosserbildung waren in diesem Versuch sehr gering. Im Mittel lag der Anteil an Schossern am gesamten Erntegut lediglich bei 2,4 %, womit die Sorte `White Giant` eine signifikant geringere Schosserneigung besaß als die Sorte `Green Globe`.

4.1.2.2. Chlorophyllindex

Im Gegensatz zu den Schwankungen des Chlorophyllindex am Standort Gießen zeigten am Standort Rauschholzhausen beide untersuchten Artischockensorten eine klare Tendenz der CCI-Werte über die gesamte Vegetationsperiode 2004. So geht aus Abb. 4.11 hervor, dass spätere Erntetermine in der Tendenz niedrigere Chlorophyllindices aufwiesen. Statistisch war diese Beobachtung bei der Sorte `Green Globe` aufgrund der großen Standardabweichungen nicht gesichert (1. Schnitt: $p = 0,067$, 2. Schnitt: $p = 0,920$).



GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
cv. `Green Globe`	8,0	7,0	n. b.
cv. `White Giant`	2,8 **	3,5 **	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.11: Chlorophyllindices der Artischocke, cv. `Green Globe` und cv. `White Giant` in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.

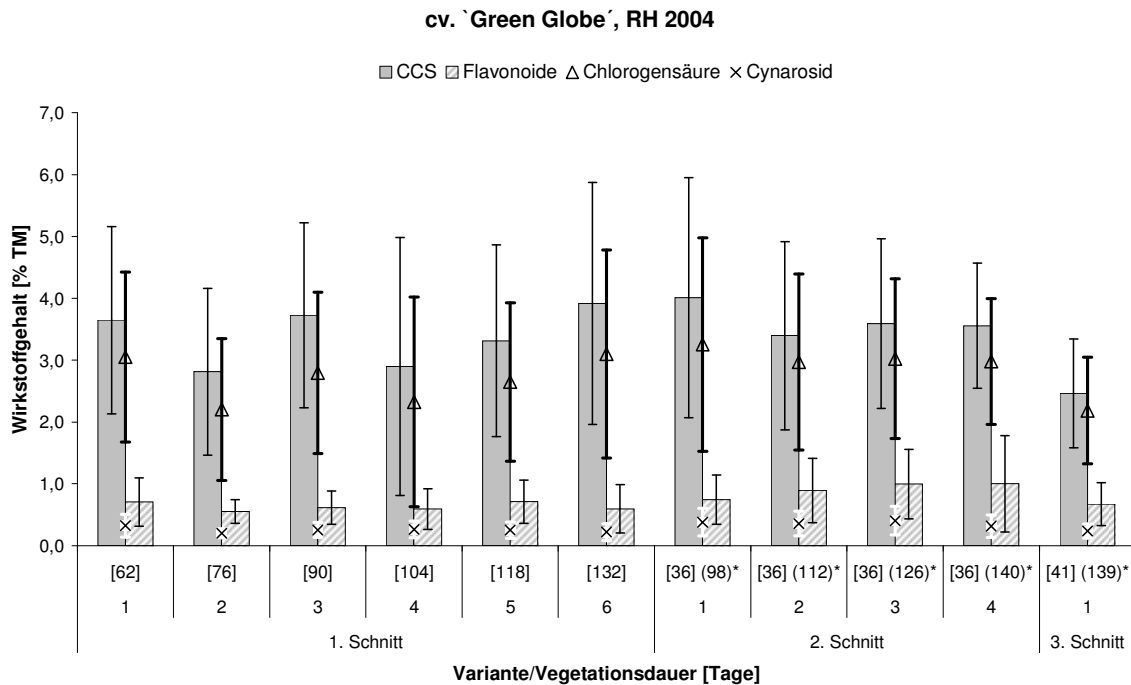
Für die Sorte 'White Giant' zeigten sich jedoch signifikante Unterschiede innerhalb der Schnittserien (1. Schnitt: $p = 0,004$, 2. Schnitt: $p = 0,006$). Weiterhin ist aus Abb. 4.11 zu erkennen, dass die CCI-Werte der grünen Rosettenblätter der Sorte 'White Giant' im Mittel 8,4 CCI-Einheiten unter denen der Sorte 'Green Globe' lagen. Diese wies nach 76 Vegetationstagen (Variante 2) mit knapp 40 CCI-Einheiten den höchsten Wert auf. Längere Wuchspereoden innerhalb des ersten Aufwuchses führten zu Chlorophyllindices von 27 (Variante 5) bzw. 30 (Variante 6). Im zweiten Aufwuchs der Sorte 'Green Globe' wurden im Mittel CCI-Werte von 25 gemessen. Bei der Sorte 'White Giant' wurde direkt zu Versuchsbeginn der maximale CCI-Wert von 24,5 ermittelt. Hier sank der Wert bis auf 19,5 CCI-Einheiten ab (Variante 4), bevor er zum Ende des ersten Aufwuchses wieder das Niveau des Ausgangswertes erreichte. Die Pflanzen der zweiten Schnittserie zeichneten sich durch insgesamt niedrigere CCI-Werte aus, doch sind auch hier zunächst niedrigere Werte (von 19,5 auf 15,3) vor einem folgenden Anstieg auf 22,3 zu erkennen (Abb. 4.11). In der zum dritten Mal geernteten Variante wurde ein CCI-Wert von ca. 20 gemessen.

4.1.2.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden

Ähnlich wie am Standort Gießen ist auch für den Standort Rauischholzhausen im Versuchsjahr 2004 keine klare Beziehung zwischen dem Prüffaktor Erntetermin und dem Parameter Wirkstoffgehalt zu erkennen (siehe Abb. 4.12 und 4.13).

Alle Wirkstoffkomponenten (Gesamt-CCS, Chlorogensäure, Gesamt-Flavonoide und Cynarosid) der Sorte 'Green Globe' nahmen, bezogen auf die Trockenmasse, nach den ersten 76 Tagen auf dem Feld zunächst ab. Beispielsweise fiel der Gehalt an CCS-Verbindungen von 3,65 % auf 2,81 % ab, stieg jedoch im Anschluss daran wieder auf 3,72 % an. Die späteren Teilernten wiesen nach einer erneuten Abnahme eine konstante Zunahme auf, statistisch lagen hier aber keine signifikanten Unterschiede vor ($p = 0,369$). Chlorogensäure verhielt sich in ihrem Verlauf identisch, während die Wirkstoffgruppe der Flavonoide ($p = 0,771$) einen mittleren Gehalt von 0,63 % TM (Gesamt-Flavonoide) bzw. 0,25 % TM (Cynarosid) erreichte (Abb. 4.12). Im zweiten und dritten Aufwuchs der Pflanzen kam es bei den CCS-Verbindungen zu abnehmenden Gehalten, während die Flavonoide steigende Gehalte aufwiesen (siehe Abb. 4.12).

Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (CCS: $p = 0,695$, Flav: $p = 0,625$).



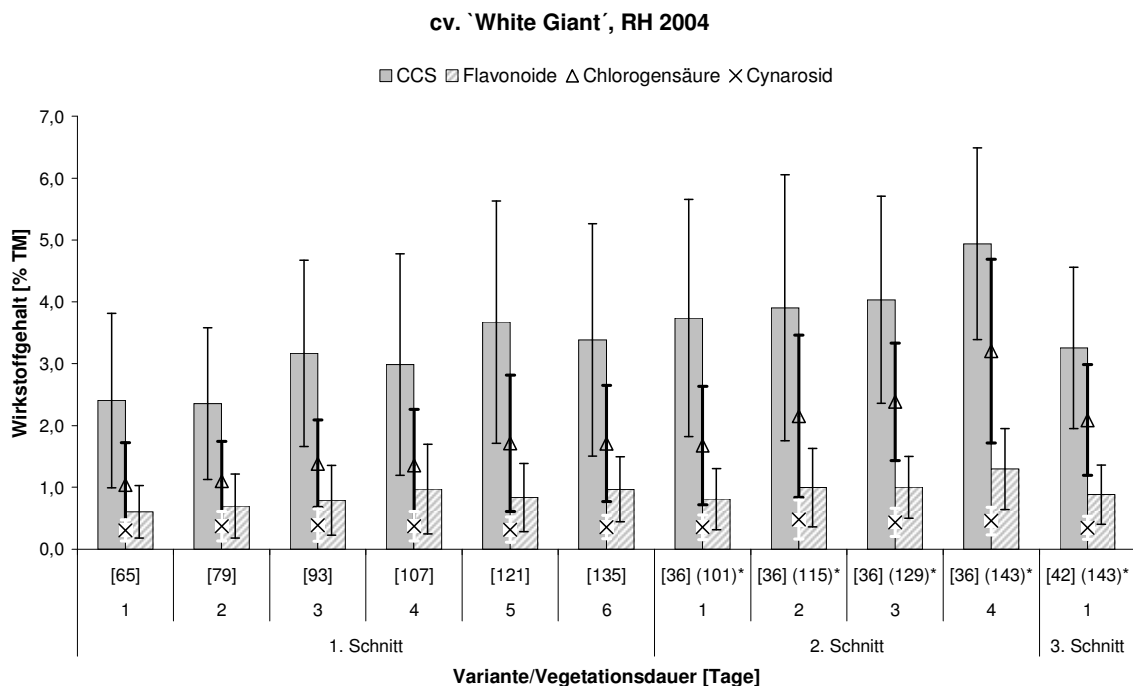
* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
CCS	2,36	2,13	n. b.
Flavonoide	0,47	0,83	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.12: Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. 'Green Globe' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rausholzhausen 2004.

Aus Abbildung 4.13 wird deutlich, dass bei der Sorte 'White Giant' eine längere Vegetationsdauer zu höheren CCS-Gehalten führte. Es kam im Falle der CCS-Verbindungen sowie der Chlorogensäure zu einer Steigerung der Gehalte von 2,24 % auf 3,38 % bzw. von 1,04 % auf 1,71 % der TM. Ebenso nahmen die Flavonoidgehalte minimal zu. Statistisch waren diese Gehaltszunahmen innerhalb der ersten Schnittserie nicht signifikant (CCS: $p = 0,173$, Flav: $p = 0,420$). Der zweite Schnitt war ebenfalls durch Wirkstoffzunahmen gekennzeichnet. Nach insgesamt 143 Vegetationstagen wurde das Maximum von 4,94 % Gesamt-CCS und 1,29 % Gesamt-Flavonoide erreicht. Auch hier konnten jedoch keine statistischen Unterschiede nachgewiesen werden (CCS: $p = 0,261$, Flav: $p = 0,133$).



* Zahlen in runden Klammern beziehen sich auf die komplette Wachstumsperiode vom Feldaufgang bis zum Zeitpunkt der Teilernte.

GD ($\alpha = 5\%$)	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
CCS	2,31	2,59	n. b.
Flavonoide	0,79	0,81	n. b.

n. b. nicht berechenbar

Abb. 4.13: Phenolsäure- und Flavonoidgehalte der Artischocke, cv. 'White Giant' in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer, Rauschholzhausen 2004.

4.2. Wirkung von N-Form und N-Dosis

4.2.1. Blattbildung und Blattertrag

Blattbildung

Die Entwicklung der Artischockenpflanzen wurde nach Versuchsbeginn am 30.04.2004 im Abstand von sieben bis zehn Tagen dokumentiert (siehe Abb. 4.14ff). Dabei zeigte sich, dass die Prüffaktoren N-Form und N-Dosis einen signifikanten Einfluss auf die Blattzahl pro Pflanze hatte. So führte eine N-Dosis von 2,50 g/Gefäß als **Nitrat-N** (NO_3) im ersten und zweiten Aufwuchs zu einer stärkeren Blattbildung als bei den übrigen N-Formen. Zum Termin des ersten Schnittes waren hier 16 Blätter/Pflanze ausgebildet (siehe Abb. 4.14). In der mit 0,75 g Nitrat-N/Gefäß gedüngten Variante wurden dagegen nur 10 Blätter/Pflanze bis zum ersten Schnitt ausgebildet (siehe Boniturtermin 10). Im dritten Aufwuchs führte dagegen die niedrige N-Dosis zur stärksten Blattbildung.

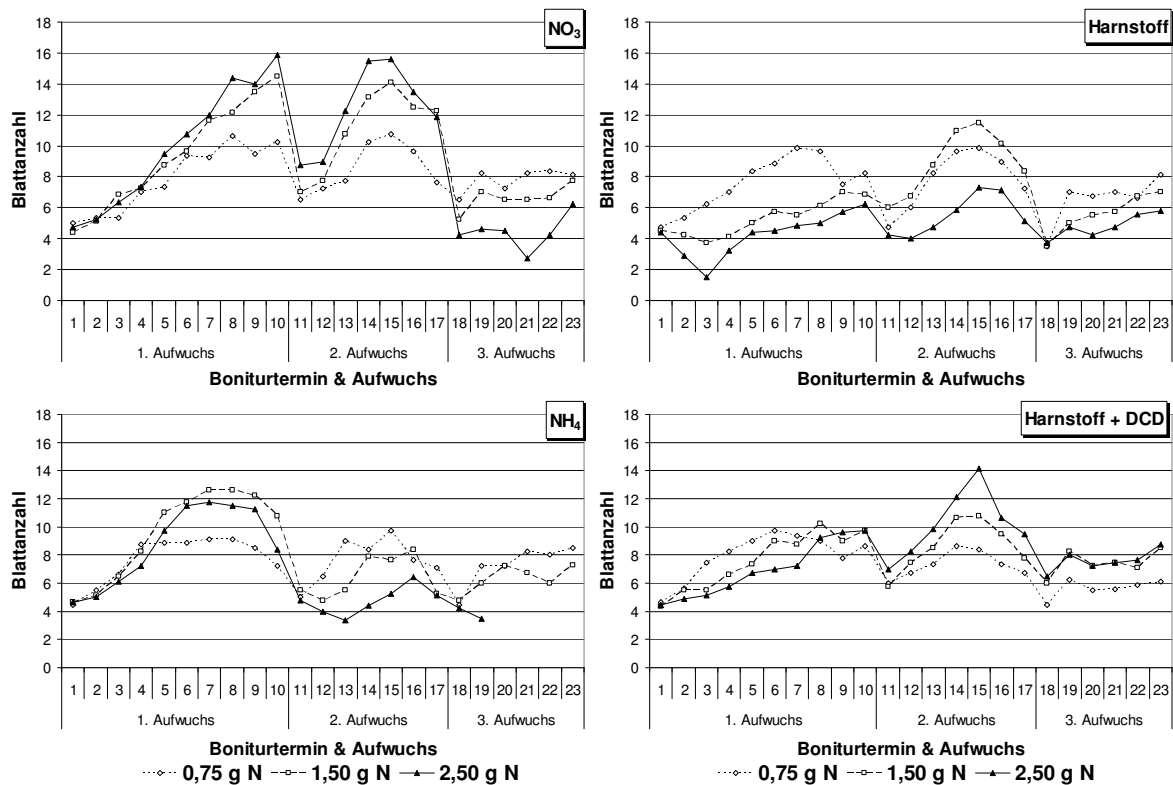


Abb. 4.14: Entwicklung der grünen Rosettenblätter (Blätter/Pflanze) in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.

Durch die Anwendung von **Ammonium** (NH_4) und **Harnstoff** wurden während der Pflanzenentwicklung maximal 12 bis 13 Blätter/Pflanze gebildet. Dabei waren die Varianten mit 0,75 g bzw. 1,50 g N/Gefäß der Variante mit 2,50 g N/Gefäß deutlich überlegen (Abb. 4.14, NH_4 /Harnstoff). Die hoch dosierte Ammonium-Variante führte sogar zum Absterben der Pflanzen nach dem 19. Boniturtermin. Beim Einsatz von **Harnstoff + DCD** konnte im 2. Aufwuchs die stärkste Entwicklung von Rosettenblättern beobachtet werden, wobei mit zunehmender N-Menge die Blattbildung gefördert wurde. Aus allen vier Teildiagrammen der Abb. 4.14 wird ersichtlich, dass die hochgedüngten Varianten sowohl zu Vegetationsbeginn als auch zu Vegetationsende (Ausnahme: Harnstoff + DCD) die wenigsten Blätter aufwiesen. Seneszenz trat ab dem dritten Boniturtermin (34 Tage nach Versuchsbeginn) auf, wobei im Mittel ein gelbes Blatt pro Pflanze gezählt wurde. Zum ersten Schnitt (Boniturtermin 10) waren im Mittel zwei gelbe Rosettenblätter/Pflanze, 2,5 gelbe Blätter in der Ammonium-Variante und 1,6 in der Harnstoff-Variante, vorhanden.

Der Effekt der eingesetzten Düngemittel und Aufwandmengen spiegelte sich auch in der **Blattlänge und -breite** (Abb. 4.15) sowie in der **Wuchshöhe** der Pflanzen (Abb. 4.16) wider. So wurden in den hochgedüngten Nitrat- und Harnstoff + DCD-Varianten sowohl die längsten und breitesten Blätter als auch die Pflanzen mit dem stärksten Längenwachstum zum Ende des ersten Aufwuchses (siehe Abb. 4.15 und 4.16) beobachtet. Zum Boniturtermin 10 waren die Blätter 57 bzw. 61 cm lang und 20 bzw. 22 cm breit, während die Pflanzen eine Wuchshöhe von 33 bis 35 cm aufwiesen. Signifikant kleinere Blätter und niedrigere Pflanzen wurden durch die N-Mengen 0,75 g und 1,50 g N/Gefäß in den Varianten Nitrat und Harnstoff + DCD erzielt. Bei der Anwendung von Harnstoff und Ammonium wurden bei niedrigen N-Gaben die größten Blattlängen, Blattbreiten und Wuchshöhen erzielt (s. Abb. 4.15 und 4.16). In der Ammonium-Variante waren die hochgedüngten Pflanzen des zweiten Aufwuchses im Mittel 15 cm niedriger als die minimal gedüngten Pflanzen. Im dritten Aufwuchs kam es zum Totalausfall der Pflanzen (siehe Abb. 4.17).

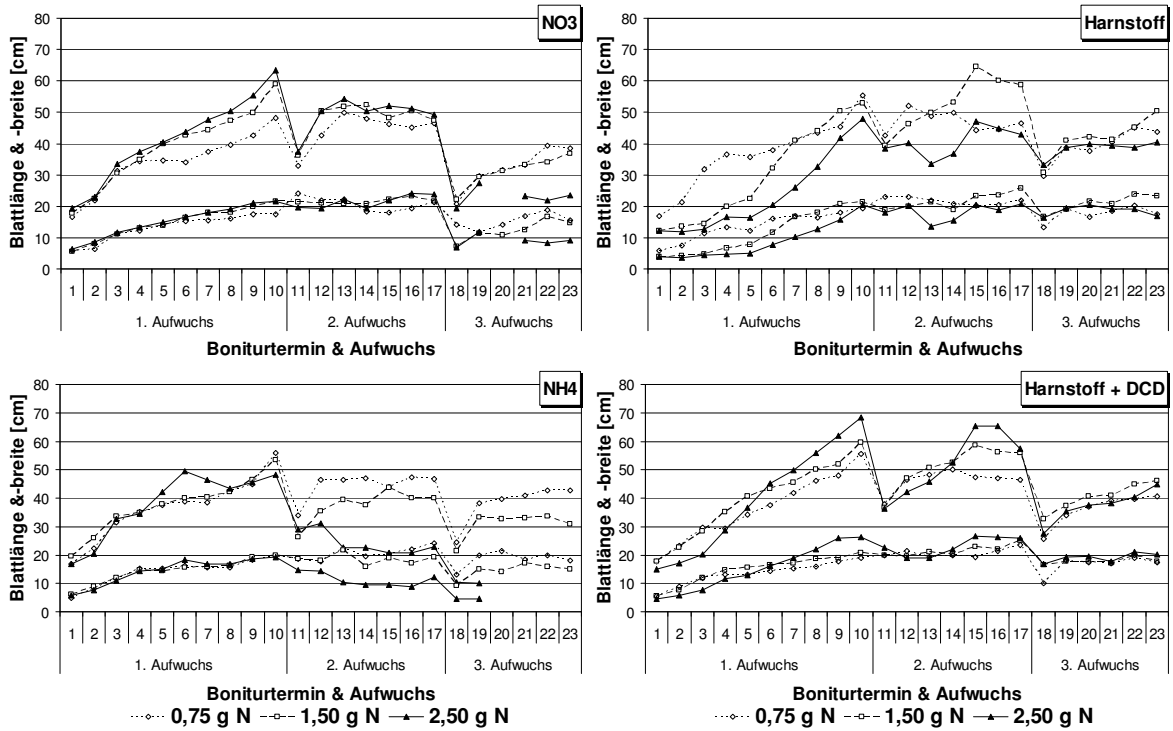


Abb. 4.15: Entwicklung von Blattlänge (obere drei Linien) und Blattbreite (untere drei Linien) der Artischocken in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.

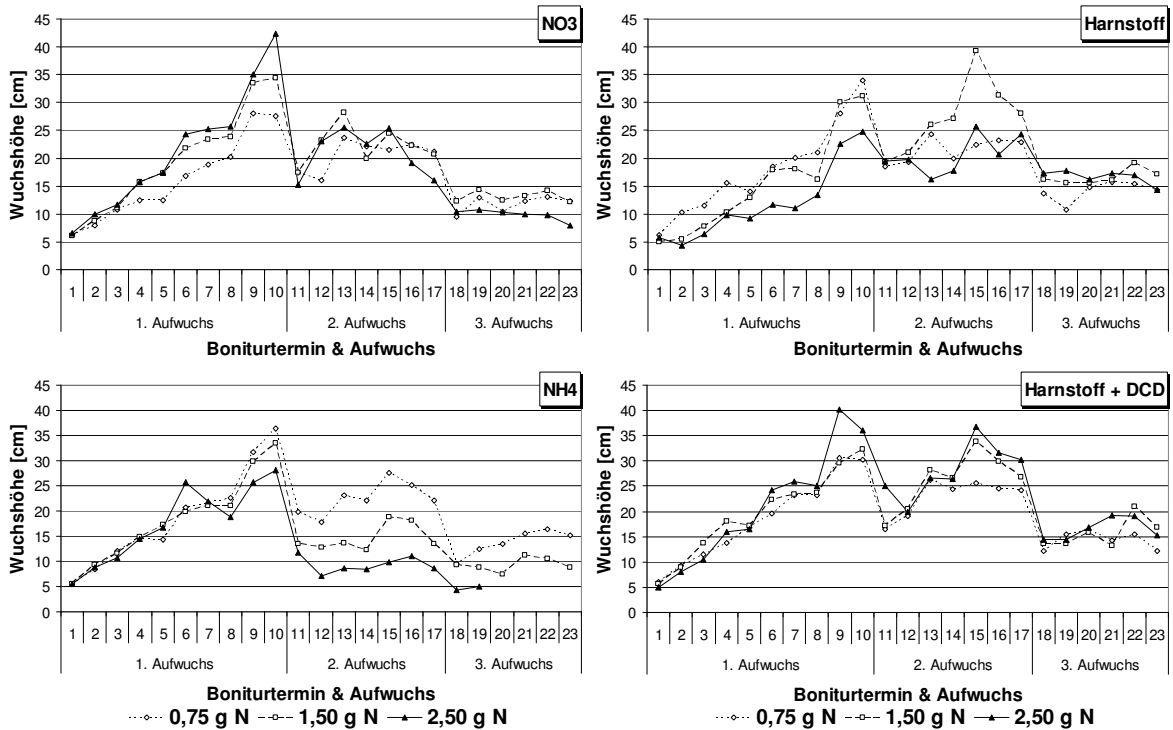


Abb. 4.16: Wuchshöhe der Artischockenpflanzen in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.

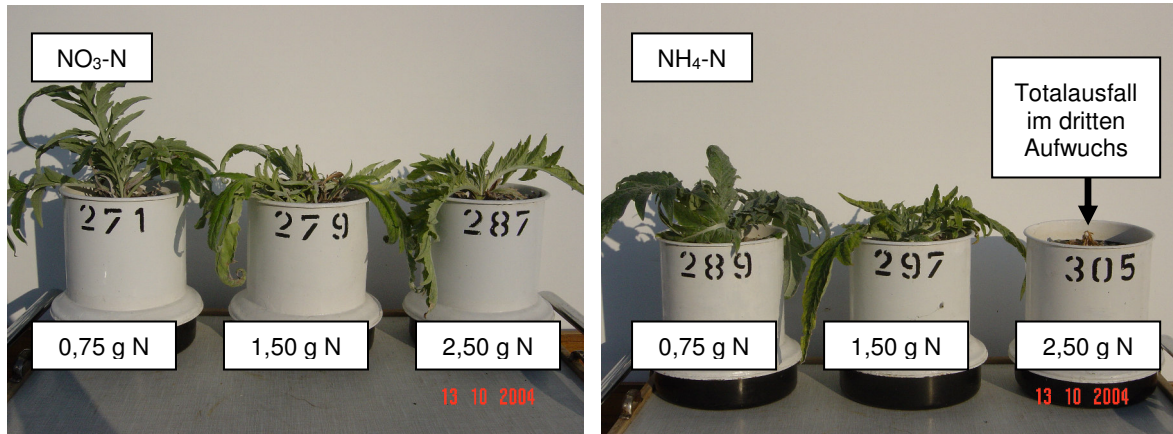


Abb. 4.17: Blattbildung der Artischocke in Abhängigkeit von der applizierten N-Form (NO₃, NH₄) und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen, 2004.

Blattertrag

In Tabelle 4.4 wird der Einfluss der Prüffaktoren N-Form und N-Dosis auf den Blattertrag pro Gefäß dargestellt. Hier konnten zu allen drei Schnitten signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen N-Formen nachgewiesen werden ($p < 0,001$). Beim Prüffaktor N-Dosis wurden signifikante Unterschiede zwischen den Konzentrationen 0,75, 1,50 und 2,50 g N/Gefäß nur für die Schnitte 1 und 3 festgestellt ($p < 0,001$). Des Weiteren traten Wechselwirkungen zwischen den Faktoren N-Form und N-Dosis in allen drei Schnittserien auf ($p < 0,001$).

Tab. 4.4: Blattertrag [g/Gefäß] der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004

Var.	N-Form	N-Dosis [g/Gefäß]	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	Σ Schnitte
1.1	NO ₃	0,75	18,1	15,4	8,6	42,0
1.2		1,50	32,6	13,7	5,0	51,3
1.3		2,50	41,7	21,4	<i>n. a.</i>	63,1
2.1	NH ₄	0,75	17,8	12,1	18,1	47,9
2.2		1,50	21,6	5,3	32,6	59,6
2.3		2,50	16,3	3,0	<i>n. a.</i>	19,3
3.1	Harnstoff	0,75	17,0	14,8	18,1	49,9
3.2		1,50	24,9	27,3	32,6	84,8
3.3		2,50	21,5	15,7	41,7	79,0
4.1	Harnstoff + DCD	0,75	17,4	13,5	17,8	48,8
4.2		1,50	23,5	12,9	21,6	58,0
4.3		2,50	34,7	24,8	16,3	75,8
N-Form		GD (5 %)	3,58 ***	4,54 ***	3,13 ***	-
N-Dosis		GD (5 %)	3,10 ***	3,93	2,71 ***	-
N-Form x N-Dosis		GD (5 %)	6,21 ***	7,87 ***	5,43 ***	-

n. a. nicht auswertbar

Die höchsten TM-Erträge von 41,74 g/Gefäß wurden zum ersten Schnitt in Variante 1.3 ($\text{NO}_3 \times 2,50$ g N/Gefäß) und zum dritten Schnitt in Variante 3.3 (Harnstoff $\times 2,50$ g N/Gefäß) ermittelt (Tab. 4.4). Variante 2.3 ($\text{NH}_4 \times 2,50$ g N/Gefäß) wies im zweiten Schnitt einen TM-Ertrag von lediglich 2,96 g/Gefäß auf, Variante 1.2 ($\text{NO}_3 \times 1,50$ g N/Gefäß) lag auf ähnlich geringem Niveau in der dritten Schnittserie. Die nicht auswertbaren Varianten 3.3 und 2.3 des dritten Schnittes zeigten durch die hohe N-Konzentration von 2,50 g N/Gefäß einen Totalausfall aller acht Wiederholungen (siehe Abb. 4.17, NH_4). In der Summe der drei Schnitte ist hinsichtlich der N-Formen Nitrat sowie Harnstoff + DCD eine Ertragszunahme um 50 bzw. 55 % zu erkennen. Sowohl bei Ammonium als auch bei Harnstoff bewirkte eine Erhöhung der N-Konzentration von 0,75 auf 1,50 g N/Gefäß ebenfalls einen Ertragszuwachs, eine weitere Erhöhung auf 2,50 g N/Gefäß führte dagegen zu einer Abnahme des TM-Ertrages. Diese Beobachtung konnte v. a. in der Ammonium-Variante gemacht werden, hier sank der TM-Ertrag um ca. 68 %.

4.2.2. Chlorophyllindex

Zum Zeitpunkt der Ernte konnten signifikante Unterschiede in der Blattpigmentierung der Artischocken (gemessen als Chlorophyllindex) zwischen den Varianten festgestellt werden. Dabei hatten sowohl die Form als auch die Menge des applizierten Stickstoffs einen Einfluss auf diesen Parameter. Aus Tab. 4.5 ist zu erkennen, dass mit einer Erhöhung der N-Dosis der Chlorophyllindex zum ersten und zweiten Schnitt signifikant zunimmt ($p < 0,001$). Dabei führte die N-Düngung mit Ammonium zu niedrigeren CCI-Werten als mit Nitrat, Harnstoff und Harnstoff + DCD. Zum dritten Schnitt zeigte lediglich die Harnstoff-Variante, die DCD als Nitrifikationsinhibitor enthielt, höhere CCI-Werte durch höhere N-Gaben. In den übrigen Varianten war eine signifikante Abnahme zu beobachten ($p = 0,033$). Auch zwischen den verschiedenen N-Formen konnten signifikante Unterschiede nachgewiesen werden (1. & 2. Schnitt: $p < 0,001$, 3. Schnitt: $p = 0,001$). Wechselwirkungen zwischen den Faktoren N-Form und N-Dosis traten nur im zweiten und dritten Schnitt auf ($p \leq 0,002$). Zum dritten Schnitt wurde bei Nitrat und Harnstoff eine starke Abnahme der CCI-Werte beobachtet, was auf eine Störung der Blattpigmentierung schließen lässt. Die Anwendung von Harnstoff + DCD bewirkte dagegen eine tendenzielle Zunahme der CCI-Werte (vgl. Tab. 4.5).

Tab. 4.5: Chlorophyllindices der Artischockenblätter zum Erntetermin in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen, 2004.

Variante	N-Form	N-Dosis [g/Gefäß]	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
1.1	NO ₃	0,75	32,6	22,1	41,0
1.2		1,50	41,6	36,4	46,3
1.3		2,50	46,5	36,7	29,1
2.1	NH ₄	0,75	28,4	22,7	45,8
2.2		1,50	33,7	20,4	35,7
2.3		2,50	36,6	23,3	n. a.
3.1	Harnstoff	0,75	23,6	21,4	51,1
3.2		1,50	46,0	35,6	53,6
3.3		2,50	46,5	43,4	28,6
4.1	Harnstoff + DCD	0,75	25,8	22,6	49,3
4.2		1,50	32,3	31,7	52,2
4.3		2,50	43,5	45,0	60,2
N-Form		GD (5 %)	5,56	4,48 ***	7,28 ***
N-Dosis		GD (5 %)	4,82	3,88	6,30 **
N-Form x N-Dosis		GD (5 %)	9,64 **	7,75 ***	12,60 **

n. a. nicht auswertbar

4.2.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden

Sowohl die N-Form als auch die N-Menge hatten einen signifikanten Einfluss auf die Bildung phenolischer Verbindungen in den Blättern der analysierten Pflanzen. Eine Ausnahme bildete der Faktor N-Form hinsichtlich des Gesamt-Flavonoidgehaltes der Droge im zweiten ($p = 0,253$) und dritten ($p = 0,233$) Schnitt. Wechselwirkungen traten nur für den Gesamt-CCS-Gehalt der Droge im zweiten Schnitt auf ($p = 0,002$).

In Tabelle 4.6 sind die Ergebnisse der Gesamt-CCS-Gehalte, in Tabelle 4.7 der Gesamt-Flavonoidgehalte dargestellt. Im Mittel der drei durchgeführten Schnitte ist zu erkennen, dass eine Erhöhung der N-Düngung in allen Varianten zu einer Abnahme des Wirkstoffgehaltes führte (siehe Tab. 4.6 und 4.7). Bei der Betrachtung der einzelnen Schnitte ist festzustellen, dass im Falle des **Gesamt-CCS-Gehaltes** auch eine Verminderung dieses von Schnitt 1 zu Schnitt 3 zu verzeichnen ist (Tab. 4.6). Der höchste Gesamt-CCS-Gehalt von 15,43 % TM wurde in der niedrig gedüngten Harnstoffvariante ermittelt, im Vergleich dazu lag der Gehalt in der hochgedüngten Nitrat-Variante der dritten Schnittserie bei lediglich 0,74 % der TM. Der Gesamt-CCS-Gehalt war auch im Gefäßversuch höher als der **Gesamt-Flavonoidgehalt** (vgl. Tab. 4.6 und 4.7).

Dabei zeigt sich, dass die Flavonoidbildung am stärksten durch Harnstoff + DCD (Variante 4.2, 1,50 g N/Gefäß, erster Schnitt) gefördert wurde.

Tab. 4.6: CCS-Gehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.

Variante	N-Form	N-Dosis [g/Gefäß]	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Schnitte
1.1	NO ₃	0,75	9,91	10,95	2,85	7,90
1.2		1,50	12,70	7,85	1,53	7,36
1.3		2,50	8,18	4,80	0,74	4,57
2.1	NH ₄	0,75	14,40	11,36	4,19	9,98
2.2		1,50	11,93	2,00	0,94	4,96
2.3		2,50	7,85	1,31	n. a.	4,58
3.1	Harnstoff	0,75	15,43	9,55	5,44	10,14
3.2		1,50	10,00	9,98	3,38	7,79
3.3		2,50	7,10	6,21	3,70	5,67
4.1	Harnstoff + DCD	0,75	14,71	10,46	4,04	9,73
4.2		1,50	14,48	9,26	3,76	9,16
4.3		2,50	10,37	6,38	3,78	6,84

n. a. nicht auswertbar

Anmerkung: die Berechnung der Grenzdifferenz konnte nicht durchgeführt werden, da die vorliegenden Daten nicht normal verteilt waren.

Tab. 4.7: Flavonoidgehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und N-Dosis, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.

Variante	N-Form	N-Dosis [g/Gefäß]	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Schnitte
1.1	NO ₃	0,75	1,34	1,22	1,55	1,37
1.2		1,50	1,35	1,12	0,94	1,13
1.3		2,50	1,08	0,79	0,50	0,79
2.1	NH ₄	0,75	1,62	1,47	1,18	1,42
2.2		1,50	1,29	0,91	0,66	0,95
2.3		2,50	1,20	0,60	n. a.	0,90
3.1	Harnstoff	0,75	1,70	1,52	1,38	1,54
3.2		1,50	1,38	1,26	0,73	1,12
3.3		2,50	1,08	0,60	1,03	0,91
4.1	Harnstoff + DCD	0,75	2,10	1,49	1,26	1,62
4.2		1,50	2,57	1,27	1,06	1,63
4.3		2,50	1,31	1,01	1,04	1,12

n. a. nicht auswertbar

Anmerkung: die Berechnung der Grenzdifferenz konnte nicht durchgeführt werden, da die vorliegenden Daten nicht normal verteilt waren.

Der Gehalt lag hier bei 2,57 % der TM. In der hochgedüngten Nitrat-Variante des dritten Schnittes wurde ein Flavonoidgehalt von nur 0,50 % der TM ermittelt, in der selben Variante wurde auch der niedrigste CCS-Gehalt detektiert. Im Mittel der drei Schnitte wurde deutlich, dass eine Erhöhung des N-Angebots zu einer signifikanten Abnahme der Gehalte an CCS und Flavonoide in den Blättern führte.

4.3. Wirkung von N-Form und Wasserversorgung

4.3.2. Blattbildung und Blattertrag

Blattbildung

Die **Bildung** der pharmazeutisch relevanten **grünen Rosettenblätter** erfolgte zu Beginn der Vegetationsperiode in allen Varianten nahezu identisch (vgl. Abb. 4.19 und 4.20). Erst ab dem fünften Boniturtermin am 07. Juni 2005 zeigte sich in der Variante „Trockenstress bis zum ersten Schnitt“ eine signifikant geringere Blattausbildung. Allen N-Varianten gemeinsam war eine höhere Anzahl grüner Blätter zum Zeitpunkt des zweiten Schnittes gegenüber dem ersten Schnitt.

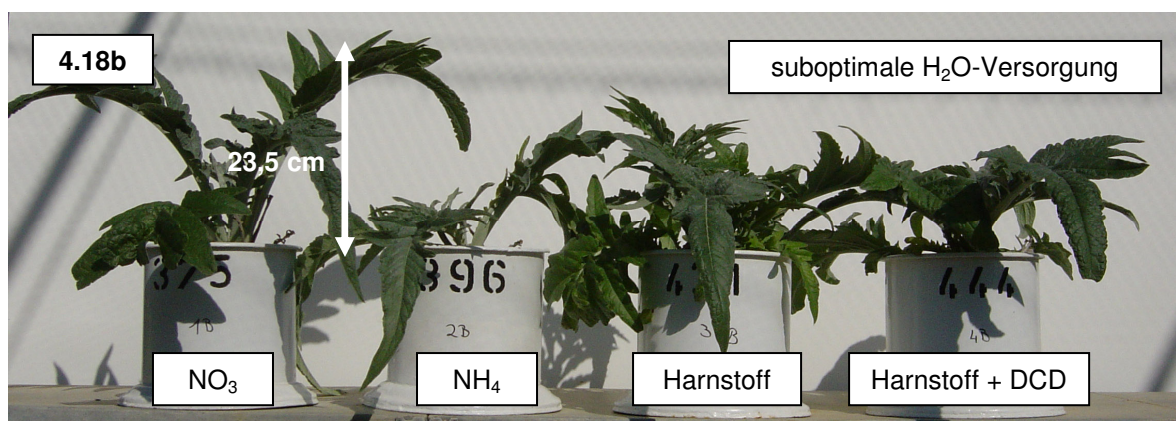
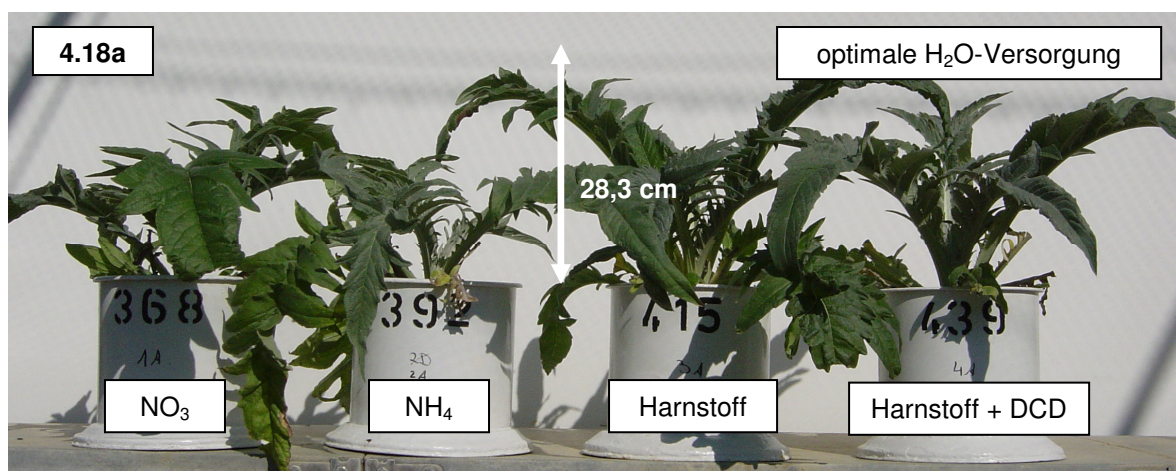
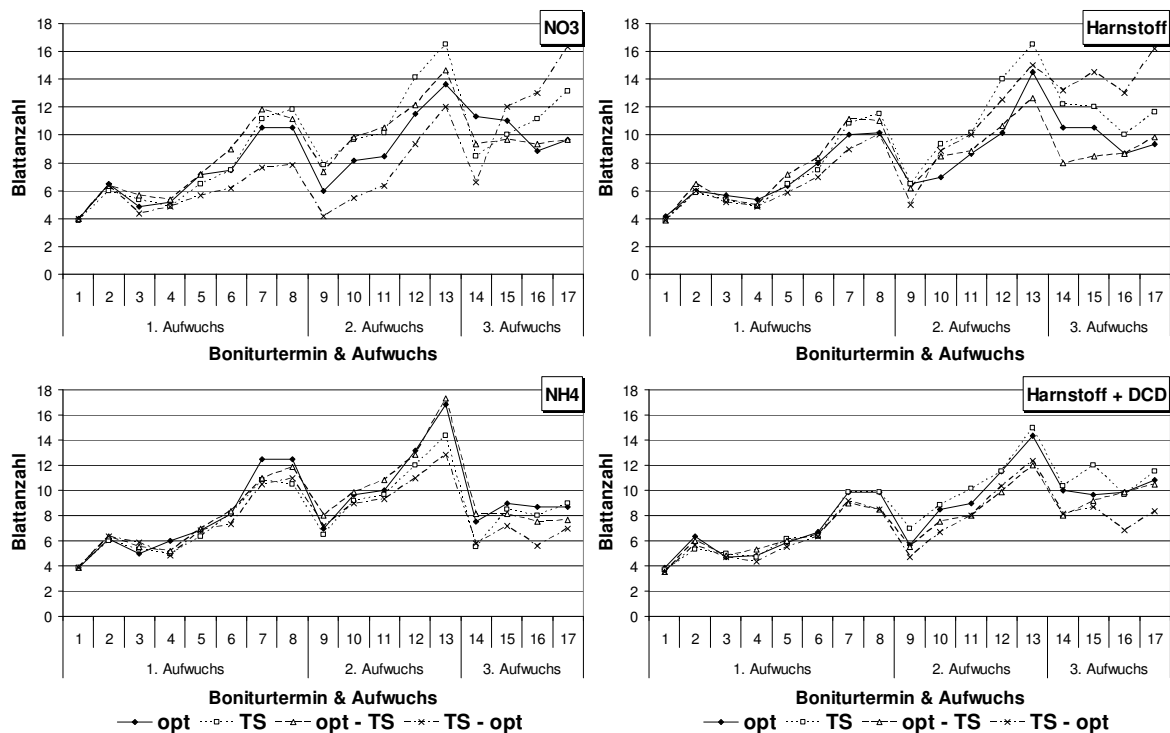


Abb. 4.18a & b: Entwicklung grüner Rosettenblätter in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung. Gefäßversuch, Rauischholzhausen, 2005.

Im dritten Aufwuchs wies die mit Ammonium gedüngte Variante unabhängig von der Wasserversorgung ein deutlich schwächeres Blattwachstum auf als die übrigen N-Varianten (vgl. Abb. 4.18a & b).

Die beobachteten Unterschiede in der Blattentwicklung waren statistisch nicht gesichert. Lediglich zum dritten Schnitt hatte der Faktor N-Form einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der grünen Rosettenblätter ($p = 0,003$, siehe Abb. 4.19). Hier zeigte sich zudem in den Varianten Nitrat und Harnstoff der Vorteil einer späten und optimalen Versorgung mit Wasser.

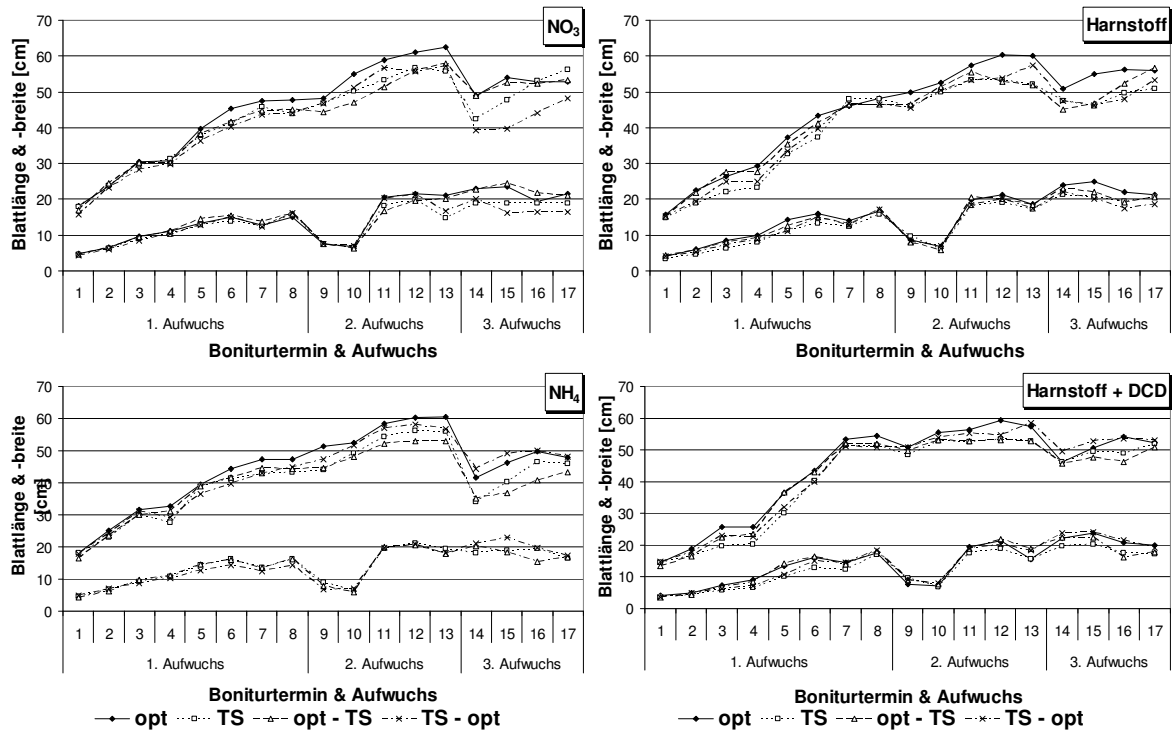


Legende:

opt = optimale Wasserversorgung; TS = Trockenstress; opt – TS = Trockenstress nach dem ersten Schnitt; TS – opt = Trockenstress bis zum ersten Schnitt

Abb. 4.19: Entwicklung der grünen Rosettenblätter (Blätter/Pflanze) in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2005.

Drei Wochen nach Versuchsbeginn traten erste Seneszenzerscheinungen auf. Dabei waren keine Unterschiede zwischen den Faktoren N-Form und Wasserversorgung zu beobachten. Die Entwicklung der Blätter wurde hinsichtlich **Blattlänge und -breite** sowohl durch die N-Form als auch durch die Wasserversorgung der Pflanzen beeinflusst. Wechselwirkungen traten zwischen diesen Faktoren zu keinem Zeitpunkt auf ($p \geq 0,169$). Aus Abb. 4.20 wird deutlich, dass die Blattlänge im zweiten Aufwuchs deutlich zunahm (ab Boniturtermin 9). Zu diesem Zeitpunkt waren die Blätter im Mittel 47 cm lang und 16 cm breit, zum zweiten Schnitt (Boniturtermin 13) betrug die Blattlänge 56 cm und die Blattbreite 18 cm.



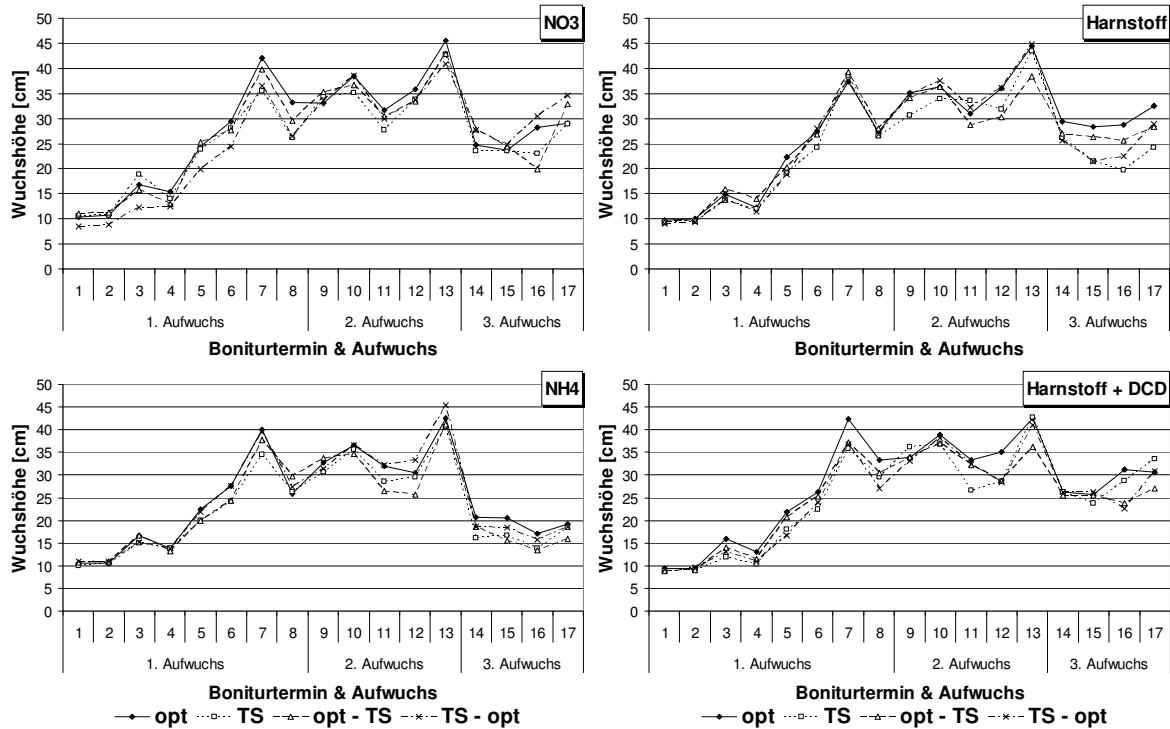
Legende:

opt = optimale Wasserversorgung; TS = Trockenstress; opt – TS = Trockenstress nach dem ersten Schnitt; TS – opt = Trockenstress bis zum ersten Schnitt

Abb. 4.20: Entwicklung von Blattlänge (obere drei Linien) und Blattbreite (untere drei Linien) der Artischocken in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2005.

Weiterhin ist zu erkennen, dass über alle N-Formen die optimal mit Wasser versorgten Pflanzen die stärkste Blattentwicklung aufwiesen. Die größten Unterschiede in der Blattlänge wurden im dritten Aufwuchs festgestellt. Hier wurden in den Varianten „Trockenstress“ und „Trockenstress bis zum ersten Schnitt“ die geringsten Werte ermittelt. Die Pflanzen dieser Varianten waren im Laufe der Pflanzenentwicklung daher auch am niedrigsten (**Wuchshöhe**, siehe Abb. 4.21). Statistisch konnte nur zu zwei Boniturterminen ein Einfluss der Wasserversorgung auf die Pflanzenlänge nachgewiesen werden (Boniturtermin 5: $p = 0,010$, Boniturtermin 16: $p = 0,025$). In Abb. 4.21 wird deutlich, dass die Pflanzen zum siebten Boniturtermin länger waren als unmittelbar zur Ernte im Anschluss an den Boniturtermin 8. Am Ende des zweiten Aufwuchses wurden Bestandeshöhen von 40 bis 45 cm gemessen.

Ähnlich wie im Gefäßversuch 2004 wiesen die Pflanzen der Ammonium-Variante auch im Versuchsjahr 2005 am Ende des dritten Aufwuchses die geringste Wuchshöhe auf (siehe Abb. 4.21).



Legende:

opt = optimale Wasserversorgung; TS = Trockenstress; opt – TS = Trockenstress nach dem ersten Schnitt; TS – opt = Trockenstress bis zum ersten Schnitt

Abb. 4.21: Wuchshöhe (in cm) der Artischockenpflanzen in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2005.

Blattertrag

Der Faktor **Wasserversorgung** hatte zu allen durchgeführten Ernteterminen einen signifikanten Einfluss auf den Blatt- bzw. Drogenertrag ($p \leq 0,015$). So wies die Kontrollvariante (= optimale Wasserversorgung) gegenüber der Trockenstressvariante unabhängig von der Düngerform einen um 12,5 % signifikant höheren TM-Ertrag auf (siehe Tab. 4.8). Das optimale Wasserangebot zu Beginn der Pflanzenentwicklung bis zum ersten Schnitt führte bei den Düngungsvarianten Nitrat und Ammonium (Varianten 1.3 und 2.3) zu einem höheren Ertrag gegenüber einem Wassermangel bis zum ersten Schnitt (Varianten 1.4 und 2.4). Harnstoff als auch Harnstoffbasis + DCD zeigten gegenläufige Ergebnisse. So wurden im Mittel in den Varianten 3.4 (Harnstoff, Trockenstress bis zum ersten Schnitt) und 4.4 (Harnstoff + DCD, Trockenstress bis zum ersten Schnitt) 5 g/Gefäß mehr TM ermittelt als in den Varianten 3.3 (Harnstoff, Trockenstress nach dem ersten Schnitt) und 4.3 (Harnstoff + DCD, Trockenstress nach dem ersten Schnitt). In der Summe der drei Schnitte konnten hier keine Unterschiede nachgewiesen werden.

Der Faktor N-Form bewirkte nur zum dritten Schnitt signifikante Unterschiede in den Blatterträgen ($p < 0,001$).

Tab. 4.8: Blattertrag [g/Gefäß] der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen 2005.

Variante	N-Form	H ₂ O-Versorgung	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	Σ Schnitte
1.1	NO ₃	Kontrolle	22,2	25,0	25,3	72,5
1.2		Trockenstress	17,7	20,4	24,7	62,9
1.3		Kontr./TrStr.	20,8	24,8	23,5	69,2
1.4		TrStr./Kontr.	18,8	24,0	24,7	67,4
2.1	NH ₄	Kontrolle	22,2	23,6	8,7	54,4
2.2		Trockenstress	19,8	21,2	9,9	50,8
2.3		Kontr./TrStr.	23,1	22,3	8,5	53,9
2.4		TrStr./Kontr.	20,2	22,7	8,0	51,0
3.1	Harnstoff	Kontrolle	20,6	24,1	29,9	74,6
3.2		Trockenstress	18,2	19,0	21,9	59,1
3.3		Kontr./TrStr.	20,8	22,1	26,2	69,1
3.4		TrStr./Kontr.	19,7	24,2	30,2	74,1
4.1	Harnstoff + DCD	Kontrolle	21,0	23,8	28,1	72,9
4.2		Trockenstress	18,4	21,4	25,8	65,6
4.3		Kontr./TrStr.	22,0	23,6	23,8	69,4
4.4		TrStr./Kontr.	17,4	25,9	31,0	74,3
N-Form		GD (5 %)	1,428	2,121	2,309	-
H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	1,428 ***	2,121 **	2,309 **	-
N-Form x H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	2,857	4,242	4,618	-

4.3.3. Chlorophyllindex

Die Pigmentierung der Artischockenblätter wurde lediglich durch die Form des applizierten Stickstoffs zum zweiten ($p = 0,014$) und dritten Schnitt ($p < 0,001$) signifikant beeinflusst. Die Wasserversorgung der Pflanzen hatte darauf keinen Einfluss, ebenso wenig traten Wechselwirkungen zwischen beiden Faktoren auf ($p \geq 0,377$). Der Chlorophyllindex nahm in allen Varianten vom ersten bis zum dritten Schnitt ab (siehe Tab. 4.9). In Variante 2.4 (NH₄, Trockenstress bis zum ersten Schnitt, 3. Schnitt) wurde der niedrigste CCI-Wert (25,63) gemessen, der höchste von 61,67 in Variante 3.3 (Harnstoff, optimale Wasserversorgung bis zum ersten Schnitt, 1. Schnitt).

Tab. 4.9: Chlorophyllindices der Artischockenblätter zur Ernte in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch Rauschholzhausen, 2005.

Variante	N-Form	H ₂ O-Versorgung	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
1.1	NO ₃	Kontrolle	57,2	49,3	42,4
1.2		Trockenstress	56,7	46,6	38,5
1.3		Kontr./TrStr.	58,9	45,2	45,7
1.4		TrStr./Kontr.	58,8	43,6	36,0
2.1	NH ₄	Kontrolle	53,1	39,6	26,1
2.2		Trockenstress	52,4	42,2	26,9
2.3		Kontr./TrStr.	55,8	48,7	31,5
2.4		TrStr./Kontr.	59,1	41,2	25,6
3.1	Harnstoff	Kontrolle	55,7	49,4	38,6
3.2		Trockenstress	58,3	40,8	36,6
3.3		Kontr./TrStr.	61,7	51,0	38,7
3.4		TrStr./Kontr.	57,7	45,2	26,8
4.1	Harnstoff + DCD	Kontrolle	56,9	48,3	40,7
4.2		Trockenstress	60,0	58,7	49,6
4.3		Kontr./TrStr.	56,7	59,5	39,0
4.4		TrStr./Kontr.	53,2	44,9	38,9
N-Form		GD (5 %)	6,26	6,01 **	5,33 ***
H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	6,26	6,01	5,33
N-Form x H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	12,53	12,03	10,67

4.3.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden

Die Wirkstoffgehalte in der Blattdroge wurden durch die N-Düngung als auch durch die Wasserversorgung beeinflusst. Während zum ersten Schnitt nur die Wasserversorgung und zum dritten Schnitt nur die N-Düngung einen signifikanten Einfluss auf den Gesamt-CCS-Gehalt hatten ($p < 0,001$), beeinflussten zur zweiten Blatternte beide Faktoren diese Wirkstoffkomponente (N: $p < 0,001$; Wasser: $p = 0,001$). Wechselwirkungen hinsichtlich des CCS-Gehaltes konnten nicht getestet werden.

Aus Tabelle 4.10 wird ersichtlich, dass im Mittel der Schnitte die höchsten CCS-Gehalte (6,78 %, 4,84 % und 7,11 %) in den im ersten Aufwuchs optimal mit Wasser versorgten Pflanzen erzielt wurden. Diese Beobachtung war unabhängig von der Art der N-Düngung (siehe Tab. 4.10). Über die gesamte Vegetationsperiode traten nur relativ geringe Schwankungen im CCS-Gehalt der Blattdroge auf. Eine Ausnahme bildet hier lediglich der eingesetzte Ammonium-Dünger, bei dem ein signifikant niedrigerer Wirkstoffgehalt detektiert wurde (Tab. 4.10, Var. 2.1 – 2.4). Die niedrigsten Gehalte wurden hier jeweils in den Varianten „Trockenstress“ und „Trockenstress bis zum ersten Schnitt“ beobachtet.

Tab. 4.10: CCS-Gehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch RH 2005.

Variante	N-Form	H ₂ O-Versorgung	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Schnitte
1.1	NO ₃	Kontrolle	5,89	5,95	5,18	5,67
1.2		Trockenstress	4,44	4,74	5,50	4,89
1.3		Kontr./TrStr.	6,98	7,66	5,70	6,78
1.4		TrStr./Kontr.	5,01	5,73	5,94	5,56
2.1	NH ₄	Kontrolle	5,42	5,20	1,57	4,06
2.2		Trockenstress	4,24	4,32	2,00	3,52
2.3		Kontr./TrStr.	6,50	6,05	1,98	4,84
2.4		TrStr./Kontr.	4,27	3,93	1,94	3,38
3.1	Harnstoff	Kontrolle	6,63	7,11	6,19	6,64
3.2		Trockenstress	5,16	6,40	7,14	6,23
3.3		Kontr./TrStr.	7,19	7,26	4,84	6,43
3.4		TrStr./Kontr.	4,98	6,21	5,77	5,65
4.1	Harnstoff + DCD	Kontrolle	5,27	8,58	6,57	6,81
4.2		Trockenstress	4,77	6,38	5,32	5,49
4.3		Kontr./TrStr.	7,01	8,76	5,57	7,11
4.4		TrStr./Kontr.	4,55	8,03	6,79	6,46
N-Form		GD (5 %)	1,54	1,84 ***	1,93 ***	-
H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	1,54 ***	1,84 ***	1,93	-
N-Form x H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	1,09	1,31	1,37	-

Tab. 4.11: Flavonoidgehalt [% TM] in den Blättern der Artischocke in Abhängigkeit von N-Form und Wasserversorgung, Gefäßversuch RH 2005.

Variante	N-Form	H ₂ O-Versorgung	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Schnitte
1.1	NO ₃	Kontrolle	1,36	1,39	1,32	1,36
1.2		Trockenstress	1,03	1,28	1,35	1,22
1.3		Kontr./TrStr.	1,51	1,73	1,49	1,58
1.4		TrStr./Kontr.	1,16	1,38	1,03	1,19
2.1	NH ₄	Kontrolle	1,26	1,38	0,83	1,16
2.2		Trockenstress	1,23	1,41	1,49	<i>1,38</i>
2.3		Kontr./TrStr.	1,35	1,36	0,83	1,18
2.4		TrStr./Kontr.	1,09	1,18	0,86	1,05
3.1	Harnstoff	Kontrolle	1,51	1,35	1,30	1,39
3.2		Trockenstress	1,10	1,11	1,01	1,07
3.3		Kontr./TrStr.	1,60	1,35	0,81	1,25
3.4		TrStr./Kontr.	1,20	1,29	1,25	1,25
4.1	Harnstoff + DCD	Kontrolle	1,50	1,55	1,06	1,37
4.2		Trockenstress	1,23	1,27	1,01	1,17
4.3		Kontr./TrStr.	1,34	1,61	0,91	1,28
4.4		TrStr./Kontr.	1,46	1,39	1,02	1,29
N-Form		GD (5 %)	0,40	0,30	0,35 *	-
H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	0,40 **	0,30 **	0,35	-
N-Form x H ₂ O-Versorgung		GD (5 %)	0,29	0,21	0,25 *	-

Die Schwankungen im Flavonoidgehalt der Droge waren geringer ausgeprägt als die der CCS-Verbindungen (Tab. 4.11). Dennoch zeigten sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5 \%$ signifikante Unterschiede zwischen den

Faktoren N-Düngung und Wasserversorgung. So hatte die Wasserversorgung im ersten und zweiten Schnitt einen Einfluss auf den Flavonoidgehalt, während die N-Düngung die Bildung der Flavonoide nur während des dritten Aufwuchses beeinflusste. Wechselwirkungen zwischen diesen Faktoren konnten für die dritte Schnittserie nachgewiesen werden ($p = 0,004$). Für die N-Formen NO_3 , Harnstoff und Harnstoff + DCD wiesen die optimal mit Wasser versorgten Pflanzen sowie die Pflanzen mit optimaler Wasserversorgung bis zum ersten Schnitt und anschließendem Trockenstress die höchsten Flavonoidgehalte in den Blättern auf (1,37 % bis 1,58 %). Diese Beobachtung trifft allerdings nicht auf die mit Ammonium versorgten Pflanzen zu, hier führte Trockenstress über die gesamte Vegetationsperiode im Mittel der Schnitte zu einem Flavonoidgehalt von 1,38 % (Var. 2.2). Trockenstressperioden, auch nur zu Beginn des Wachstums, hatten niedrigere Flavonoidgehalte zur Folge (Var. 2.4).

4.4. Wirkung von Tageslänge und Temperatur

4.4.1. Blattbildung und Blattertrag

Blattbildung

Durch den Einfluss niedriger Nachttemperaturen (Kältevariante) während der Jugendentwicklung der Artischocken konnten bis zum siebten Boniturtermin (43 Tage nach Pflanzung) im Vergleich zur Kontrollvariante keine Unterschiede in der **Bildung grüner Blätter** zwischen den verschiedenen Tageslängen festgestellt werden (siehe Abb. 4.23). Sowohl in der Kontrollvariante als auch in der Kältevariante erfolgte die Blattbildung nahezu identisch (siehe Abb. 4.23). Die Artischocken, die einer Belichtungsdauer von 16 h und im 2-Blattstadium für fünf Nächte niedrigen Temperaturen ausgesetzt waren (= Kältevariante), wiesen zum ersten Schnitt 12 erntefähige Blätter/Pflanze auf (Abb. 4.23, Boniturtermin 11). Dagegen zeigten die Pflanzen, die einer Belichtungsdauer von 12 h bzw. 14 h ausgesetzt waren, ein kontinuierliches Blattwachstum im ersten Aufwuchs. Zur Ernte (1. Schnitt) wurden hier im Mittel 16 Blätter/Pflanze geerntet. In der Kontrollvariante hatte die Tageslänge einen unterschiedlichen Einfluss auf die Blattbildung: zum ersten Schnitt führten 12 h Belichtung zu 16 Blättern/Pflanze, eine Belichtungsdauer von 14 h zu 11 Blättern/Pflanze und 16 h zur Ausbildung von 13 Blättern/Pflanze.

Im zweiten und dritten Aufwuchs waren in der Kältevariante keine signifikanten Unterschiede in der Blattbildung zu erkennen, die Pflanzen aller Belichtungsvarianten besaßen zur Ernte im Mittel 9,4 grüne Blätter/Pflanze (Abb. 4.23).



* Im 2-Blattstadium wurden die Pflanzen dieser Varianten für fünf Nächte bei 2 °C in die Kältekammer gestellt.

Abb. 4.22: Entwicklung der grüner Rosettenblätter in Abhängigkeit von der Temperatur während der Jugendentwicklung. Gefäßversuch (Klimakammer), Rauschholzhausen, 2005.

In der Kontrollvariante zeigte sich hingegen, dass im zweiten und dritten Aufwuchs bei einer Tageslänge von 14 h die Blattausbildung am geringsten (im Mittel 8,8 Blätter/Pflanze), bei 16 h am höchsten war (im Mittel 12 Blätter/Pflanze).

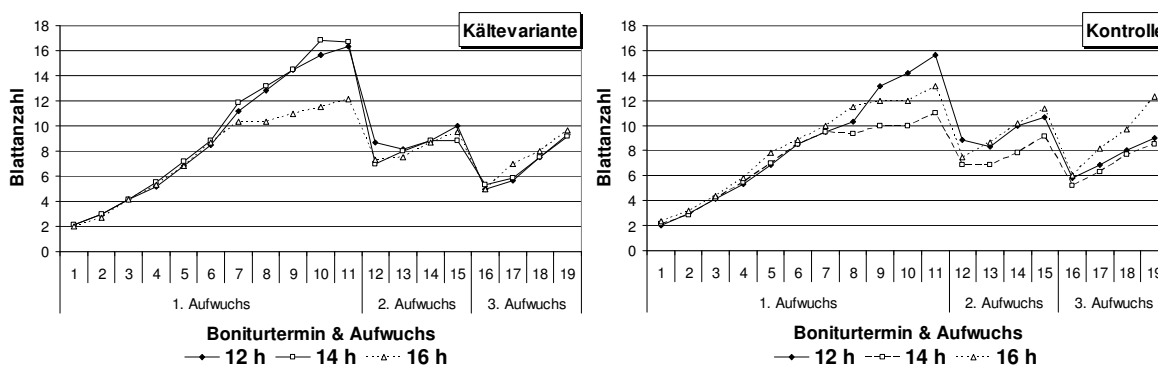


Abb. 4.23: Entwicklung der grüner Rosettenblätter (Blätter/Pflanze in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen 2005.

Im Laufe des ersten Aufwuchses ergaben sich hinsichtlich der **Blatllänge und -breite** signifikante Unterschiede zwischen den Messterminen (siehe Abb. 4.24). Die statistische Auswertung des Datenmaterials ergab, dass diese Unterschiede durch den Faktor Tageslänge induziert wurden (L: $p = 0,015$, B: $p = 0,026$).

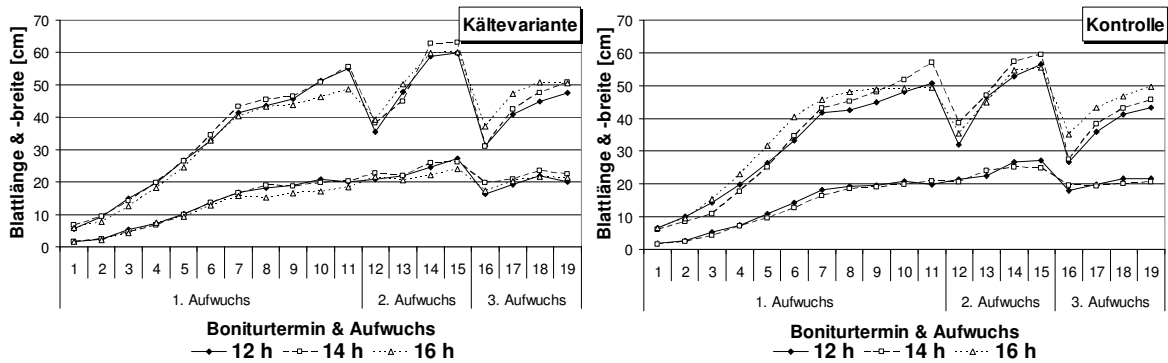


Abb. 4.24: Entwicklung von Blatllänge (obere drei Linien) und Blattbreite (untere drei Linien) der Artischocken in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen 2005.

Dennoch geht aus Abb. 4.24 hervor, dass eine längere Belichtungsdauer (14 h bzw. 16 h Licht /Tag) in der Kontrollvariante zu „längeren“ Blättern führte, während sich in der Kältevariante eine Tageslänge von 16 h erst im dritten Aufwuchs positiv auf das Längenwachstum der Pflanzen auswirkte.

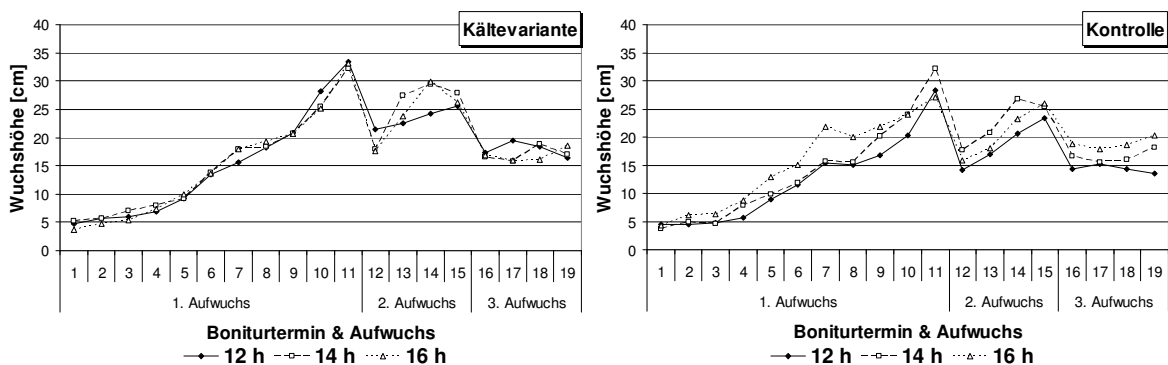


Abb. 4.25: Wuchshöhe der Artischockenpflanzen in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen 2005.

Die **Wuchshöhe** wurde im Laufe des ersten Aufwuchses nur in der Kontrollvariante durch die Tageslänge beeinflusst. 16 h Licht begünstigten das Streckungswachstum der Pflanzen gegenüber 14 h bzw. 12 h Licht. Zum ersten Schnitt ergaben sich aber weder durch den Faktor Tageslänge noch durch den Faktor Temperatur signifikante Unterschiede.

Die Höhe der Pflanzen zu diesem Zeitpunkt betrug im Mittel 33 cm (Kältevariante) bzw. 29 cm (Kontrollvariante, siehe Abb. 4.25). Der zweite Aufwuchs wurde statistisch gesehen durch den Faktor Temperatur beeinflusst. Hier kam es in der Kältevariante zu einem signifikant stärkeren Längenwachstum der Artischocken. Innerhalb des dritten Aufwuchses zeigte sich wie zuvor bei der Ergebnisdarstellung der Parameter Blattlänge und -breite, dass in der Kontrollvariante die Wuchshöhe der Pflanzen signifikant durch die Belichtungsdauer beeinflusst wurde ($p = 0,024$). Bei einer Tageslänge von 16 h betrug die Wuchshöhe im Mittel 19 cm, während bei 12 h Licht eine Wuchshöhe von lediglich 14,3 cm ermittelt wurde.

Blattertrag

Der TM-Ertrag wurde weder durch den Faktor Tageslänge noch durch den Faktor Temperatur signifikant beeinflusst (Tabelle 4.12). Gemittelt über den Faktor Temperatur konnten lediglich zum dritten Schnitt signifikante Unterschiede ($p = 0,020$) zwischen den Tageslängen festgestellt werden.

Tab. 4.12: Blattertrag [g/Gefäß] der Artischocke in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen, 2005.

Variante	Tageslänge	Temperatur	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	Σ Schnitte
1.1	12 h	Kältevariante	28,55	19,85	14,96	63,36
1.2		Kontrolle	26,64	18,92	15,06	60,63
2.1	14 h	Kältevariante	29,69	19,44	16,66	65,78
2.2		Kontrolle	28,43	19,77	17,26	65,46
3.1	16 h	Kältevariante	28,01	19,67	16,41	64,10
3.2		Kontrolle	28,10	20,72	18,74	67,55
Tageslänge		GD (5 %)	2,976	0,999	1,820 *	4,574
Temperatur		GD (5 %)	2,430	0,816	1,486	3,735
Tageslänge x Temperatur		GD (5 %)	4,209	1,413	2,575	6,469

So wurden bei einer Belichtungsdauer von 12 h 15,0 g TM/Gefäß, bei einer Belichtungsdauer von 14 h 17,0 g TM/Gefäß und bei einer Belichtungsdauer von 16 h 17,6 g TM/Gefäß ermittelt. Grundsätzlich reduzierte sich die mittlere Ertragsleistung vom ersten (28,2 g TM/Gefäß) bis zum letzten (16,5 g TM/Gefäß) Schnitt. Aus der Summe der Schnitte ist zu erkennen, dass der Drogenertrag im Mittel der Temperaturvarianten mit zunehmender Belichtungsdauer anstieg. Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Tageslänge und Temperatur konnten statistisch nicht nachgewiesen werden.

4.4.2. Chlorophyllindex

Die Faktoren Tageslänge und Temperatur hatten zu den Schnitten 1 und 2 keine signifikanten Einflüsse auf die Pigmentierung der Pflanzen ($p \geq 0,153$), während zum dritten Schnitt statistisch gesicherte Unterschiede festgestellt werden konnten die durch die Tageslänge induziert wurden ($p = 0,001$).

Tab. 4.13: Chlorophyllindices der Artischockenblätter, Klimakammerversuch Rauschholzhausen, 2005.

Variante	Tageslänge	Temperatur	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
1.1	12 h	Kältevariante	67,6	57,2	49,4
1.2		Kontrolle	60,8	48,6	48,5
2.1	14 h	Kältevariante	74,1	57,4	60,7
2.2		Kontrolle	69,6	53,2	59,2
3.1	16 h	Kältevariante	71,0	44,2	63,5
3.2		Kontrolle	73,9	58,9	62,9
Tageslänge		GD (5 %)	9,39	6,86	7,53 ***
Temperatur		GD (5 %)	7,67	5,60	6,15
Tageslänge x Temperatur		GD (5 %)	13,28	9,70 **	10,66

Aus Tabelle 4.13 wird dennoch ersichtlich, dass in allen drei realisierten Schnittserien mit zunehmender Tageslänge die Pigmentierung der Blätter (gemessen als CCI) in der Kontrollvariante zunahm. So wurde beispielsweise in Variante 1.2 (**12 h**, Kontrolle, 1. Schnitt) ein CCI von 60,78 gemessen, während in Variante 3.2 (**16 h**, Kontrolle, 1. Schnitt) der CCI einen Wert von 73,85 erreichte. Gleiche Beobachtungen trafen auf die Schnitte 2 und 3 zu. Der Einfluss niedriger Temperaturen während der Jugendentwicklung der Pflanzen (Kältevariante) führte nur im dritten Aufwuchs zu kontinuierlich steigenden CCI-Werten, zum ersten und zweiten Schnitt war der CCI bei einer Belichtungsdauer von 14 h höher als bei einer Belichtungsdauer von 16 h (siehe Tab. 4.13). Über die Versuchsdauer betrachtet sind abnehmende CCI-Werte in den Varianten 1.1 und 1.2 (12 h Tageslänge) zu erkennen. Bei einer Tageslänge von 14 h und 16 h wurde nach dem zweiten Schnitt eine Zunahme des Chlorophyllgehaltes beobachtet.

4.4.3. Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden

Hinsichtlich der Wirkstoffgehalte in den grünen Blättern der Artischocke hatte die Tageslänge einen signifikanten Einfluss auf die Synthese der phenolischen Verbindungen.

So war zu beobachten, dass sowohl die Gesamt-Gehalte der CCS-Verbindungen als auch der Flavonoide mit zunehmenden Tageslängen anstiegen (CCS: $p \leq 0,004$, Flav: $p < 0,001$). Diese Tendenz war über alle drei Schnitte festzustellen¹¹ (vgl. Tab. 4.14 und 4.15). 16 h Licht bewirkte eine 2,4-fache Erhöhung des CCS-Gehaltes gegenüber einer Belichtungsdauer von 12 h. Bei den Gehalten an Flavonoiden war eine Erhöhung um das 5,8-fache zu beobachten (Tab. 4.15). Aufgrund der ermittelten Ergebnisse ist festzustellen, dass niedrige Temperaturen während der Jugendentwicklung der Artischockenpflanzen keine signifikante Beeinflussung der Polyphenolsynthese verursachten.

Tab. 4.14: CCS-Gehalt [% TM] der Artischockenblätter in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen, 2005.

Variante	Tageslänge	Temperatur	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Schnitte
1.1	12 h	Kältevariante	6,49	4,21	1,93	4,21
1.2		Kontrolle	5,50	2,97	1,91	3,46
2.1	14 h	Kältevariante	7,35	5,34	3,29	5,33
2.2		Kontrolle	6,15	4,15	-	5,15
3.1	16 h	Kältevariante	8,59	5,46	-	7,02
3.2		Kontrolle	10,52	6,26	-	8,39
Tageslänge		GD (5 %)	1,58 ***	0,93 ***	0,53 **	-
Temperatur		GD (5 %)	1,29	0,76	0,44	-
Tageslänge x Temperatur		GD (5 %)	2,24	1,32	0,75	-

Bei Tageslängen von 14 h waren keine Unterschiede innerhalb des Faktors Temperatur zu beobachten, bei 16 h Tageslicht führte die Kältebehandlung allerdings zu niedrigeren Wirkstoffgehalten gegenüber der Kontrollvariante (Tab. 4.14 und 4.15, MW aus drei Schnitten).

¹¹ Eine Ausnahme bildete der Gesamt-Flavonoidgehalt des dritten Schnittes, hier war kein Einfluss der Tageslänge vorhanden ($p = 0,203$).

Tab. 4.15: Flavonoidgehalt [% TM] in Artischockenblättern in Abhängigkeit von Tageslänge und Temperatur, Klimakammerversuch Rauschholzhausen, 2005.

Variante	Tageslänge	Temperatur	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Schnitte
1.1	12 h	Kältevariante	0,19	0,12	0,18	0,16
1.2		Kontrolle	0,15	0,05	0,05	0,08
2.1	14 h	Kältevariante	0,19	0,12	0,06	0,12
2.2		Kontrolle	0,20	0,10	-	0,15
3.1	16 h	Kältevariante	0,36	0,27	-	0,31
3.2		Kontrolle	0,64	0,28	-	0,46
Tageslänge		GD (5 %)	0,11 ***	0,09 ***	0,09	-
Temperatur		GD (5 %)	0,09	0,07	0,08	-
Tageslänge x Temperatur		GD (5 %)	0,15 **	0,12	0,13	-

4.5. Wirkstoffverteilung in der Pflanze

Die Analysen zur räumlichen Verteilung der pharmazeutisch relevanten Wirkstoffe in der Artischockendroge erforderten eine exakte Segmentierung des geernteten Probenmaterials (siehe Kapitel 3.3., Probenaufbereitung, Abb. 3.9). In den Abbildungen 4.26 und 4.27 ist die Verteilung dieser Wirkstoffe innerhalb eines grünen Rosettenblattes dargestellt, während Abbildung 4.28 die Verteilung in den Blättern unterschiedlichen physiologischen Alters zeigt.



GD (α = 5 %)	Giessen			Rauschholzhausen	
	cv. 'GG', 03 *	cv. 'GG', 04	cv. 'WG', 04	cv. 'GG', 04	cv. 'WG', 04
Blattsegmente	0,8	1,2	1,8	1,3	1,5

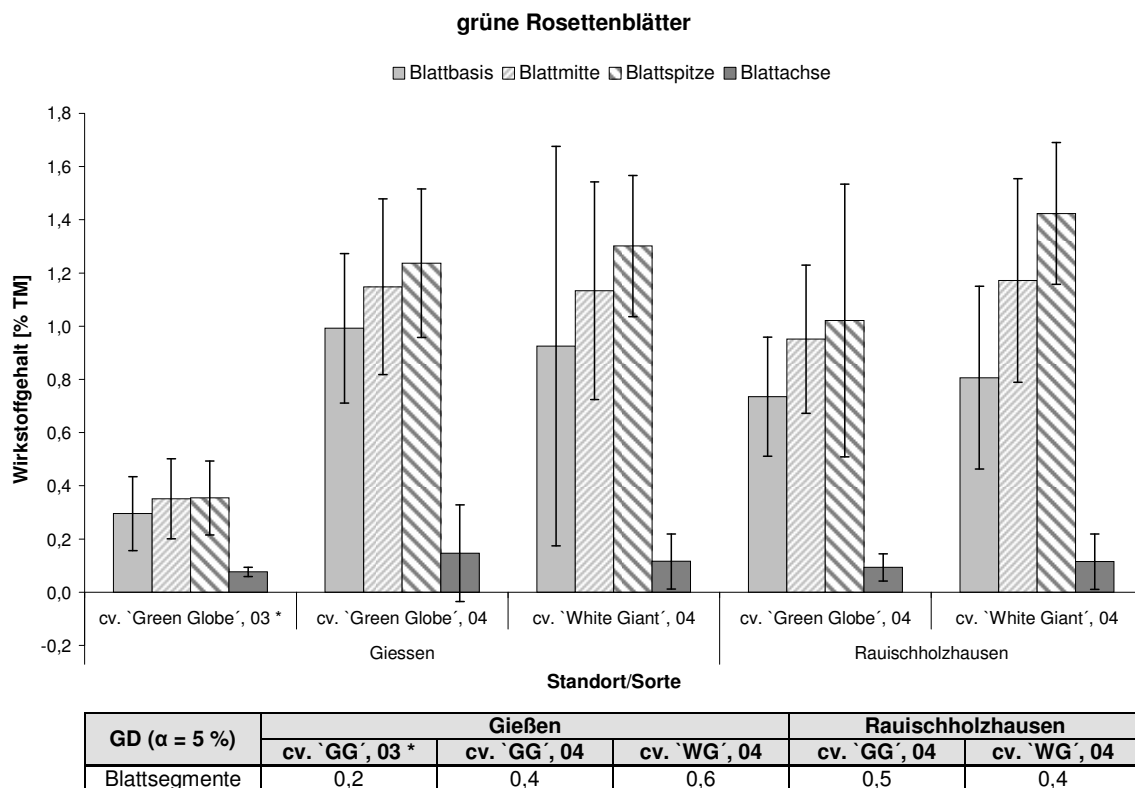
* im Versuchsjahr 2003 wurde nur die Referenzsubstanz Chlorogensäure bestimmt – ca. 50 % des Gesamt-CCS-Gehaltes.

Abb. 4.26: Verteilung von Caffeoylchinasäurederivaten in den grünen Rosettenblättern der Artischocke, Feldversuche Gießen und Rauschholzhausen 2003 – 2004.

Die Ergebnisse der Laboranalysen zeigten, dass ein signifikant ($p \leq 0,003$) höherer Wirkstoffgehalt in den Blattspreiten (Blattbasis, –mitte und –spitze) der grünen Blätter gegenüber der Blattachse festzustellen war (siehe Abb. 4.26 und 4.27). So lag der Gehalt an CCS-Verbindungen im Mittel der in Abb. 4.26 dargestellten Versuche in der Blattachse bei 1,3 %. In den Spreiten der Blätter wurde dagegen ein CCS-Gehalt von 4,0 % ermittelt.

Innerhalb der Blattspreiten waren die pharmazeutisch relevanten Verbindungen (Chlorogensäure bzw. Gesamt-CCS-Gehalt) v. a. in den Blattspitzen, den physiologisch jüngsten Bereichen des Blattes, zu finden (siehe Abb. 4.26). Mit 4,4 % TM lag der CCS-Gehalt in diesem Blattsegment um 0,3 % über dem CCS-Gehalt der Blattmitte (4,1 % TM) bzw. um 0,8 % über dem CCS-Gehalt der Blattbasis (3,6 %).

Eine ähnliche Verteilung innerhalb des Blattes war bei den Flavonoiden zu beobachten (Abb. 4.27), denn auch hier wiesen die Blattspitzen die höchsten Gehalte/TM auf. Die Blattachse war durch einen Flavonoidgehalt von lediglich 0,1 % gekennzeichnet, während in der Blattspreite Werte von 0,8 % (Blattbasis) bis 1,1 % (Blattspitze) detektiert wurden. Die unterschiedliche Verteilung der Wirkstoffe zwischen Blattspreite und Blattachse war bei den Flavonoiden stärker ausgeprägt als bei den CCS-Verbindungen. So lag das Niveau der Flavonoidgehalte in den Blattachsen nur bei 15 – 20 % im Vergleich zu den Blattspreiten (= relativ 100).

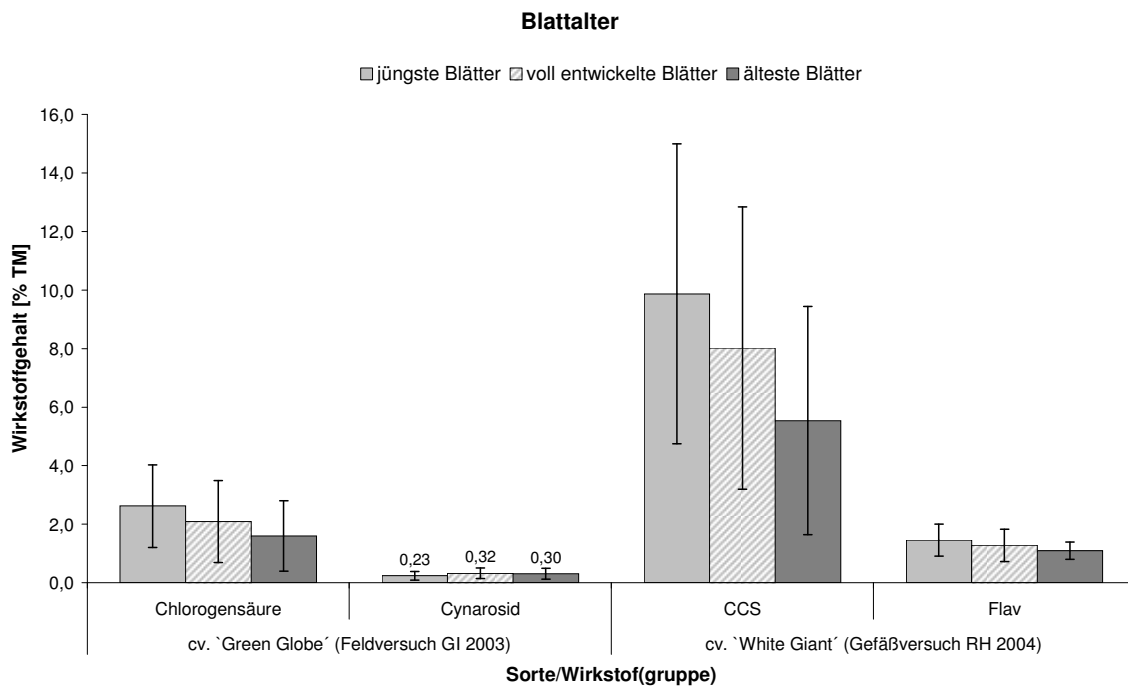


* im Versuchsjahr 2003 wurde nur die Referenzsubstanz Cynarosid bestimmt – ca. 40 % des Gesamt-Flavonoidgehaltes.

Abb. 4.27: Verteilung von Flavonoiden in den grünen Rosettenblättern der Artischocke, Feldversuche Gießen und Rauschholzhausen 2003 – 2004.

Die CCS-Verbindungen hatten in den Blattachsen ein Niveau von 25 – 30 % im Vergleich zu den Blattspreiten.

Die Blätter einer Artischockenpflanze wiesen ebenfalls signifikante Unterschiede in ihrem Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von Blattinsertion bzw. Blattalter auf. So wurden am Standort Gießen im Versuchsjahr 2003 bei der Sorte `Green Globe` die höchsten Chlorogensäuregehalte in den physiologisch jüngsten Blättern detektiert (2,6 % TM), während Cynarosid in dieser Altersgruppe in den geringsten Konzentrationen vorkam (0,23 % TM, siehe Abb. 4.28). Dieser Wirkstoff wurde indessen zu 0,3 % in den voll entwickelten bzw. zu 0,3 % in den ältesten Blättern der Pflanzen analysiert.



GD (α = 5 %)	Feldversuch GI (2003)		Gefäßversuch RH (2004)	
	Chlorogensäure	Cynarosid	CCS	Flavonoide
Blattalter	1,9	0,2	n. b.	n. b.

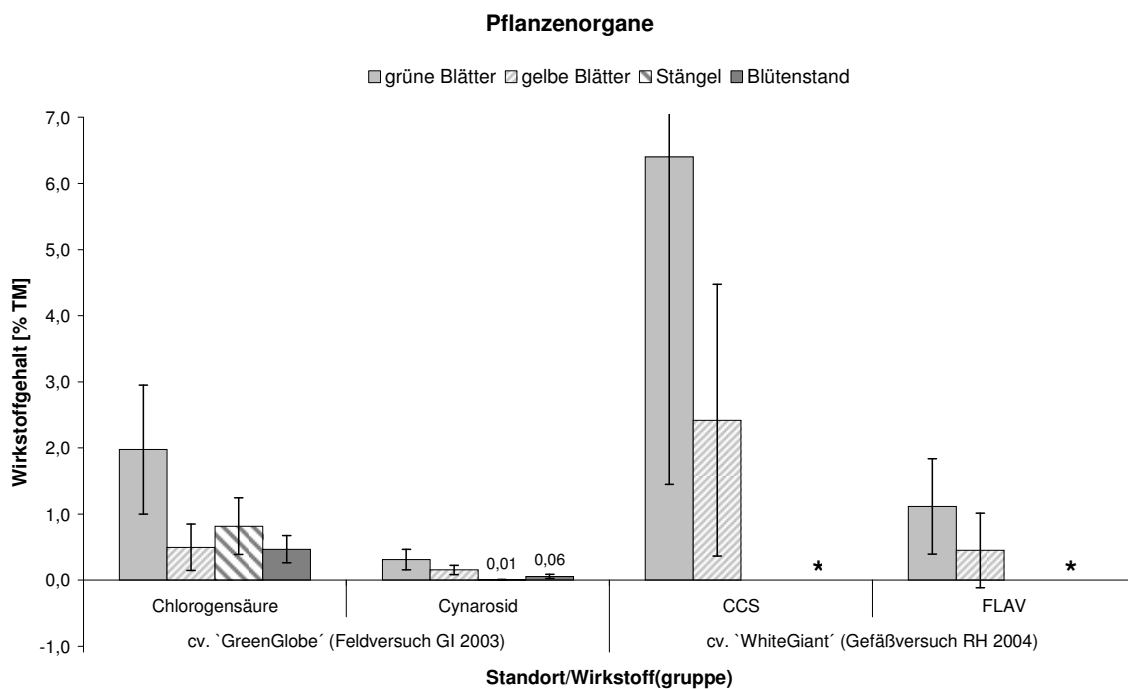
n. b. nicht berechenbar, weil die Daten nicht normal verteilt waren.

Abb. 4.28: Verteilung von Caffeoylchinasäurederivaten und Flavonoiden in den grünen Blättern der Artischocke in Abhängigkeit vom Blattalter, Feldversuch Gießen 2003 und Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.

Im Gefäßversuch mit der Sorte `White Giant` im Jahr 2004 bestätigten sich die Ergebnisse aus dem Jahr 2003 hinsichtlich des CCS-Gehaltes. So wiesen die jüngsten Blätter den höchsten Gehalt an Caffeoylchinasäurederivaten auf.

Zusätzlich war in diesen Blättern auch der Flavonoidgehalt, entgegen den Ergebnissen von 2003, am höchsten (siehe Abb. 4.28).

Hinsichtlich der Verteilung phenolischer Verbindungen in den verschiedenen Pflanzenorganen der Artischocke ist zu erkennen, dass die grünen Rosettenblätter den höchsten Chlorogensäuregehalt als auch den höchsten Gehalt an Cynarosid aufwiesen (vgl. Abb. 4.29). Darüber hinaus ließen sich in den o. g. Blattsegmenten die höchsten Gesamtgehalte an CCS-Verbindungen und Flavonoiden nachweisen (Abb. 4.30). Chlorogensäure wurde zum Zeitpunkt der Ernte weiterhin in der Sprossachse der Pflanzen nachgewiesen, während in den gelben Blättern sowie im Blütenstand eine geringere Konzentration an Chlorogensäure zu finden war. Cynarosid war in der Sprossachse in sehr geringer Konzentration vorhanden (0,01 %) und wurde v. a. in den gelben, seneszenten Rosettenblättern gefunden. Im Blütenstand war Cynarosid nur zu einem Anteil von 0,06 % TM enthalten.



GD (α = 5 %)	Feldversuch GI (2003)		Gefäßversuch RH (2004)	
	Chlorogensäure	Cynarosid	CCS	Flavonoide
Pflanzenorgane	1,1	0,2	n. b.	n. b.

* Sprossachse und Blütenstand wurden nicht gebildet.
 n. b. nicht berechenbar, weil die Daten nicht normal verteilt waren.

Abb. 4.29: Verteilung von Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Pflanzenorganen der Artischocke, Feldversuch Gießen 2003 und Gefäßversuch Rauschholzhausen 2004.

Unabhängig von der Kultivierungsform (Feldversuch bzw. Gefäßversuch) wiesen die grünen Rosettenblätter den höchsten Gehalt an pharmazeutisch relevanten Substanzen auf. Aus den Abbildungen 4.28 und 4.29 geht hervor, dass Caffeoylchinasäurederivate und Flavonoide in den durchgeführten Gefäßversuchen höhere Konzentrationen aufwiesen als in den Feldversuchen.

4.6. Wirkstoffsynthese im Tagesverlauf

Die Untersuchungen zum Gehalt an Polyphenolen in der Artischockendroge in Abhängigkeit der Tageszeit wurden auf dem Versuchsfeld 'Weilburger Grenze' (Gießen) im Jahre 2005 durchgeführt. Die Prüfstufen wurden dabei im 2-Stunden-takt von 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr variiert. Wie in den Jahren zuvor, konnten während der Vegetationsperiode drei Schnitte/Variante realisiert werden. Die Auswertung der HPLC-Analysen ergab, dass die tageszeitlich determinierte Ernte der Artischockenblätter signifikante Unterschiede in den Gehalten der wertgebenden Inhaltsstoffe bewirkte.

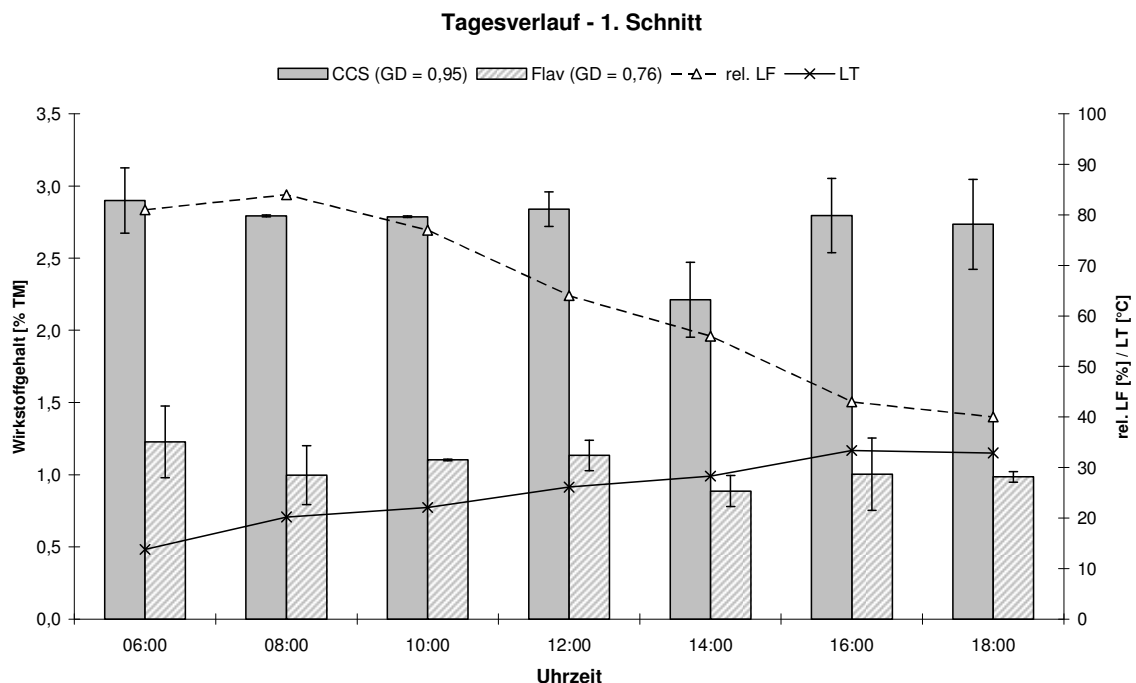


Abb. 4.30: Gehalte an Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Blättern der Artischocke, cv. 'White Giant' im Tagesverlauf – 1. Schnitt (28. Juli), Feldversuch Gießen 2005.

So geht aus Abb. 4.30 hervor, dass im Zuge des 1. Schnittes (28.07.2005) eine Blatternte um 14:00 Uhr zu signifikant ($p = 0,002$) niedrigeren CCS-Gehalten führte als Ernten vor bzw. nach dieser Tageszeit. Bei der genauen Betrachtung der detektierten Gehalte ist festzustellen, dass der früheste Erntetermin (06:00 Uhr) mit 2,90 % den höchsten Gehalt an CCS-Verbindungen aufwies. Die gemessene Lufttemperatur zu dieser Tageszeit betrug 13,8 °C, die relative LF 81 %. Auch der Gehalt an Flavonoiden war um 06:00 Uhr morgens mit 1,23 % am höchsten, dennoch sind hier auf dem Niveau $\alpha = 5$ % keine Signifikanzen festzustellen ($p = 0,130$).

Der zweite Schnitt (geerntet 07.09.2005), dargestellt in Abb. 4.31, zeichnet sich durch signifikant ansteigende CCS- und Flavonoidgehalte ab 16:00 Uhr (CCS, $p < 0,001$) bzw. 14:00 Uhr (Flavonoide, $p = 0,003$) aus. Klar zu erkennen ist eine Absenkung der Gehalte zum Zeitpunkt der stärksten Sonneneinstrahlung (Mittagsstunden). Die CCS-Gehalte sanken hier auf Werte unter 1 %, während sie sich gegen Ende der Teilernten nahezu verdoppelten. Der minimale Flavonoidgehalt wurde mit 0,35 % um 12:00 Uhr gemessen, 4 Stunden später hatte auch hier eine Verdopplung stattgefunden (0,71 %). Auch hier ist klar zu erkennen, dass sowohl die Lufttemperatur als auch die relative LF im Tagesverlauf einer kontinuierlichen Zunahme (LT) bzw. Abnahme (rel. LF) unterlagen. Eindeutig geht aus dem Vergleich der Abbildungen 4.30 und 4.31 hervor, dass das Gehaltsniveau des 2. Schnittes signifikant gegenüber dem des 1. Schnittes gesunken war. So lag im Mittel der sieben Teilernten der CCS-Gehalt zum 1. Schnitt bei 2,72 %, während zum 2. Schnitt ein mittlerer CCS-Gehalt von lediglich 1,30 % detektiert wurde. Gleichwertige Beobachtungen verdeutlichen die Ergebnisse der Flavonoidgehalte, die im 2. Schnitt um 46 % unter dem mittleren Flavonoidgehalt des 1. Schnittes lagen. Die am 12.10.2005 realisierte dritte Schnittserie (Abb. 4.32) wies gegenüber der 2. wiederum ein höheres Wirkstoffniveau auf, welches sich hinsichtlich der tageszeitlich gestaffelten Ernten nicht zwischen den 2-stündig realisierten Teilernten von 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr unterschied. So ist hier ein mittlerer CCS-Gehalt von 1,55 % errechnet worden ($p = 0,122$), der mittlere Flavonoidgehalt beträgt 0,95 % ($p = 0,916$).

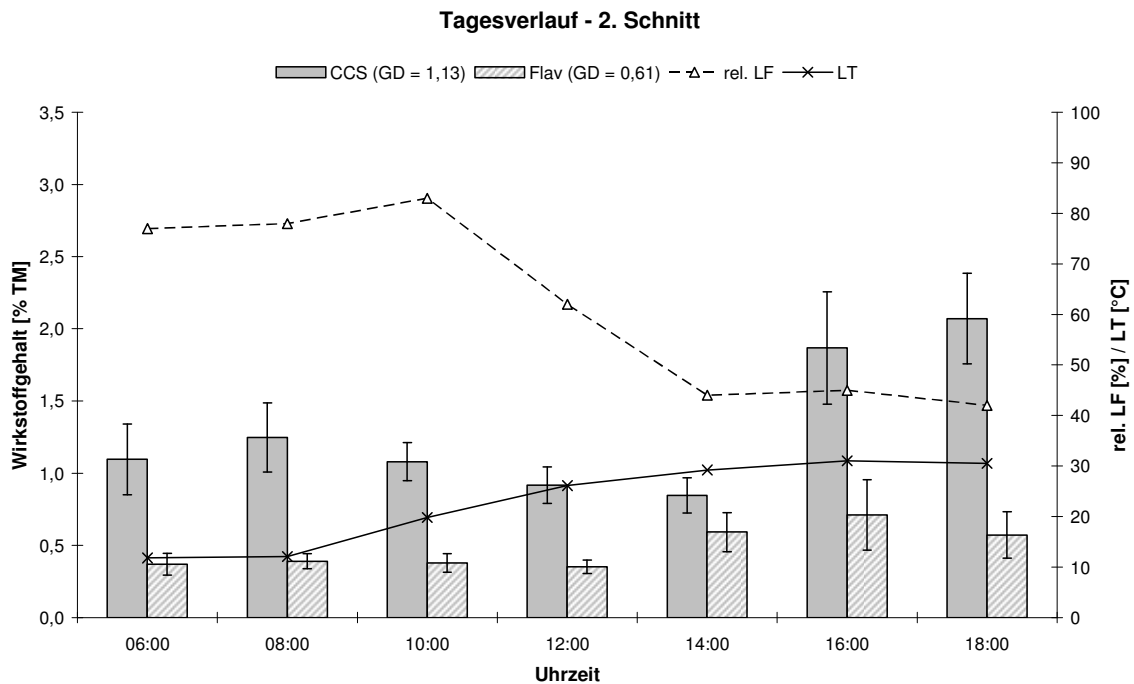


Abb. 4.31: Gehalte an Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Blättern der Artischocke, cv. 'White Giant' im Tagesverlauf – 2. Schnitt (07. September), Feldversuch Gießen 2005.

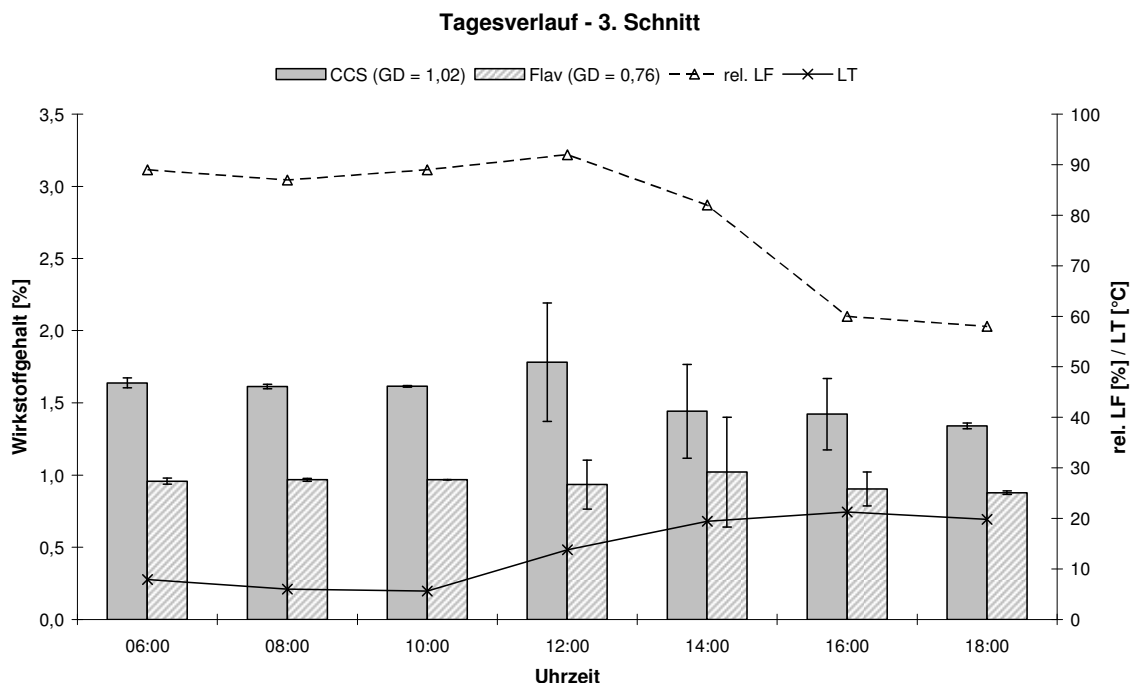


Abb. 4.32: Gehalte an Caffeoylchinasäurederivaten sowie Flavonoiden in den Blättern der Artischocke, cv. 'White Giant' im Tagesverlauf – 3. Schnitt (12. Oktober), Feldversuch Gießen 2005.

Eine detaillierte Betrachtung der hier ermittelten Wirkstoffgehalte zeigt aber, dass sowohl CCS als auch Flavonoide im Laufe der einstrahlungsintensivsten Mittagsstunden am stärksten synthetisiert worden sind (CCS: 1,78 % um 12:00 Uhr, Flavonoide: 1,02 % um 14:00 Uhr). Während es zwischen den Schnitten 1 und 2 weder hinsichtlich der mittleren Lufttemperatur noch hinsichtlich der relativen LF große Unterschiede zum Zeitpunkt der Teilernten gab (1. Schnitt: 25,3 °C / 64 % rel. LF, 2. Schnitt: 22,9 °C / 62 % rel. LF), wurden zum Zeitpunkt des dritten Schnittes Mitte Oktober lediglich 13,4 °C bei einer rel. LF von 79 % gemessen.

In der folgenden Abbildung 4.33 ist die Licht- bzw. Strahlungsintensität zum Erntezeitpunkt dargestellt. Daraus geht eine eindeutige Korrelation der Strahlungsintensität mit der Tageszeit hervor. So wurden zu allen drei Schnitten die höchsten Strahlungsintensitäten, unabhängig von der Jahreszeit, um 12:00 Uhr gemessen. In den Vormittagsstunden hat die Strahlungsintensität kontinuierlich zugenommen, während sie ab 12:00 Uhr einer steten Abnahme unterlag.

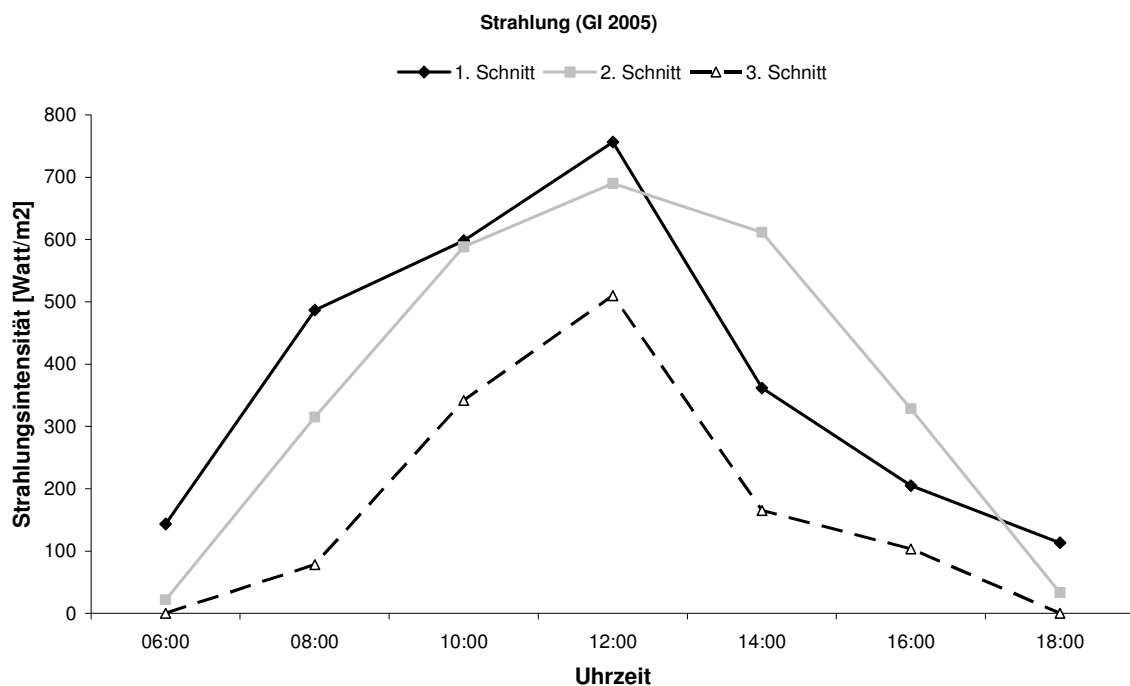


Abb. 4.33: Lichtintensität [Watt/m^2] zur Erntezeit im Tagesverlauf, Feldversuch Gießen 2005 (Daten wurden auf dem Versuchsfeld Linden-Forst erhoben).

Eine signifikante Korrelation zwischen der in Abb. 4.33 dargestellten Strahlung und den ermittelten Wirkstoffgehalten konnte nicht festgestellt werden. Innerhalb des zweiten Schnittes ist jedoch zu erkennen, dass die Zunahme der Strahlungsintensität über die Mittagsstunden (Abb. 4.33) zu signifikant niedrigeren Wirkstoffgehalten führte (Abb. 4.31).

4.7. Ergebnisse aus der Praxis – Vergleich mit Versuchsergebnissen

In der folgenden Abb. 4.34 ist zu erkennen, dass auf dem Erzeugerbetrieb Hofgutkräuter GmbH & Co. KG, Reinheim, in den Jahren 2006 und 2007 mittlere Blatterträge von 28 bis 34 dt/ha erzielt worden sind. In beiden Jahren ist eine Ertragssteigerung vom ersten bis zum dritten Schnitt erkennbar, während gegen Ende der Vegetationsperiode (vierter und fünfter Schnitt) die mittleren Blatterträge wieder stark sanken. Die hier intensiv kultivierte Sorte cv. `Gobo di Nizza´ ist sowohl hinsichtlich ihrer Morphologie, ihrer Blatt- und Ertragsbildung sowie ihrer Drogenqualität vergleichbar mit der in den vorliegenden Versuchen verwendeten Sorte cv. `White Giant´. Eine ähnliche Zu- und Abnahme des Drogenertrages konnte im Rahmen der eigenen Untersuchungen lediglich bei der blattrreichen Sorte `White Giant´ festgestellt werden, während diese Beobachtung für die Sorte `Green Globe´ nicht zutraf.

Die Qualität der Droge – gemessen an Ihrem Gehalt phenolischer Verbindungen in % TM – wies einen mittleren Gesamt-CCS-Gehalt von 2,4 bis 2,7 % TM bzw. einen mittleren Gesamt-Flavonidgehalt von 1,0 bis 1,2 % TM auf. Als bemerkenswert wird die Steigerung der Wirkstoffe im Verlauf der Vegetationsperiode vom 1. bis zum 5. Schnitt in beiden Jahren angesehen. Auch der Vergleich der Wirkstoffgehalte aus den eigenen Versuchen und den hier dargestellten Ergebnissen unter Praxisbedingungen zeigt, dass der zweite und dritte Schnitt der Sorte `White Giant´ tendenziell zu höheren Gehalten an Phenolsäuren und Flavonoiden führte, als dies bei der Sorte `Green Globe´ der Fall war.

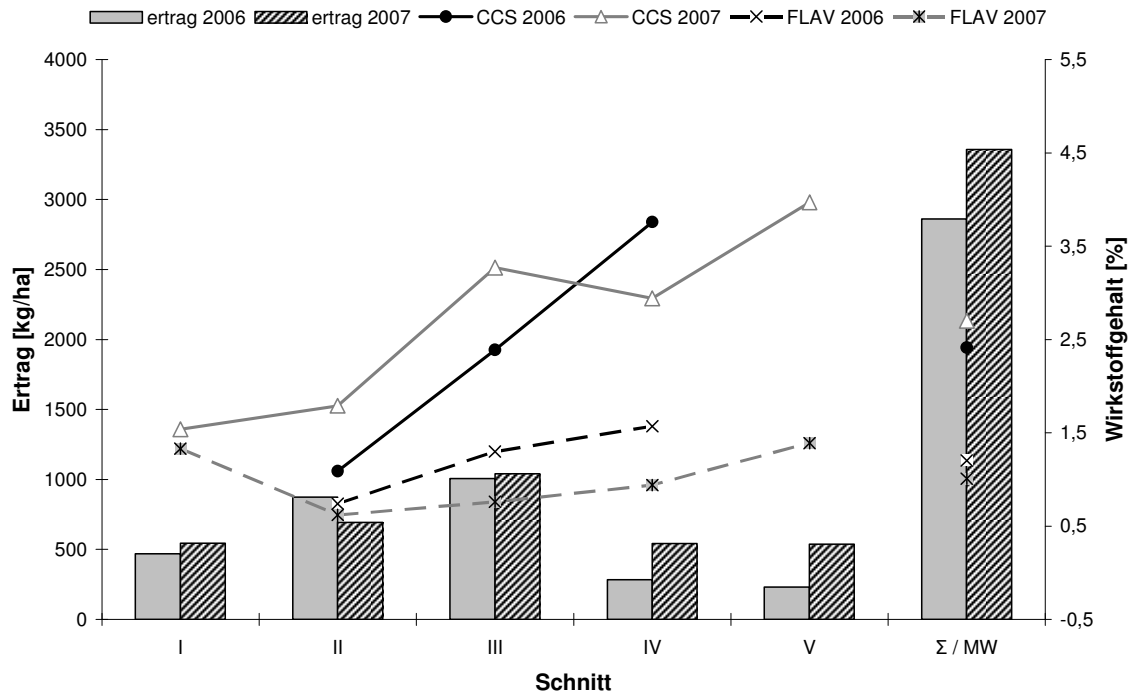


Abb. 4.34: Blattertrag und Wirkstoffgehalt kommerziell angebaute Artischocken (Sorte `Gobo di Nizza`) in den Jahren 2006/2007 (mittlere Erträge von 19 ha in 2006 bzw. 16 ha in 2007).

5. DISKUSSION

5.1. Kritik der Methode

In den durchgeführten Versuchen ist eine teils große Distanz zum praktischen Artischockenanbau zu erkennen. So wurden im Rahmen der angelegten Feldversuche Bestandesdichten gewählt, die weit geringer sind als in der Literatur dokumentiert bzw. in der Praxis realisiert. Während BAIER & HANNIG (1998) von sieben bis acht Pflanzen/m² sprechen und HONERMEIER & GÖTTMAN (2010) sowie ALI (2011) noch darüber hinausgehen, wurde im Rahmen der angelegten Feldversuche eine Bestandesdichte von vier Pflanzen/m² gewählt. Eine Begründung ist hier in der wissenschaftlichen Fragestellung zu sehen, die primär auf die Entwicklungsphysiologie der Artischocke und die damit verbundene Aktivität des Sekundärstoffwechsels abzielte. Gleichermaßen wurden maximal drei Schnitte pro Variante durchgeführt, während im kommerziellen Anbau je nach Witterungsbedingungen mindestens vier bis fünf Mal pro Jahr geerntet werden kann (siehe Abb. 4.34).

Unter den gegebenen Laborbedingungen konnten die Proben des Versuchsjahres 2003 nach erfolgreicher Etablierung einer geeigneten HPLC-Methode zur Bestimmung der phenolischen Verbindungen nur hinsichtlich der Standardsubstanzen Chlorogensäure, Kaffeesäure, Cynarin und Cynarosid untersucht werden. Erst die Implementierung eines Dioden-Array-Detektors im Folgejahr ermöglichte Aussagen über den Gesamtgehalt an CCS-Derivaten und Flavonoiden. Nach LATTANZIO & MORONE (1979) liegt der Anteil an Chlorogensäure bei 75 bis 83 % des Gesamt-CCS-Gehaltes. Durch die Bestätigung dieses Verhältnisses für die in den Versuchen verwendete Sorte `Green Globe` wurde auf eine wiederholte Untersuchung der Proben des Versuchsjahres 2003 verzichtet. Aus den Analysen der Proben der Sorte `White Giant` ging hervor, dass der Gehalt an Chlorogensäure etwa 50 % des Gesamtgehaltes der CCS-Verbindungen ausmacht.

5.2. Wirkung der Vegetationsdauer

Entscheidend für die Erntefähigkeit der Artischocke sind genetisch bedingte Faktoren wie die Blattmorphologie, die Blattstellung sowie die Wuchshöhe der Pflanzen (GÖTTMANN, 2006). Wünschenswert für den pharmazeutisch ausgerichteten Artischockenanbau sind Sorten mit einer aufrechten Blattstellung, einer großen Blattspreite (Lamina), einem geringen Blattachsenanteil sowie einer großen Wuchshöhe. Des Weiteren sollten eine geringe Neigung zur Schosserbildung sowie eine hohe Regenerationsfähigkeit nach der Ernte gegeben sein (WAGENBRETH et al., 1996; BAIER & HANNIG, 1998; VOGT, 2008⁴, HONERMEIER et al., 2009). In der Fachliteratur wird der optimale Erntezeitpunkt der Artischocke durch den Beginn des Schossens bzw. durch das Ende der Blattneubildung determiniert (WAGENBRETH et al., 1996, BAIER & HANNIG, 1998, HONERMEIER & GÖTTMANN, 2010). Dieser als „optimal“ deklarierte Erntezeitpunkt wurde im Versuchsjahr 2003 ca. 8,5 Wochen nach Feldaufgang erreicht, im Jahr 2004 dauerte es am Standort Gießen ca. 9,5 Wochen, am Standort Rauschholzhausen ca. 10,5 Wochen bis zum Erreichen dieses Entwicklungsstadiums. Eigene Untersuchungen zu dieser Thematik des Jahres 2001 kamen zu dem Ergebnis, dass am Standort Gießen der Beginn des Schossens ca. 9,5 Wochen und am Standort Rauschholzhausen ca. 12,5 Wochen nach Feldaufgang erreicht wurde (MATTHES, 2002). Somit wird eine standortabhängige Beeinflussung der Blühindikation deutlich, die durch photoperiodische und temperaturabhängige Effekte ausgelöst wird (WAGENBRETH et al., 1996) und darüber hinaus standortabhängig ist.

Zu diesem „optimalen“ Erntetermin (1. Schnitt, Variante 6, GI 2003) wurden im Mittel **Blatterträge** erzielt, die auf eine starke Aktivität des Primärstoffwechsels hinsichtlich des Zuwachses von Biomasse schließen lassen. LARCHER (2001) zufolge sind bei Pflanzen, die sich in der Hauptwachstumsphase befinden, die Stoffwechselaktivität (Photosyntheserate, Atmung, Aufnahme mineralischer Substanzen) und folglich der Aufbau organischer Substanzen am höchsten. Unterstützend weist die Auswertung der ermittelten Parameter Blattlänge und Blattbreite sowie Wuchshöhe darauf hin, dass das vegetative Wachstum der Pflanzen bzw. die Blattbildung, Faktoren, die in enger Korrelation zum

Drogenertrag stehen, in dieser Phase des Wachstums als beendet anzusehen sind. Dem gegenüber wiesen früher gewählte Teilernten sowohl hinsichtlich der Blattbildung als auch des Drogenertrages niedrigere Werte auf. Spätere Teilernten führten erwartungsgemäß zu höheren Blatterträgen welche jedoch nicht auf einen signifikanten Zuwachs neuer Blätter zurückzuführen sind, sondern durch die Zunahme der Einzelblattmasse bzw. -größe (Blattlänge/ -breite) erklärt werden können. Dies ist maßgeblich auf die Zunahme der Lichtintensität [Watt/m^2] und Temperatursumme [$^{\circ}\text{C}$] zurückzuführen, die sich nach RICHTER (1998) begünstigend auf die Produktion und Einlagerung von Assimilaten auswirken. Aus den Abb. 4.2 und 4.3 sowie 4.9 und 4.10 geht hervor, dass im Jahr 2004 dieser Zuwachs an Biomasse gemessen an der Anzahl sowie Größe der grünen Rosettenblätter 104 – 121 Tage nach Feldaufgang (Mitte/Ende September, Varianten 4 bzw. 5, GI & RH 2004) beendet war. Später durchgeführte Teilernten führten zu niedrigeren Blatterträgen. Zudem ist zu beachten, dass unmittelbar nach Bestandesschluss Seneszenzprozesse beginnen, die durch intraspezifische Konkurrenz zum Absterben ertragsrelevanter Blätter führten. Des Weiteren konnte im Anschluss an den „optimalen“ Erntetermin eine verstärkte Schosserbildung beobachtet werden, welche neben dem gewählten Aussattermin überwiegend genetisch determiniert ist (HONERMEIER et al., 2009) Die Zunahme des Schosseranteils kann zudem durch den natürlichen Reifeprozess der Artischocke erklärt werden, der LATTANZIO (1981) zufolge auch einen erheblichen Einfluss auf den Gehalt phenolischer Verbindungen in der Droge hat (s. u.). Den Ausführungen von HASLAM (1998) und STUMPF (2013) ist zu entnehmen, dass die Biosynthese phenolischer Metabolite stark mit dem Entwicklungs- bzw. dem Reifestadium der Pflanzen korreliert. Die Bestandesetablierung Anfang Mai 2004 führte zu einem signifikant geringeren Anteil an Schossern als dies bei der im April 2003 realisierten Aussaat der Fall war. Auch GÖTTMANN (2006) konnte im Rahmen von Feldversuchen an den Standorten Gießen, Groß-Gerau und Rauschholzhausen nachweisen, dass eine Minimierung des Schosseranteils nur über Aussaaten ab Ende April zu realisieren ist. WAGENBRETH et al. (1996) sowie HANNIG & EICH (2001) berichten, dass bereits der Aussattermin entscheidend die Schosserbildung der Artischocke beeinflusst. Frühere Saatzeiten führten zu verstärkter Schosserneigung, wobei niedrige Temperaturen (Vernalisationseffekt) und die Tageslänge als Induktionsfaktoren eine entscheidene Rolle spielen.

Die Entwicklungsphasen des zweiten und dritten Aufwuchses der Artischocken zeichneten sich durch abnehmende Lichtintensitäten und Temperatur(summ)en aus (Tab. 3.2 bzw. 3.4). Es kann daher von einer verminderten Photosyntheseaktivität der Pflanzen ausgegangen werden, die wahrscheinlich zu abnehmenden bzw. unveränderten Blatterträgen führte. Die Ertragsbildung erfolgte hier nicht über besonders große Rosettenblätter, deren Längenwachstum im Vergleich zur ersten Schnittserie signifikant geringer war, sondern über die hohe Regenerationsfähigkeit der Pflanzen, die WAGENBRETH et al. (1996) zufolge bei Artischocken besonders stark ausgeprägt ist. So wurden Seitenverzweigungen („Kindl“) bereits kurzfristig nach der abgeschlossenen Teilernte gebildet und trugen vermutlich zur Ertragsbildung des zweiten und dritten Aufwuchses bei.

Eine Korrelation zwischen Erntetermin und **Wirkstoffgehalt** konnte in den durchgeführten Untersuchungen nicht gefunden werden. Obwohl in der Fachliteratur davon ausgegangen wird, dass die Nutzung juveniler Blätter (= frühe Erntetermine) zu höheren Phenolsäuregehalten führt (BAIER, 2003, HONERMEIER & GÖTTMANN, 2010), konnte im Vergleich der Jahre 2003 und 2004 gezeigt werden, dass auch länger gewählte Vegetationsperioden innerhalb des ersten Aufwuchses vergleichsweise hohe Wirkstoffgehalte aufweisen können. Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass v. a. bei der Sorte `White Giant´ relativ hohe CCS- und Flavonoidgehalte zum Ende der zweiten Schnittserie gebildet worden sind, während bei der Sorte `Green Globe´ die maximalen CCS-Gehalte in Kombination mit den höchsten Blatterträgen in Variante 5 (1. Schnitt) zu finden waren.

Die Synthese der Phenolcarbonsäuren hängt in starkem Maße von der Aktivität des Enzyms Phenylalanin-Ammoniak-Lyase (PAL) ab, das den Ausführungen von SITTE et al. (1998) die Aminosäure Phenylalanin aus dem primären Proteinbiosyntheseweg ablenkt und so als Startsubstanz sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe zur Verfügung steht. Dieses Enzym wird als Schlüsselenzym zwischen Primär- und Sekundärstoffwechsel angesehen (HAFF, 2004). Die PAL wird in ihrer Biosynthese und Aktivität v. a. durch die abiotischen Faktoren Nährstoff- und Wasserversorgung, UV-Strahlung und Temperatur kontrolliert. So liegt die Vermutung nahe, dass ein intensiveres Lichtangebot sowie höhere Temperatursummen während der Pflanzenentwicklung (vgl. Tab. 3.2 und 3.4),

begünstigt durch längere Blattbildungsphasen (= längere Vegetationsdauer) zu höheren Phenolsäuregehalten führt. Dies kann durch die Ergebnisse des Versuchsjahres 2004 bestätigt werden, die höhere Wirkstoffgehalte bei einer längeren Vegetationsdauer innerhalb des ersten Aufwuchses aufweisen (siehe Abb. 4.7, 4.8 und 4.12, 4.13). Ein weiteres, für die Biosynthese phenolischer Verbindungen entscheidendes Enzym ist die Zimtsäure-4-Hydroxylase, die mit der Aktivität der PAL assoziiert ist (SITTE ET AL., 1998). Die Beeinflussung dieser Aktivität durch den Wachstumsfaktor Licht hat daher zur Folge, dass auch die Aktivität des Enzyms Zimtsäure-4-Hydroxylase angeregt und dadurch die Bildung von Kaffeesäure, ein Hauptbestandteil von Mono-Caffeoylchinasäurederivaten, intensiviert wird. Somit ist ein grundlegender Baustein im Biosyntheseweg von Caffeoylchinasäurederivaten gebildet, welche nach weiterer Umesterung entscheidend die pharmazeutische Qualität der Droge beeinflussen.

Die hier bereits eingangs in Anlehnung an LATTANZIO & MORRONE (1978) erwähnten Transformationsprozesse phenolischer Verbindungen könnten darüber hinaus als Erklärungsansatz für die unregelmäßigen Wirkstoffgehalte in der Droge dienen. Während die Sorte 'White Giant' durch einen Anteil von Blütenständen und Sprossachsen zur Ernte von maximal 6,2 % (GI) bzw. 8,7 % (RH) gekennzeichnet war, konnten bei der Sorte 'Green Globe' im Jahre 2003 bis zu 40 % Blütenstände bestimmt werden, 2004 waren es 23 % (GI) bzw. 56 % (RH). Nach LATTANZIO & MORONE (1978) ist bei der Artischocke ab Beginn der Differenzierungsphase eine abrupte Abnahme des Gehaltes an Chlorogensäure zu beobachten. Es wird vermutet, dass diese Zusammenhänge auch in den eigenen Versuchen eine entscheidende Rolle gespielt haben.

5.3. Wirkung der N-Düngung

Stickstoff (N) kommt in pflanzlichem Gewebe zu etwa ein bis drei % der TM vor und ist somit neben Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) der am häufigsten vorkommende Baustein (MENGEL, 1991). Eine essentielle Bedeutung kommt dem Stickstoff beim Aufbau diverser physiologisch bedeutsamer Verbindungen zu (z. B. Aminosäuren, Proteine und Nucleinsäuren).

Dieser Makronährstoff ist somit entscheidend für das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen (SCHUBERT, 2006). Nach MENGEL (1991) erfolgt die N-Aufnahme von der Pflanze in Form von Nitrat (NO_3^-) oder Ammonium (NH_4^+), wobei die NO_3^- -Aufnahme überwiegt. In mineralischer Form stehen N-Dünger als Ammonium-, Nitrat-, Ammoniumnitrat- und Amiddünger zur Verfügung. Darüber hinaus kommen Nitrifikationsinhibitoren zum Einsatz, die laut MENGEL (1991) die Umwandlung von NH_4^+ zu Nitrit (NO_2^-) durch Blockade diverser Bodenbakterien (z. B. *Nitrosomonas*) verzögern.

Diese Verzögerung wird im Gefäßversuch durch den Einsatz der **N-Form Harnstoff + Dicyandiamid (DCD)** anhand der Ertragszuwächse vom 1. bis zum 3. Schnitt deutlich (siehe Tab. 4.6, Var. 4.1 bis 4.4), da das aus dem Harnstoff stammende NH_4^+ für einen längeren und v. a. späteren Zeitpunkt des Pflanzenwachstums zur Verfügung stand. DCD wurde im vorliegenden Fall als Nitrifikationshemmstoff verwendet, da es sich bereits in anderen Gefäßversuchen als geeigneter Nitrifikationshemmer bewährt hat (AMBERGER & VILSMAYER, 1979). Durch seine nitrifikationshemmende Wirkung wird, v. a. unter Freilandbedingungen, eine vorzeitige Auswaschung bzw. Denitrifikation von Nitrat verhindert. KÖHL (2003) berichtet von positiven Effekten des Nitrifikationsinhibitors DCD auf den Drogenertrag der Artischocke im Feldversuch, auch hier wurden keine Ertragsdepressionen im 2. und 3. Aufwuchs beobachtet.

Die durch MENGEL (1991) beschriebene rasche Aufnahme und Umsetzung des angebotenen $\text{NO}_3\text{-N}$ wird besonders in der ersten Teilernte des Gefäßversuches im Jahr 2004 deutlich. Hier lag der Blattertrag im Mittel um 19 bis 39 % über den Erträgen der restlichen N-Formen (siehe Tab. 4.2 – NH_4 , Harnstoff, Harnstoff + DCD). Eine Erhöhung der N-Dosis führte hier wie in der zuvor beschriebenen Variante zu Mehrerträgen. Im Vergleich der Blatterträge und Wirkstoffgehalte der Varianten NO_3 und Harnstoff + DCD wird allerdings deutlich, dass bei gleichzeitig zunehmenden TM-Erträgen der Gehalt an CCS-Verbindungen und Flavonoiden in der Droge signifikant sinkt. Nach FEUCHT & TREUTTER (1989) kann dieser Zusammenhang wie folgt erklärt werden: Bei einem hohen N-Angebot ist ein reduzierter Gehalt an Phenolen zu beobachten, der als Folge der Konkurrenz zwischen Protein- und Phenolbiosynthese um die Aminosäure Phenylalanin zu

interpretieren ist. Auch bei Weizen und Gerste hatte eine Erhöhung des N-Angebotes zu einer Abnahme der *p*-Coumarsäure im Korn des Weizens bzw. zu einer Reduktion des Tanningehaltes in der Gerste geführt. Da *p*-Coumarsäure als unmittelbare Vorstufe zur Kaffeesäure anzusehen ist (siehe Abb. 2.7), lässt dieser Ansatz vermuten, dass es sich bei den ermittelten Wirkstoffgehalten der Varianten NO₃ und Harnstoff + DCD um einen Verdünnungseffekt im Zuge des durch ein hohes N-Angebot gefördertes Biomassewachstum handelt. Sollte die Annahme zutreffen, dass bei einem hohen N-Angebot an erster Stelle die Primärproduktion des pflanzlichen Stoffwechsels gefördert wird (FEUCHT & TREUTTER, 1989), ist der oben genannte Mehrertrag bei höherem N-Angebot (siehe Tab. 4.2) einleuchtend, gleichzeitig auch die Abnahme der Gehalte an CCS-Verbindungen (Tab. 4.3) und Flavonoiden (Tab. 4.4) in den Varianten NO₃ und Harnstoff + DCD.

Die Applikation von Harnstoff führte zu einem späteren Zeitpunkt der Wachstumsphase (2. und 3. Aufwuchs) zu einer verstärkten Blattbildung und höheren Blatterträgen der Artischocken. So stiegen diese zum 2. Schnitt bei einer N-Konzentration von 1,50 g Harnstoff/Gefäß um 10 % gegenüber dem 1. Schnitt, nach dem 3. Schnitt um 31 %. Nach MENGEL (1991) wird Harnstoff nur sehr langsam von höheren Pflanzen aufgenommen, da es im Boden zunächst in Ionenform (Salze) umgewandelt werden muss (OEHMICHEN, 2000). Zum größten Teil erfolgt im Boden eine Spaltung in CO₂ und NH₃. Der über Harnstoff applizierte Stickstoff wird im Zuge dieses Prozesses in Form von NH₄⁺ bzw. NO₃⁻ von den Pflanzen aufgenommen. Die Steigerung des Blattertrages vom ersten bis zum dritten Schnitt in der Harnstoffvariante kann durch die ermittelten Blattdrogenerträge des Gefäßversuchs im Versuchsjahr 2005 bestätigt werden.

Durch die NH₄-Düngung konnten erst gegen Ende der Vegetationsperiode höhere Blattdrogenerträge erzielt werden. Dies kann nach MENGEL (1991) durch die unspezifische Bindung der Moleküle an Tonminerale, die im Gefäßversuch durch die Verwendung von Lößboden vorhanden waren (siehe Abschnitt 3.3.2.), und den dadurch für die Pflanzen nicht frei verfügbaren Stickstoff in der Bodenlösung zu erklären sein. NH₄⁺-haltige Dünger wirken wesentlich langsamer. Die Erhöhung der N-Konzentration führte im Falle der NH₄⁺-Ernährung zunächst zu steigenden Blattdrogenerträgen.

In der nächst höheren N-Stufe kam es allerdings zum Totalausfall der Artischocken, was in Anlehnung an MENGEL (1991) auf eine Steigerung der NH_4 -Konzentration in der Zelle zurückzuführen ist und vermutlich zu einer NH_3 -Toxizität führte. Ammoniak (NH_3) wirkt bereits in niedrigen Konzentrationen toxisch. Diese Gefahr besteht v. a. auf neutralen bis alkalischen Standorten, Bedingungen, die in den durchgeführten Gefäßversuchen gegeben waren. Als Folge kommt es zu einer Behinderung der Atmung sowie der Photosynthese (MENGEL, 1991), wodurch auch die Synthese der Wirkstoffe in den Blättern beeinträchtigt wird. Während eine N-Applikation von 0,75 g NH_4 /Gefäß im Mittel der Schnitte zu 9,98 % CCS-Verbindungen und 1,42 % Flavonoiden führte (Tab. 4.3 und 4.4), wurden durch die Applikation von 2,50 g NH_4 /Gefäß lediglich 4,58 % CCS-Verbindungen und 0,90 % Flavonoide synthetisiert. Unter Berücksichtigung der abnehmenden Blattdrogenerträge sowie des Totalausfalls der hochgedüngten Variante im dritten Aufwuchs liegt die Erklärung der genannten NH_3 -Toxizität nahe.

Wie bereits erwähnt, wurden der Blattertrag und der Wirkstoffgehalt nicht nur durch die N-Form, sondern auch durch die **N-Dosis** beeinflusst. Wie Untersuchungen der Autoren HANNIG & EICH (2001) sowie KÖHL (2003) zeigten, korreliert die Erhöhung der N-Düngung positiv mit dem Blattertrag. Im Rahmen des Gefäßversuches 2004 konnte diese positive Korrelation bestätigt werden. In der Summe der Schnitte stieg in den Varianten NO_3 und Harnstoff + DCD der TM-Ertrag mit höheren N-Gaben. So wurden in der NO_3 -Variante bei einer N-Konzentration von 0,75 g/Gefäß 42 g TM/Gefäß ermittelt (≈ 100 %), während eine N-Konzentration von 2,50 g/Gefäß zu 63,1 g TM/Gefäß führten (≈ 150 %). Ähnliche Ergebnisse erzielte die Applikation von Harnstoff + DCD, wodurch es zu einer Steigerung des TM-Ertrages um 55 % kam. NH_4 und Harnstoff führten nach einer schrittweisen Steigerung der N-Gabe von 0,75 g/Gefäß auf 1,50 g/Gefäß zunächst ebenfalls zu Ertragszuwächsen. Durch die nächsthöhere N-Gabe von 2,50 g/Gefäß sanken die Blatterträge um ca. 14 % in der mit Harnstoff gedüngten Variante und ca. 25 % in der mit NH_4 gedüngten Variante. Generell sehen auch EICH et al. (2005) einen Zusammenhang zwischen dem Blattertrag und dem N-Angebot. Vor allem die Ergebnisse unter Feldbedingungen, die nicht direkt mit den Ergebnissen im Gefäßversuch verglichen werden können, weisen nach Aussage dieser Autoren auf eine signifikante Ertragssteigerung mit zunehmendem N-

Angebot hin. Diese Erhöhung des N-Angebotes führt nach WERRIES (2007) zu einer Bevorzugung des Primärstoffwechsels gegenüber dem energieaufwendigeren Sekundärstoffwechsel. Die Synthese phenolischer Verbindungen korreliert somit negativ mit einer Erhöhung der N-Dosis, was anhand der niedrigeren Gehalte an CCS-Verbindungen und Flavonoiden in den Varianten mit 2,50 g N/Gefäß verdeutlicht werden kann (siehe Abb. 4.6 und 4.7). Auch HANNIG & EICH (2001) sowie EICH et al. (2005) kamen zu dem Schluss, dass sinkende Gehalte der wertgebenden Inhaltsstoffe der Artischocke auf ein steigendes N-Angebot zurückzuführen sind. So wird deutlich, dass die N-Versorgung der Artischocke den Blattertrag und die Inhaltsstoffe gegenläufig beeinflusst, was den von MARGNA (zitiert in WERRIES, 2007) beschriebenen Zusammenhang zwischen Phenolstoffwechsel und dem konkurrierenden N-Stoffwechsel bestätigt. Auch FRITZ et al. (2006) sowie BÉNARD et al. (2009) fanden diese Korrelation zwischen N-Angebot und dem Gehalt an Phenolsäuren bei Tabak bzw. Tomaten.

5.4. Wirkung der Wasserversorgung

Die **Wasserversorgung** der Artischocken, die im Versuchsjahr 2005 in Kombination mit einer differenzierten N-Düngung im Gefäßversuch getestet wurde, zeigte signifikante Einflüsse auf den Blattertrag und den Wirkstoffgehalt der Artischocken. So wurde unabhängig von der N-Versorgung in der Trockenstress-Variante, die über die gesamte Vegetationsperiode nur 50 % der absoluten Wasserkapazität (WK) erhielt, der geringste TM-Ertrag pro Gefäß erzielt. MENGEL (1991) beschreibt, dass „äußere Wachstumsfaktoren“ wie die Wasserversorgung einer Pflanze, welche durch die Umwelt gegeben sind und i. d. R. schwer oder nicht zu beeinflussen sind, oft als limitierende Faktoren die Ertragsfähigkeit einer Kultur beeinflussen. Auch KIRAKOSYAN et al. (2004) heben hervor, dass Wassermangel neben Kältestress der hauptsächliche Umweltfaktor ist, der das Biomassewachstum einer Pflanze limitiert. So ist zu erklären, dass in den erwähnten Varianten die Blatterträge der Artischocken am geringsten waren, während in den optimal mit Wasser versorgten Varianten die höchsten TM-Erträge erzielt wurden.

Nach SCHILLING (2000) besteht ein starker Zusammenhang zwischen der Wasserversorgung bzw. dem Wasserhaushalt und der CO₂-Assimilation einer Pflanze. CO₂-Aufnahme und Wasserdampfabgabe sind gleichermaßen von den Stomata eines Blattes abhängig. Als Folge eines Wassermangels, der in den durchgeführten Gefäßversuchen bewusst durch Trockenstress induziert wurde, kam es bei den Versuchspflanzen zur Hemmung der CO₂-Assimilation (SCHILLING, 2000). Die Folge war eine verminderte Biomasseproduktion, die in Tabelle 4.8 in Form der geringen TM-Erträge der Varianten 1.2, 2.2, 3.2 und 4.2 dargestellt wird. Ebenso ist in den Tabellen 4.10 und 4.11 zu erkennen, dass die Pflanzen in Stresssituationen signifikant niedrigere Gehalte an CCS-Verbindungen und Flavonoiden aufwiesen als jene, die zu Beginn der Wachstumsphase bzw. über die gesamte Vegetationszeit optimal mit Wasser versorgt waren. Diese Beobachtung deckt sich nicht mit den Erkenntnissen anderer Studien, in denen Wassermangel zu einer erhöhten Produktion von Chlorogensäure bei *Crataegus* (KIRAKOSYAN et al., 2004) bzw. zu einer Erhöhung des Gehaltes phenolischer Verbindungen in *Hypericum brasiliense* (ABREU, DE & MAZZAFERA, 2005) führte. Es kann vielmehr davon ausgegangen werden, dass Wasser, bzw. Wasserstoff und Sauerstoff als Grundbaustein der Photosynthese zunächst in der Synthese von Proteinen und anderen Primärprodukten des Stoffwechsels Verwendung findet, bevor die Produktion sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe wie den Phenolen beginnt. Die Wasserversorgung ist daher in Anlehnung an WAGENBRETH et al. (1996) als kritischer Standortfaktor für den pharmazeutisch ausgerichteten Artischockenanbau zu sehen und sollte zur Gewährleistung der geforderten Qualität über die gesamte Kulturführung hinweg ausreichend vorhanden sein.

5.5. Wirkung von Tageslänge und Temperatur

Bisher wurde deutlich, dass v. a. die Synthese sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe unter Freilandbedingungen in starkem Maße durch exogene Faktoren wie dem Standort und den damit gekoppelten Witterungsbedingungen zusammenhängt. So berichten auch SITTE et al. (1998) sowie LARCHER (2003), dass u. a. verschiedene Licht- und Temperaturverhältnisse das genetische Potenzial einer Pflanze beeinflussen. Die Photoperiode, d. h. die tägliche Belichtungszeit (= **Tageslänge**), induziert bei vielen Pflanzen den Übergang von der vegetativen zur generativen

Phase des Wachstum. Darüber hinaus sind die physiologischen Vorgänge des Primär- und Sekundärstoffwechsels in starkem Maße von der Temperatur abhängig (MOHR & SCHOPFER, 1992). Im Falle der Artischocke weisen WAGENBRETH et al. (1996) darauf hin, dass die hinsichtlich der Anbaueignung als negativ anzusehende Neigung zur Schosserbildung durch niedrige Temperaturen sowie die Tageslänge induziert wird. Neben der durch FOURY (1967) bzw. BAIER (1997) sehr gut untersuchten Blühindikation werden u. a. auch Faktoren wie die Wachstumsrate und die Pigmentbildung durch die relative Tages- bzw. Nachtlänge beeinflusst (SITTE et al., 1998). So hat sich gezeigt, dass die Blattbildung, gekennzeichnet durch Blattzuwachs, Blattlänge und –breite sowie Wuchshöhe, signifikant durch das differenzierte Lichtangebot beeinflusst wurde. Ein länger andauerndes Lichtangebot führte i. d. R. zu größeren Blättern und damit zu höheren Blatterträgen (siehe Tab. 4.12). Als Maß für die photosynthetische Aktivität der Pflanzen kann die Pigmentierung der Blätter herangezogen werden, die in den vorliegenden Untersuchungen in Form des CCI gemessen wurde. Auch hier zeigte sich, dass ein längeres Lichtangebot tendenziell zu erhöhten CCI-Werten geführt hat, was auf eine verstärkte Synthese des Blattfarbstoffes Chlorophyll schließen lässt (Abb. 4.13). Die somit gesteigerte Photosyntheserate der Artischockenblätter kommt des Weiteren in der Synthese sekundärer Metabolite zum Ausdruck, die im Falle der Artischocke durch die Gehalte an CCS-Verbindungen und Flavonoiden gekennzeichnet sind. Die Synthese dieser wertgebenden Inhaltsstoffe wurde signifikant durch die zunehmende Belichtungsdauer angeregt, wie die Ergebnisse in den Tabellen 4.14 und 4.15 zeigen. Die Gehalte an CCS-Verbindungen stiegen mit zunehmendem Lichtangebot über alle Teilernten an, eine Beobachtung, die auch GÖTTMANN (2006) machte, und hier einen positiven Effekt einer langen Belichtungsdauer auf die Biosynthese phenolischer Verbindungen sieht. Des Weiteren verdeutlichen die Ergebnisse, dass der Gehalt an CCS-Verbindungen, unabhängig von den Faktoren Tageslänge und Temperatur, von der ersten bis zur dritten Schnittserie abnahm. Hier kann als Begründung die schnellere Alterung des Blattmaterials als ausschlaggebender Faktor genannt werden. Nach LATTANZIO (1981) sowie MANACH et al. (2004), unterliegen Hydroxyzimtsäuren und deren Derivate einem zügigeren Abbau im Zuge der Alterung pflanzlichen Gewebes.

Eine separate Betrachtung des Einflusses niedriger **Temperaturen** in der Jugendentwicklung der Artischocken lässt keinen Einfluss auf die Ertragsbildung und den Wirkstoffgehalt der Rosettenblätter erkennen. Eine mögliche Ursache für die statistisch nicht nachweisbaren Unterschiede zwischen den Varianten des Faktors Temperatur könnte in dem zu gering gewählten Temperaturunterschied zwischen der Kontrollvariante (Nachtabsenkung auf 10 °C) und der Kältevariante (Nachtabsenkung auf 2 °C) zu finden sein. Da die Minimaltemperatur für das Pflanzenwachstum bei ca. 0 °C liegt (NULTSCH, 1996), hatte nach Meinung des Autors die Nachtabsenkung in der Kältevariante auf 2 °C keinen Einfluss auf die Physiologie des Stoffwechsels der Artischocken. Auch SITTE et al. (1998) beschreiben, dass die untere Grenze für die Photosynthese bei höheren Pflanzen bei wenigen Grad unter null, also niedriger als die gewählte Nachttemperatur, liegt. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass die geringe Dauer der Kälteeinwirkung (5 Nächte) sowie die optimale Wachstumstemperatur während des Tagesrhythmus (20 °C) den Kältereiz ausglich und so zu keinen statistisch greifbaren Erkenntnissen führten.

5.6. Wirkstoffverteilung in der Pflanze

In den durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass sowohl der Gehalt an CCS-Verbindungen als auch an Flavonoiden einer statistisch gesicherten räumlichen Verteilung innerhalb eines Blattes unterliegt. Dabei können die Untersuchungen von WAGENBRETH et al. (1996) bestätigt werden, dass die mit den Hauptleitbahnen versehenen Blattachsen (Mittelrippen) signifikant geringere Gehalte an CCS-Verbindungen und Flavonoiden aufweisen als die aus photosynthetisch aktivem Parenchymgewebe bestehende Blattspreite (Lamina). Der Gradient zwischen diesen Kompartimenten lag bei ca. 1:4 (CCS-Verbindungen) bzw. 1:10 (Flavonoide). Die Beprobung unterschiedlicher Blattinsertionen führte zu dem Ergebnis, dass auch hier signifikante Unterschiede im Wirkstoffgehalt zu verzeichnen waren. Sowohl der CCS- als auch der Flavonoidgehalt stiegen von der Blattbasis zur Blattspitze hin an. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nach SITTE et al. (1998) nicht die Blattspitze, sondern die Blattbasis dikotyler Pflanzen die Hauptwachstumszone ist. Man spricht hier von basiplastem Wachstum, welches innerhalb kürzester Zeit das anfängliche

akroplaste Wachstum an der Blattspitze vollständig ersetzt. Nach MANACH et al. (2004) sind Hydroxyzimtsäuren v. a. in den Randschichten pflanzlichen Gewebes zu finden, deren Konzentration im Zuge der Alterung dieses Gewebes deutlich abnimmt.

Dies hat vor dem Hintergrund der Wirkstoffverteilung innerhalb des Artischockenblattes zur Folge, dass eine Akkumulation phenolischer Verbindungen in älteren Geweben und Zellen anzutreffen ist. Unter Berücksichtigung der Aussage von LATTANZIO & MORONE (1978), die die Synthese phenolischer Verbindungen am Ort des Verbrauchs bzw. ihrer Akkumulation sehen, muss davon ausgegangen werden, dass entwicklungsphysiologisch jüngeres Blattgewebe für den Primärstoffwechsel und somit für das Blattwachstum verantwortlich ist, während in älterem, meristematisch weniger aktivem Blattgewebe der Sekundärstoffwechsel eine übergeordnete Rolle spielt.

Für den praktischen Artischockenanbau hat nicht die Verteilung der Wirkstoffe in verschiedenen Blattinsertionen eine Bedeutung, vielmehr ist es für den Produzent wichtig zu wissen, dass unterschiedliche Wirkstoffmengen in Blättern unterschiedlichen Alters zu finden sind. So ist hinsichtlich des Gehaltes an CCS-Verbindungen klar bewiesen, dass junge, wachsende Rosettenblätter signifikant höhere Gehalte aufweisen als ältere Blätter (LATTANZIO & MORRONE, 1978; WAGENBRETH et al., 1996; HANNIG & EICH, 2001, BAIER, 2003). Wie die Separierung des geernteten Blattmaterials in den Jahren 2003 (Feldversuch) und 2004 (Gefäßversuch) gezeigt hat, wiesen die aus der Mitte der Blattrosette stammenden jüngsten Blätter den höchsten Gehalt an Chlorogensäure bzw. Gesamt-CCS-Verbindungen auf (siehe Abb. 4.28) und bestätigten somit die Beobachtungen vorausgegangener Studien. In den älteren Blättern und verstärkt in den seneszenten Blättern konnten zwar CCS-Verbindungen nachgewiesen werden, jedoch in wesentlich geringerem Maße. Klare Erklärungsansätze über die Mobilität und Akkumulation phenolischer Verbindungen sind nicht vorhanden, weshalb nur vermutet werden kann, dass der Sekundärstoffwechsel bei der Artischocke zeitnah zum Primärstoffwechsel einsetzt und die nach LATTANZIO (1981) in jungen Blättern akkumulierten Polyphenole einer weiteren Umwandlung bzw. „Benutzung“ im Zuge der Pflanzenentwicklung unterliegen.

MANACH et al. (2004) behaupten, die Ursache für die Gehaltsschwankungen des Polyphenolgehaltes in unterschiedlichen Pflanzenfamilien herauszufinden sei nahezu unmöglich, da diese Gruppe sekundärer Inhaltsstoffe sehr großen Einflüssen der Umwelt unterläge.

Aus den Untersuchungen zur Verteilung pharmazeutisch relevanter Inhaltsstoffe in unterschiedlichen Organen der Artischocke geht hervor, dass grüne Blätter signifikant höhere Wirkstoffgehalte (CCS und Flavonoide) gegenüber gelben bzw. seneszenten Blättern sowie Sprossachsen und Blütenständen aufweisen (Abb. 4.29). Einen Erklärungsansatz dafür liefert das photosynthetisch aktivere Blattgewebe, welches bei ausreichender Produktion primärer Stoffwechselprodukte auch im Zuge des Luxuskonsums messbare Konzentrationen an Sekundärmetaboliten synthetisiert.

5.7. Wirkstoffsynthese im Tagesverlauf

Ergänzend zu den Ausführungen in Kapitel 5.2. sollen die Ergebnisse zur Bestimmung der wertgebenden Inhaltsstoffe der Artischocke im Tagesverlauf dazu dienen, den Einfluss der tageszeitlich abhängigen Strahlung sowie Temperatur genauer zu erörtern. Dabei ist die Tatsache festzuhalten, dass Polyphenole, ebenso wie eine Vielzahl anderer sekundärer Stoffwechselprodukte, starken Schwankungen im Tagesverlauf unterliegen. Der Phenolstoffwechsel wird nach WERRIES (2007) stark durch exogene Faktoren beeinflusst. Dabei spielen die Wasserversorgung (s. o.) sowie die Sonneneinstrahlung eine entscheidende Rolle. Als ausschlaggebender Faktor muss hier als Schnittstelle zwischen Primär- und Sekundärstoffwechsel das Enzym PAL angesehen werden, welches wie bereits oben erwähnt durch die abiotischen Wachstumsfaktoren Licht und Temperatur signifikant beeinflusst wird (DRUMM-HERREL, 1987). Die hier dargestellten Ergebnisse bestätigen die tageszeitliche Schwankung und somit die Beeinflussung der Enzymaktivität durch exogene Faktoren. Dabei ist festzuhalten, dass in dem strahlungsärmeren und kühleren Monat Oktober (3. Schnitt, vgl. Abb. 4.32 und 4.33) die höchsten Wirkstoffgehalte während des höchsten Lichtangebotes (Mittagsstunden) synthetisiert worden sind, während die strahlungsintensiveren Mittagsstunden (12.00 Uhr und 14.00 Uhr) im Zuge des 2.

Schnittes im September sowie des 1. Schnittes im Juli in den niedrigsten Gehalten an Polyphenolen in der Droge resultierten (Abb. 4.32). Es wird vermutet, dass die Pflanzen hier Stresssituationen ausgesetzt waren und so in Anlehnung an Liebig's Gesetz des Minimums nicht die erwartete Phenolsyntheseleistung erzielen konnten.

5.8. Fazit

Der kommerzielle Anbau der Artischocke als Arzneipflanze in Deutschland ist seit einigen Jahren fester Bestandteil der Anbauplanung im Rahmen der Kultivierung von Arznei- und Gewürzpflanzen. So sind aus Produktionssicht wichtige Ansatzpunkte wie der Anbau blattreicher Sorten (WAGENBRETH et al., 1996; BAIER & HANNIG, 1998; GÖTTMANN, 2006; HONERMEIER et al., 2009), eine Ernte jungen Blattmaterials (BRAND, 1997 u. 1999, ALI & HONERMEIER, 2011) sowie eine schonende Trocknung und Nacherntebehandlung (HANNIG & EICH, 2001) bereits etablierte Standards in der Kulturführung. Es haben sich ertragsstarke Sorten wie 'White Giant' oder 'Gobo di Nizza' auf dem Markt etabliert, die neben hohen Blatterträgen und einer geringen Ausprägung zur Schosserbildung auch hinsichtlich ihrer pharmazeutischen Qualität den Anforderungen der Pharmaindustrie gerecht werden.

Die Gegenüberstellung der in Abb. 4.34 dargestellten Ergebnisse aus der Praxis mit den Angaben der Fachliteratur bzw. den eigenen Ergebnissen verdeutlicht, dass unter Praxisbedingungen die Produktion einer hochwertigen Ausgangsdroge zur Herstellung standardisierter Artischockenpräparate realisierbar ist. Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2.7. dargestellten Qualitätsanforderungen als auch den von Seiten der pharmazeutischen Industrie geforderten Qualitäten wird klar, dass die Qualität der Droge nicht als limitierender Faktor angesehen werden kann. Dazu sollten pflanzenbauliche Grundvoraussetzungen wie die Realisierung eines zeitigen Aussattermins, eine ausgeglichene Versorgung mit Nährstoffen und Wasser während der gesamten Vegetationsperiode, eine Ernte junger, grüner Rosettenblätter mit hoher Schnitthäufigkeit, eine schonende Erntemethodik und Nacherntebehandlung sowie eine exakte Trocknung des Pflanzenmaterials eingehalten werden.

Nichts desto trotz besteht auf Basis der hier ausgewerteten Versuche weiterhin Forschungsbedarf, um die Wirkung verschiedener abiotischer Wachstumsfaktoren auf die Polyphenolsynthese der Artischocke und somit auf die Qualität der Droge, über die genannten pflanzenbaulichen Maßnahmen hinaus, zu klären. Daher sollte die Optimierung der Artischockenproduktion weiterhin das Ziel wissenschaftlicher Studien bleiben.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Neben der primären Nutzung der Artischocke als Gemüsepflanze (Blütenstände), werden ihre grünen Rosettenblätter zur Herstellung von Phytopharmaka verwendet und zur Behandlung des dyspeptischen Symptomkomplexes eingesetzt. Die Wirkung der Droge ist dabei auf phenolische Verbindungen zurückzuführen, von denen v. a. Caffeoylchinasäurederivate und Flavonoide die entscheidende Rolle spielen. Im Gegensatz zur Gemüsenutzung findet die Kultivierung der Artischocke als Arzneipflanze in gemäßigten Klimaten, z. B. in Deutschland, statt. Ein erfolgreicher Anbau der Artischocke kann nur dann gewährleistet werden, wenn sowohl die Einflüsse agronomischer Maßnahmen als auch abiotischer Wachstumsfaktoren auf Blattertrag und Blattinhaltsstoffe geklärt sind.

Aus diesen Gründen bestand das Ziel der vorliegenden Arbeit darin, die Wirkung des **Erntetermins**, der **N-Düngung** und **Wasserversorgung** sowie die Bedeutung der Faktoren **UV-Strahlung** (Lichtangebot) und **Temperatur** auf die Blattbildung sowie auf die Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden in der Artischocke zu untersuchen. Diese Untersuchungen wurden an den Versuchsstandorten Gießen und Rauischholzhausen im Rahmen von einfaktoriellen Feldversuchen und mehrfaktoriellen Gefäßversuchen durchgeführt.

Die Auswertungen der Feldversuche weisen darauf hin, dass sich spätere **Erntetermine** (= längere Vegetationsdauer) neben einem Zuwachs an Biomasse positiv auf die Bildung der pharmazeutisch wirksamen Phenolsäuren und Flavonoide auswirken. Dem gegenüber steht die Zunahme an unerwünschten Sprossachsen sowie seneszenten Blättern im Erntegut, welche sich negativ auf die für den praktischen Artischockenanbau wichtigen Prozesse der Nacherntebehandlung und Trocknung auswirken. Darüber hinaus ergaben die Untersuchungen zur Wirkstoffverteilung innerhalb der Pflanze, dass v. a. die jüngsten, grünen Rosettenblätter der Pflanze die Qualität der Droge positiv beeinflussen. Senescente Blätter sowie Sprossachsen, hier begünstigt durch später gewählte Erntetermine, wiesen signifikant niedrigere Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden auf.

Die Möglichkeit, weitere Teilernten durch Wiederaustrieb der Pflanzen zu realisieren und so in der Summe höhere Blatt- und Wirkstoffträge zu erzielen, kann durch früher gewählte Erntetermine realisiert werden.

Der Vergleich der getesteten Sorten bestätigt die Erkenntnis früherer Forschungsarbeiten, dass blattreiche Sorten wie die hier verwendete Sorte cv. 'White Giant' aufgrund ihrer geringeren Neigung zur Schosserbildung, ihres stärkeren Biomassewachstums sowie ihres genetisch determinierten Inhaltsstoffspektrums für den praktischen Artischockenanbau zu bevorzugen sind.

Die **N-Versorgung** der Pflanzen hat einen direkten Einfluss auf den Blattertrag und die Inhaltsstoffe der Blätter. Während die Höhe der N-Dosis eine positive Korrelation zum ermittelten Blattertrag aufweist, korreliert sie negativ mit dem Gehalt an Phenolsäuren und Flavonoiden. N-Formen, die den pflanzenverfügbaren Stickstoff zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung stellen, bewirken auch bei späteren Teilernten noch vergleichsweise hohe Blatterträge. Der Wirkstoffgehalt nimmt dagegen auch in diesen Varianten mit jedem Zuwachs ab.

Eine optimale **Wasserversorgung** der Pflanzen während der gesamten Vegetationsperiode resultiert unabhängig der gewählten N-Form in gleichmäßig hohen Blatterträgen und Wirkstoffgehalten. Pflanzen, die über die gesamte Vegetationsperiode hinweg nicht optimal mit Wasser versorgt wurden, zeigten neben Ertragsdepressionen auch niedrigere Gehalte an wertgebenden Inhaltsstoffen. Trockenstress zu Beginn des Pflanzenwachstums hatte nicht zwingend einen ertragsmindernden und qualitätsreduzierenden Einfluss. Die Pflanzen waren in der Lage diesen Wassermangel während der Vegetationsperiode auszugleichen.

Auf Basis der hier gezeigten Ergebnisse unter kontrollierten Wachstumsbedingungen weist das **Lichtangebot** auf eine Zunahme des Blattertrages sowie der Blattinhaltsstoffe mit längerer bzw. intensiverer Belichtungsdauer hin. Dagegen beeinflussen niedrige **Temperaturen** während der Jugendentwicklung der Artischocke die Ertragsbildung und Inhaltsstoffsynthese nicht.

6. Summary

The mature inflorescence of the artichoke is used as a vegetable whereas for pharmaceutical reasons, green leaves of artichokes are used to alleviate dyspeptic disorders. Secondary metabolites such as caffeoylquinic acids and flavonoids, both belonging to the large group of polyphenolic compounds, are of main importance. To enhance the vegetative growth of the artichoke, its cultivation as a medicinal plant should be concentrated within areas of temperate climatic conditions like in Germany. To provide the production of a high valued drug, the effect of agronomic procedures as well as abiotic growth factors heading towards high yields of leaves as well as high concentrations of polyphenolic compounds should be known.

The optimization of cultivating the artichoke for pharmaceutical purposes regarding the quality of the drug on behalf of **harvest date**, **nitrogen fertilisation**, **water supply**, **UV-irradiation** and **temperature** can be seen as the aim of this thesis. Field- and pot experiments were carried out at the experimental stations in Gießen and Rauscholzhausen in order to clarify the influence of these environmental factors.

Due to the results of the field experiments, a longer period of vegetation (= later **harvest date**) lead to a higher amount of biomass. Furthermore, a positive effect on the synthesis of polyphenolics and flavonoids could be seen. Moreover, yellow leaves as well as stems had a negative influence on post-harvest and drying processes of the crop and additionally reduced the content of pharmaceutical active compounds. It is the green rosette leaves in an early stage of development of the artichoke which lead to a high valued quality of the drug. To increase the total yield of the crop and to increase the total amount of polyphenolics, a repeated harvest based on shortened periods of vegetation should be realised.

The importance of using appropriate cultivars for pharmaceutical purposes (e. g. cv. 'White Giant') having the potential for the production of a high amount of vegetative biomass in combination with a constant synthesis of polyphenolics can be demonstrated within the present results.

Leaf yield as well as the amount of active principles is directly linked to **nitrogen fertilisation**. While the amount of nitrogen (N-dose) is positively correlated to the yield of the leaves, it has a negative effect on the amount of caffeoylquinic acids and flavonoids. A higher yield of the second or third cut was realised upon types of nitrogen (N-form) whose nitrogen availability for the plant is focused on a later period of growth. Nevertheless, the amount of polyphenolics was even reduced within these types of nitrogen.

Besides the chosen N-form, an optimal **water supply** all over the period of vegetation resulted in constant leaf yields as well as amounts of active principles, whereas plants, whose supply of water was suboptimal, caused in depressed yield as well as amounts of polyphenolics. A lack of water supply at the beginning of the plant development did not result automatically in a decreasing leaf yield or a low quality of the drug. During its development, the artichoke is able to compensate stress situations based on a lack of water supply.

Under controlled growth conditions, the results in terms of **UV-irradiation** shown in the present thesis underline an increase of leaf yield according to a longer and more intense period of the mentioned parameter. The content of caffeoylquinic acids and flavonoids increased at the same time, too, while leaf yield and active compounds were not influenced due to low **temperatures** during youth development of the artichoke.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- ABREU, DE, I. N. & P. MAZZAFERA** (2005): Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. In: *Plant Physiology and Biochemistry* 43, 241 – 248.
- ADZET, T. & M. PUIGMACIA** (1985): High-Performance liquid Chromatography of caffeoylquinic-acid derivatives of *Cynara scolymus* leaves. In: *Journal of Chromatography* 348, 447 – 453.
- ALI, S.** (2011): Leaf Yield and Polyphenols of Artichoke (*Cynara cardunculus* L.) Influenced by Harvest Frequency and Herbicide Stress. Dissertation, Gießen.
- ALI, S. & B. HONERMEIER** (2011): Effect of harvest frequency and plant density on leaf yield and caffeoylquinic acid in artichoke (*Cynara cardunculus* L.). In: *Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen*, 16 (4), 162 – 170.
- ANONYMUS** (2003): Die Artischocke, *Cynara scolymus* L. In: *Drogenreport* 29, Jg. 16, 73.
- AYANOGLU, F. , A. MERT & S. KIRICI** (2002): The Effects of Different Nitrogen Doses on *Artemisia annua* L. In: *Journal of herbs, spices and medicinal plants*, Vol. 9, Nr. 4, 399 – 403.
- BAIER, C.** (1997): Untersuchungen zur Blühindikation von Artischocken (*Cynara scolymus* L.). 7. Bernburger Winterseminar zu Fragen der Arznei- und Gewürzpflanzenproduktion, 05.02. – 06.02.1997.
- BAIER, C.** (2003): Biologische und pflanzenbauliche Untersuchungen an der Arzneipflanze Artischocke (*Cynara spec.* L.). Teil 1: Veränderungen der Inhaltsstoffe während der Blättentwicklung. In: *Drogenreport* 29, 16. Jg., 40 – 42.

- BAIER, C., W. DIEKMAN, B. MÜLLER & T. WEGENER** (1997): Vermehrung der Arzneipflanze Artischocke (*Cynara spec.*). In: *Drogenreport* 18, 10. Jg., 86 – 92.
- BAIER, C. & H.-J. HANNIG** (1998): Artischockenblattkulturen: Neue Erkenntnisse zum kontrollierten Anbau einer aktuellen Arzneipflanze. In Marquard, R. & E. Schubert (Hrsg.): Fachtagung „Arznei- und Gewürzpflanzen“, 1. – 2. Oktober 1998, Gießen.
- BÉNARD, C., H. GAUTIER, F. BOURGAUD, D. GRASSELLY, B. NAVEZ, C. CARIS-VEYRAT, M. WEISS & M. GÉNARD** (2009): Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids and phenolic compounds. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 4112 – 4123.
- BENDER, L. E.** (2003): Pharmazeutische, pflanzenbauliche und ernährungsphysiologische Kennzeichnung der Artischocke (*Cynara cardunculus* L. subsp. *flavescens* Winkl.). Diplomarbeit, Giessen.
- BELL, E. A. & B. V. CHARLWOOD** (Hrsg.) (1980): Secondary Plant products. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- BIANCO, V. V.** (2006): Present and Prospects of Utilization of Fresh and Processed Artichoke. In: Book of Abstracts, VI International Symposium on Artichoke, Cardoon and their wild Relatives, Lorca (Murcia), Spain, 28 – 31 March 2006, 3 - 4
- BIANCO, V. V., CALABRESE, N. & V. RUBATZKY** (2005): Proceedings of The Fourth International Congress on Artichoke. Acta Horticulturae 681, ISHS.
- BLASCHEK, W.** (2004): Rationale Phytotherapie bei dyspeptischen Beschwerden. In *Deutsche Apotheker Zeitung*, Nr. 47, 144. Jg., 72 – 73.

- BORGMANN, F.** (2000): Ertragsbildung der Kulturpflanze. In Lütke Entrup, N. & J. Oehmichen (Hrsg.): Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 1: Grundlagen. Gelsenkirchen: Verlag Th. Mann.
- BRAND, N. & H. WESCHTA** (1991): Die analytische Bewertung der Artischocke und ihrer Präparate. In: *Zeitschrift für Phytotherapie* 12, 15-21.
- BRAND, N.** (1990): *Cynara scolymus* L. – Die Artischocke. In: *Zeitschrift für Phytotherapie* 11, 169 – 175.
- BRAND, N.** (1992): Monographie Cynara. In Hänsel, R. et al. (Hrsg.): Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis. 5. Auflage, Band 4: Drogen A – D. Berlin, 1117 – 1122.
- BRAND, N.** (1997): Der Extrakt in Artischockenpräparaten – Pharmazeutische Aspekte eines pflanzlichen Wirkstoffes. In: *Deutsche Apotheker Zeitung* Nr. 41, 137. Jg., 60 – 76.
- BRAND, N.** (1999): Die Artischocke – eine Dekade interdisziplinärer Forschung. In: *Zeitschrift für Phytotherapie* 20, 292 – 302.
- BVL**, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.) (2006): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel
<http://psm.zadi.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1146574160246>. In:
www.bvl.bund.de, 02.05.2006.
- CHINOU, I. & C. HARVALA** (1997): Polyphenolic Constituents from the Leaves of two *Cynara* Species Growing in Greece. In: *Planta Medica* 63, 469 – 470.
- CZYGAN, F.-C.** (1996): Lusitanische Impressionen – Arzneipflanzenforschung besonderer Art. In: *Deutsche Apotheker Zeitung* 51/52, 136. Jahrgang, 15 – 21.

- CZYGAN, F.-C.** (1999): Forschung über die Artischocke: Status quo. Beiträge des Symposiums „Phytopharmaka 2000“, Bonn, Nov. 1998. In: *Zeitschrift für Phytotherapie*, 20, 93 – 98.
- DACHLER, M. & H. PELZMANN** (1999): Arznei- und Gewürzpflanzen. Anbau, Ernte, Aufbereitung. 2., überarbeitete Auflage. Klosterneuburg: Österreichischer Agrarverlag.
- DI VENERE, D., V. LINSALATA, N. CALABRESE, M. PIERALICE & V. V. BIANCO** (2005): Morphological and Biochemical Changes During Growth and Development of Artichoke Buds. In Bianco, V.V. et al. (Hrsg.): Proceedings of The Fourth International Congress on Artichoke. Acta Horticulturae 681, ISHS.
- DRUMM-HERREL, H.** (1987): Blue light control of pigment biosynthesis – anthocyanidin. In Senge, H.: Blue light responses: Phenomena and occurrence in plants and microorganisms. Vol. I, CRC Press Inc. Boca Raton.
- EBEL, R., H. HEUBERGER & H. SCHNITZLER** (2003): Artischocken – so geht’s auch. In: *Gemüse* 9, 24 – 26.
- EICH, J., M. GRÜN, C. BAIER, D. WAGENBRETH & D. ZIMMERMANN** (2005): Artichoke Leaves Used for Herbal Drug Production: Influence of Nitrogen Fertilization on Yield and on Pharmaceutical Quality. In Bianco, V.V. et al. (Hrsg.): Proceedings of The Fourth International Congress on Artichoke. Acta Horticulturae 681, ISHS.
- ERNST, E.** (1995): Die Artischocke – eine Heilpflanze mit Geschichte und Zukunftsperspektiven. In: *Naturamed* 10 (7), 30 – 35.
- FAO STAT**, Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.) (2013): Production, Crops
<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>, 24.10.2013.

- FEUCHT, W. & D. TREUTTER** (1989): Phenolische Naturstoffe – Ihre Bedeutung für Gartenbau, Land- und Forstwirtschaft. München: Obst- und Gartenbauverlag.
- FINCK, A.** (1991): Düngung – ertragssteigernd, qualitätsverbessernd, umweltgerecht. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- FINTELMANN, V.** (1999): Artischockenextrakt bei dyspeptischem Symptomkomplex. Methodik und Ergebnisse einer Anwendungsbeobachtung. In: *Zeitschrift für Phytotherapie*, 20, 93 – 95.
- FOTI, S., G. MAUROMICALE, S. A. RACCUIA, B. FALICO, F. FANELLA & E. MACCARONE** (1999): Possible alternative utilization of *Cynara spp.* I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain. In: *Industrial Crops and Products*, 19, 219 – 228.
- FOURY, C.** (1967): Study of the floral biology on the artichoke (*Cynara scolymus* L.), Application to selection. Part 1: Data on floral biology. In: *Ann. de l'Amélior. des Plantes* 17 (4), 357 – 373.
- FRITSCH, J., C. M. BEINDORFF, M. DACTLER, H. ZANGH & J. G. LAMMERS** (2002): Isolation, characterization and determination of minor artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaf extract compounds. In: *European food research and technology* 215, 149 – 157.
- FRITZ, C., N. PALACIOS-ROJAS, R. FEIL & M. STITT** (2006): Regulation of secondary metabolism by the carbon-nitrogen status in tobacco: Nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism. In: *The Plant Journal* 46, 533 – 548.
- GEBHARDT, R. & A. HANIKA** (1999): Hemmung der Cholesterin-Biosynthese durch Blätterextrakte der Artischocke in HepG2-Zellen. Verstärkung durch Vorinkubation mit β -Glukosidase intensiviert. In: *Zeitschrift für Phytotherapie*, 20, 95 – 96.

- GEBHARDT, R., R. REXHEPAJ & M. FAUSEL** (1999): Antioxidative und hepatoprotektive Wirkung von Flavonoiden aus Blattextrakten der Artischocke. Ein Vergleich an Hepatozytenkulturen unter Einwirkung toxischer Hydroperoxide. In: *Zeitschrift für Phytotherapie*, 20, 97 – 98.
- GÖTTMANN, S.** (2006): Einfluss von Sorte, Saatzeit und Standraum auf Blattertrag und Wirkstoffgehalt der Artischocke (*Cynara cardunculus ssp. flavescens* WIKL.). Dissertation, Gießen.
- HAFF, M.** (2004): *Ilex paraguariensis* St.-Hil. (Mate) – Variabilität phytochemischer Merkmale in Ausgangsmaterial und Produktion. Dissertation, Bonn.
- HALTER, L.** (2001): Kulturanleitung für Artischocken. Praxisempfehlungen für den Anbau. <http://www.weihenstephan.de/gb/main/Sop2.pdf>, 15.05.2006.
- HÄNSEL, R., O. STICHER & E. STEINEGGER** (1999): Pharmakognosie – Phytopharmazie. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- HANNIG, H.-J. & J. EICH** (2001): Artischocken-Anbau für pharmazeutische Zwecke – eine neue Anbautechnologie. In: *Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen*, 6. Jg., 190 – 194.
- HARBORNE, J. B.** (1980): Plant Phenolics. In Bell, E. A. & B. V. Charlwood (Hrsg.): Secondary Plant products. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- HASLAM, E.** (1998): Practical Polyphenolics. From structure to molecular recognition and physiological action. Cambridge: Cambridge University Press.
- HELDT, H. W.** (1996): Pflanzenbiochemie. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- HERMANN, K.** (1997): Inhaltsstoffe der Artischocke. In: *Die industrielle Obst- und Gemüseverwertung*, 59 (3), 125 – 129.

- HEYLAND, K.-U.** (1996): Allgemeiner Pflanzenbau. 7., völlig neu bearbeitete Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- HOLTMANN, G., B. ADAM, S. HAAG, W. COLLET, E. GRÜNEWALD & T. WINDECK** (2003): Efficacy of artichoke leaf extract in the treatment of patients with functional dyspepsia: a six-week placebo-controlled, double-blind, multicentre trial. In: *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 18, 1099 – 1105.
- HONERMEIER, B. & S. GÖTTMANN** (2010): Blatterträge und Polyphenolgehalte der Artischocke (*Cynara cardunculus* L.) unter dem Einfluss unterschiedlicher Reihenweiten und Pflanzendichten. In: *Journal für Kulturpflanzen*, 62 (11), 393 – 401.
- HONERMEIER, B., T. SCHÄFER & S. GÖTTMANN** (2009): Blatterträge und Wirkstoffgehalte unterschiedlicher Sorten der Artischocke (*Cynara cardunculus* L.) – Ergebnisse aus Feldversuchen am Standort Gießen. In: *Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen*, 14 (2), 76 – 83.
- KIRAKOSYAN, A., P. KAUFMAN, S. WARBER, S. ZICK, K. AARONSON, S. BOLLING & S. CHUL CHANG** (2004): Applied environmental stresses to enhance the levels of polyphenolics in leaves of hawthorn plants. In: *Physiologia Plantarum* 121, 182 – 186.
- KÖHL, S.** (2003): Untersuchungen zum Einfluss von N-Düngung und Beregnung auf Drogenenertrag und Wirkstoffgehalt der Artischocke (*Cynara cardunculus* L. subsp. *flavescens* Wikl.) als Arzneipflanze. Diplomarbeit, Giessen.
- KÖHLER, W., G. SCHACHTEL & P. VOLESKE** (1996): Biostatistik. 2. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag.
- KOMMISSION E** (Hrsg.) (1988): Monographie *Cynarae folium* (Artischockenblätter). In: *Bundesanzeiger*, Heft 122, erschienen 06.07.1988, korrigiert 01.09.1990.

- LARCHER, W.** (2003): *Physiological Plant Ecology*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- LATTANZIO, V.** (1981): Attuali conoscenze sui polifenoli del carciofo. In: Marzi, V. & v. Lattanzio (Hrsg.): „Studi sul Carciofo“. Laterza, Bari, 13 – 32.
- LATTANZIO, V. & I. MORONE** (1979): Variations of the orthodiphenol content of *Cynara scolymus* L. during the plant growing seasons. In: *Experientia* 35, 993 – 994.
- LIETTI, A.** (1977): *Fitoterapia* 48, 153 – 158, zitiert in Brand, N. (1992): Monographie *Cynara*. In Hänsel, R. et al. (Hrsg.): Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis. 5. Auflage, Band 4: Drogen A – D. Berlin, 1117 – 1122.
- LÜTKE ENTRUP, N. & J. OEHMICHEN** (Hrsg.) (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 1: Grundlagen. Gelsenkirchen: Verlag Th. Mann.
- MACCARONE, E., B. FALICO, F. FANELLA, G. MAUROMICALE, S.A. RACCUIA & S. FOTI** (1999): Possible alternative utilization of *Cynara* ssp. II. Chemical characterization of their grain oil. In: *Industrial Crops and Products*, 10, 229 – 237.
- MANACH, C., A. SCALBERT, C. MORAND, C. RÉMÉSY, & L. JIMÉNEZ** (2004): Polyphenols: food sources and bioavailability. In: *American Journal for Clinical Nutrition*, 79, 727 – 747.
- MARQUARD, R. & E. KROTH** (Hrsg., 2001): Anbau und Qualitätsanforderungen ausgewählter Arzneipflanzen. Bergen/Dumme: Buchedition Agrimedia GmbH.
- MARQUARD, R. & E. SCHUBERT** (Hrsg.) (1998): Fachtagung „Arznei- und Gewürzpflanzen“, 1. – 2. Oktober 1998, Gießen.

- MATTHES, C.** (2002): Morphogenese, Drogenertrag und –qualität der Artischocke (*Cynara cardunculus* L. subsp. *flavescens* Winkl.) in Abhängigkeit von Sorte, Aussaat- und Erntetermin. Diplomarbeit, Giessen.
- MATTHES, C. & B. HONERMEIER** (2007): Cultivation of the artichoke as a medicinal plant under temperate climate conditions in Germany. In: Fernández J. A. et al. (Hrsg.): Proceedings of The Sixth International Symposium on Artichoke, Cardoon and their Wild Relatives. Acta Horticulturae 730, ISHS.
- MAYER, J. G.** (2003): *Cynara scolymus* und *Cynara cardunculus* – die Artischocke – kulturhistorisches Portrait einer wichtigen Arzneipflanze. In: *Zeitschrift für Phytotherapie* 24, 291 – 294.
- MAYR, A. & E. FRÖHLICH** (1965): Zwei Jahrtausende Artischocke, *Cynara scolymus*. In: *Österreichische Apotheker-Zeitung* Nr. 29/30, 19. Jg., 468 – 471.
- MENGEL, K.** (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- MOHR, H. & P. SCHOPFER** (1992): Pflanzenphysiologie. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- NIKFARDJAM, M. S. P.** (2001): Polyphenole in Weißweinen und Traubensäften und ihre Veränderung im Verlauf der Herstellung. Dissertation, Gießen.
- OEHMICHEN, J.** (2000): Pflanzenernährung und Düngung. In Lütke Entrup, N. & J. Oehmichen (Hrsg.): Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 1: Grundlagen. Gelsenkirchen: Verlag Th. Mann.
- OTTO, D.** (1999): Selected Phenolic Compounds in Cultivated Plants: Ecologic Functions, Health Implications, and Modulation by pesticides. In: *Environmental Health Perspectives Supplements*, Volume 107, Number S1, 109 – 114.

- PERKO, J.** (1996): Artichaut: premières expériences en culture annuelle. In: *Der Gemüsebau/Le Maraicher*, 59 (3), 15.
- PIGNONE, D. & G. SONNANTE** (2004): Wild artichokes of south Italy: did the story begin here? In: *Genetic Resources and Crop Evolution* 51, 577 – 580.
- RANA, G. L., D. GALLITELLI, C. VOVLAS & G. P. MARTELLI** (2005): Viruses of Globe Artichoke: an Overview. In Bianco, V.V. et al. (Hrsg.): Proceedings of The Fourth International Congress on Artichoke. Acta Horticulturae 681, ISHS.
- RECHNER, A.** (2001): Einfluss der Verarbeitungstechnik auf die Polyphenole und antioxidative Kapazität von Apfel- und Beerenobstsäften. Dissertation, Gießen.
- REGLIN, F.** (1993): Die Artischocke – mehr als ein köstliches Nahrungsmittel. In: *PRAXIS – telegramm*, 3 – 4.
- RICHTER, G.** (1998): Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. Physiologie und Biochemie des primär und Sekundärstoffwechsels. 6., völlig neubearbeitete Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- RIMPLER, H.** (Hrsg.) (1999): Biogene Arzneistoffe, 2. Auflage. Stuttgart: Deutscher Apotheker Verlag.
- RODRIGUEZ, T. S., D. GARCÍA GIMÉNEZ & R. DE LA PUERTA VÁZQUEZ** (2002): Choleric activity and biliary elimination of lipids and bile acids induced by an artichoke leaf extract in rats. In: *Phytomedicine* 9, 687 – 693.
- ROTE LISTE** (Hrsg.) (2001): Rote Liste 2001. Arzneimittelverzeichnis für Deutschland (einschließlich EU-Zulassungen und bestimmter Medizinprodukte). Aulendorf: Editio Cantor Verlag.
- ROTTENBERG, A.** (1996): Isoenzyme relationships between cultivated artichoke and the wild relatives. In: *Genetic Resources and Crop Evolution* 43, 59 – 62.

- ROTTENBERG, A. & D. ZOHARY** (1996): The wild ancestry of the cultivated artichoke. In: *Genetic Resources and Crop Evolution* 43, 53 – 58.
- SALLER, R., F. ITEN & J. REICHLING** (2001): Dyspeptische Beschwerden und Phytotherapie – eine Übersicht über traditionelle und moderne Phytotherapeutika. In: *Forschende Komplementärmedizin und Klassische Naturheilkunde*, 8, 263 – 273.
- SCHENK, A.** (2005): Optimierung des Artischocken-Anbaus. In: *Deutsche Apotheker Zeitung* Nr. 43. 145. Jg.
- SCHILCHER, H. & B. M. HEIL** (1992): Artischockenextrakt – Eine aktuelle Standortbestimmung. In: *therapeutikon* 9, 410 – 417.
- SCHILCHER, H. & H. HAGELS** (1999): Presssaft aus Artischocken. In: *Deutsche Apotheker Zeitung* 28, 139. Jahrgang, 43 – 47.
- SCHILLING, G.** (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- SCHNEIDER, E., P. BRUNNER, G. STEKLY, M. MESSMER & B. BÜTER** (2001): Züchtung der SALUSCHOCKE® - ein Projekt zur Optimierung der Qualität der Arznei-Artischocke. In: *Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen*, 6. Jg., 64 – 68.
- SCHNEIDER, G. & K. THIELE** (1974a): Eigenschaften und Bestimmung des Artischockenbitterstoffes Cynaropikrin. In: *Planta Medica*, Vol. 25, 150 – 157.
- SCHNEIDER, G. & K. THIELE** (1974b): Die Verteilung des Bitterstoffes Cynaropikrin in der Artischocke. In: *Planta Medica*, Vol. 26, 174 – 183.
- SCHUBERT, S.** (2006): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

- SCHUSTER, W. H. & J. VON LOCHOW** (1992): Anlage und Auswertung von Feldversuchen. 3. Auflage (überarbeitet). Giessen.
- SCHWARZ, G.** (2000): Wundermittel Artischocke – Der Trockenextrakt für Gesundheit und Wohlbefinden. München: Heyne Verlag.
- SITTE, P., H. ZIEGLER, F. EHRENDORFER & A. BRESINSKY** (Hrsg.) (1998): Strasburger – Lehrbuch der Botanik. 34. Auflage. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: Gustav Fischer Verlag.
- STUMPF, B.** (2013): Changes of total phenolic content and antioxidant capacity of wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum* var. Thasos) due to different nitrogen treatments. Master Thesis, Giessen.
- TEUSCHER, E.** (1997): Biogene Arzneimittel. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.
- VÖMEL, A. & C. BARTSCH** (1996): Arznei- und Gewürzpflanzen. In Heyland, K.-U. (Hrsg.): Spezieller Pflanzenbau. Ulmer, Stuttgart.
- WAGENBRETH, D.** (1996): Evaluation of Artichoke Cultivars for Growing and Pharmaceutical Use. In: Beiträge zur Züchtungsforschung 2 (1), 400 – 403.
- WAGENBRETH, D., M. GRÜN, A. WAGENBRETH & T. WEGENER** (1996): Artischocke – Qualitätsdroge aus Arzneipflanzenanbau. In: *Deutsche Apotheker Zeitung* 43, 136. Jahrgang, 112 – 122.
- WAGENBRETH, D. & J. EICH** (2005): Pharmaceutically Relevant Phenolic Constituents in Artichoke Leaves are Useful for Chemical Classification of Accessions. In Bianco, V.V. et al. (Hrsg.): Proceedings of The Fourth International Congress on Artichoke. Acta Horticulturae 681, ISHS.

- WANG, M., J. E. SIMON, I. F. AVILES, K. HE, Q. Y. ZHENG & Y. TADMOR** (2003): Analysis of Antioxidative Phenolic Compounds in Artichoke (*Cynara scolymus* L.). In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 601 – 608.
- WATZL, B. & G. RECHKEMMER** (2001a): Phenolsäuren. In: *Ernährungs-Umschau* 48, Heft 10, 413 – 416.
- WATZL, B. & G. RECHKEMMER** (2001b): Flavonoide. In: *Ernährungs-Umschau* 48, Heft 12, 498 – 502.
- WEGENER, T. & V. FINTELMANN** (2003): Pharmakologische Eigenschaften und therapeutisches Profil der Artischocke (*Cynara scolymus* L.). <http://heilpflanzen-welt.de/div/pharmakologie-klinische-eigenschaften-artischocke-1.htm>. In: <http://www.heilpflanzen-welt.de/>, 17.05.2006.
- WIKLUND, A.** (1992): The genus *Cynara* L. (Asteraceae-Cardueae). In: *Botanical Journal of the Linnean Society* 109, 75 – 123.
- WILLUHN, G.** (1987): Sesquiterpenlactone, potentielle Leitsubstanzen für die Arzneistofffindung. Struktur und biologisch-pharmakologische Aktivitäten. In: *Deutsche Apotheker Zeitung*, 48, 127. Jg., 2511 – 2517.
- WINDHABER, R.** (2003): Die Artischocke – Arzneipflanze des Jahres 2003. Delikatesse, Arzneimittel und Objekt der Kunst. In: *Zeitschrift für Phytotherapie*, 1, 38 – 39.
- WITTEMER, S. M., M. PLOCH, T. WINDECK, S.C. MÜLLER, B. DREWELow, H. DERENDORF & M. VEIT** (2005): Bioavailability and pharmacokinetics of caffeoylquinic acids and flavonoids after oral administration of Artichoke leaf extracts in humans. In: *Phytomedicin* 12, 28 – 38.

8. ANHANG

8.1. Aussaattermine

Tab. A1: Saat- und Pflanztermine der durchgeführten Versuche 2003 – 2005.

Jahr	Standort	Sorte	Versuchsfrage	Versuchsart	Datum
2003	GI	`Green Globe´	Variation des Erntetermins	Feldversuch	15.04.
2004	GI	`Green Globe´		Feldversuch	03.05.
		`White Giant´		Feldversuch	04.05.
	RH	`Green Globe´		Feldversuch	04.05.
		`White Giant´		Feldversuch	05.05.
		`White Giant´	N-Form & N-Dosis	Gefäßversuch	30.04. Pflanzung
2005	RH	`White Giant´	N-Form & Wasserversorgung	Gefäßversuch	22.03. Aussaat in Multitopfpfplatten, 28.04. Pflanzung
	RH - Klimakammer	`White Giant´	Temperatur & Tageslänge	Gefäßversuch	15.02. Aussaat in Quickpots, 21.03. Pflanzung
	GI	`White Giant´	Tagesverlauf	Feldversuch	02.05.

8.2. Erntetermine

Tab. A2: Teilernten der Gefäßversuche am Versuchsstandort Rauschholzhausen, 2004 und 2005.

Jahr	Versuchsfrage	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
2004	N-Form & N-Dosis	21.07.	14.09.	02.11.
2005	N-Form & Wasserversorgung	29.06.	09.08.	20.09.
	Temperatur & Tageslänge	02.06.	06.07.	16.08.

Tab. A3: Teilernten der Feldversuche an den Versuchsstandorten Gießen und Rauschholzhausen, 2003 und 2004.

Jahr	Standort	Sorte	Variante	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
2003	GI	`Green Globe´	1	25.06.	07.08.	16.09.
			2	02.07.	14.08.	23.09.
			3	09.07.	21.08.	30.09.
			4	17.07.	28.08.	07.10.
			5	23.07.	04.09.	14.10.
			6	31.07.	11.09.	
			7	06.08.	18.09.	
			8	13.08.	25.09.	
			9	20.08.	02.10.	
			10	27.08.	08.10.	
			11	03.09.	15.10.	
			12	10.09.		
			13	17.09.		
			14	21.09.		
			15	01.10.		
2004	GI	`Green Globe´	1	03.08.	09.09.	18.10.
			2	17.08.	23.09.	
			3	31.08.	07.10.	
			4	14.09.	21.10.	
			5	28.09.		
		6				
	RH	`White Giant´	1	27.07.	02.09.	12.10.
			2	10.08.	15.09.	
			3	24.08.	30.09.	
			4	07.09.	14.10.	
			5	21.09.		
			6	05.10.		
RH	`Green Globe´	1	04.08.	09.09.	20.10.	
		2	18.08.	23.09.		
		3	01.09.	07.10.		
		4	15.09.	21.10.		
		5	29.09.			
		6	13.10.			
RH	`White Giant´	1	28.07.	02.09.	14.10.	
		2	14.08.	16.09.		
		3	25.08.	30.09.		
		4	08.09.	14.10.		
		5	22.09.			
		6	06.10.			
2005	GI	`White Giant´	1 (06.00 Uhr)	01.08.	06.09.	11.10.
			2 (08.00 Uhr)	29.07.	06.09.	13.10.
			3 (10.00 Uhr)	27.07.	07.09.	13.10.
			4 (12.00 Uhr)	27.07.	07.09.	11.10.
			5 (14.00 Uhr)	27.07.	07.09.	12.10.
			6 (16.00 Uhr)	28.07.	08.09.	12.10.
			7 (18.00 Uhr)	28.07.	08.09.	12.10.

8.3. Varianztafeln

8.3.1. Wirkung der Vegetationsdauer

8.3.1.1. Feldversuch Gießen, 2003

Sorte 'Green Globe'

Tab. A4: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	250,415	14	17,887	6,759	,000
	Innerhalb der Gruppen	119,083	45	2,646		
	Gesamt	369,498	59			
Gelbe Blätter	Zwischen den Gruppen	3,729	14	,266	,985	,489
	Innerhalb der Gruppen	8,654	32	,270		
	Gesamt	12,383	46			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	4297,576	14	306,970	17,036	,000
	Innerhalb der Gruppen	810,833	45	18,019		
	Gesamt	5108,409	59			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	1940,831	14	138,631	5,862	,000
	Innerhalb der Gruppen	1064,174	45	23,648		
	Gesamt	3005,005	59			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	693,468	14	49,533	7,349	,000
	Innerhalb der Gruppen	303,326	45	6,741		
	Gesamt	996,794	59			

Tab. A5: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	48,267	10	4,827	1,072	,412
	Innerhalb der Gruppen	139,625	31	4,504		
	Gesamt	187,892	41			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	1844,119	10	184,412	12,781	,000
	Innerhalb der Gruppen	447,292	31	14,429		
	Gesamt	2291,411	41			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	1642,391	10	164,239	4,737	,000
	Innerhalb der Gruppen	1074,757	31	34,670		
	Gesamt	2717,148	41			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	314,706	10	31,471	2,928	,011
	Innerhalb der Gruppen	333,194	31	10,748		
	Gesamt	647,900	41			

Tab. A6: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. `Green Globe´, 3. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	61,092	4	15,273	3,470	,034
	Innerhalb der Gruppen	66,014	15	4,401		
	Gesamt	127,106	19			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	327,494	4	81,874	11,809	,000
	Innerhalb der Gruppen	104,000	15	6,933		
	Gesamt	431,494	19			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	228,869	4	57,217	2,150	,125
	Innerhalb der Gruppen	399,201	15	26,613		
	Gesamt	628,071	19			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	86,444	4	21,611	2,463	,090
	Innerhalb der Gruppen	131,639	15	8,776		
	Gesamt	218,083	19			

Tab. A7: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `Green Globe´, 1. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Zwischen den Gruppen	17628,039	14	1259,146	11,537	,000
	Innerhalb der Gruppen	4911,241	45	109,139		
	Gesamt	22539,280	59			

* ges = Gesamt

Tab. A8: Varianztafel der Parameter Blattertrag – grüne Blätter, cv. `Green Globe´, 1. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_BS*_grün	Zwischen den Gruppen	1064,432	14	76,031	4,225	,000
	Innerhalb der Gruppen	809,875	45	17,997		
	Gesamt	1874,307	59			
TM_BA**_grün	Zwischen den Gruppen	411,715	14	29,408	5,120	,000
	Innerhalb der Gruppen	258,448	45	5,743		
	Gesamt	670,163	59			
TM_Grün_ges***	Zwischen den Gruppen	2696,757	14	192,625	4,687	,000
	Innerhalb der Gruppen	1849,212	45	41,094		
	Gesamt	4545,969	59			

* BS = Blattspreite, ** BA = Blattachse, *** ges = Gesamt

Tab. A9: Varianztafel der Parameter Blattertrag – gelbe Blätter, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_BS*_gelb	Zwischen den Gruppen	165,714	14	11,837	10,868	,000
	Innerhalb der Gruppen	46,834	43	1,089		
	Gesamt	212,549	57			
TM_BA**_gelb	Zwischen den Gruppen	5,112	14	,365	,984	,517
	Innerhalb der Gruppen	4,451	12	,371		
	Gesamt	9,563	26			
TM_Gelb_ges***	Zwischen den Gruppen	241,717	14	17,266	8,912	,000
	Innerhalb der Gruppen	85,240	44	1,937		
	Gesamt	326,958	58			

* BS = Blattbreite, ** BA = Blattachse, *** ges = Gesamt

Tab. A10: Varianztafel der Parameter Ertrag – Sprossachse, Blütenstand, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Stengel	Zwischen den Gruppen	194,453	11	17,678	1,938	,083
	Innerhalb der Gruppen	228,032	25	9,121		
	Gesamt	422,485	36			
TM_Blüte	Zwischen den Gruppen	4533,666	11	412,151	8,696	,000
	Innerhalb der Gruppen	1611,467	34	47,396		
	Gesamt	6145,132	45			

Tab. A11: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Zwischen den Gruppen	5490,888	10	549,089	9,663	,000
	Innerhalb der Gruppen	1875,217	33	56,825		
	Gesamt	7366,105	43			

* ges = gesamt

Tab. A12: Varianztafel der Parameter Blattertrag – grüne Blätter, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_BS*_grün	Zwischen den Gruppen	682,082	10	68,208	5,401	,000
	Innerhalb der Gruppen	391,497	31	12,629		
	Gesamt	1073,580	41			
TM_BA**_grün	Zwischen den Gruppen	192,491	10	19,249	7,256	,000
	Innerhalb der Gruppen	82,237	31	2,653		
	Gesamt	274,728	41			
TM_Grün_ges***	Zwischen den Gruppen	1559,742	10	155,974	6,180	,000
	Innerhalb der Gruppen	782,345	31	25,237		
	Gesamt	2342,087	41			

* BS = Blattbreite, ** BA = Blattachse, *** ges = Gesamt

Tab. A13: Varianztafel der Parameter Blattertrag – gelbe Blätter, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_BS*_gelb	Zwischen den Gruppen	3,981	3	1,327	2,270	,133
	Innerhalb der Gruppen	7,015	12	,585		
	Gesamt	10,995	15			
TM_BA**_gelb	Zwischen den Gruppen	2,093E-02	3	6,976E-03	,075	,969
	Innerhalb der Gruppen	,279	3	9,310E-02		
	Gesamt	,300	6			
TM_Gelb_ges***	Zwischen den Gruppen	9,619	3	3,206	3,830	,039
	Innerhalb der Gruppen	10,046	12	,837		
	Gesamt	19,665	15			

* BS = Blattbreite, ** BA = Blattachse, *** ges = Gesamt

Tab. A14: Varianztafel der Parameter Ertrag – Sprossachse, Blütenstand, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Blüte	Zwischen den Gruppen	83,039	7	11,863	3,458	,017
	Innerhalb der Gruppen	58,319	17	3,431		
	Gesamt	141,358	24			

Tab. A15: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. 'Green Globe', 3. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Zwischen den Gruppen	191,357	4	47,839	2,556	,082
	Innerhalb der Gruppen	280,710	15	18,714		
	Gesamt	472,067	19			

* ges = Gesamt

Tab. A16: Varianztafel der Parameter Blattertrag – grüne Blätter, cv. 'Green Globe', 3. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_BS*_grün	Zwischen den Gruppen	49,016	4	12,254	2,028	,142
	Innerhalb der Gruppen	90,640	15	6,043		
	Gesamt	139,656	19			
TM_BA**_grün	Zwischen den Gruppen	11,672	4	2,918	2,665	,073
	Innerhalb der Gruppen	16,423	15	1,095		
	Gesamt	28,095	19			
TM_Grün_ges***	Zwischen den Gruppen	105,403	4	26,351	2,186	,120
	Innerhalb der Gruppen	180,800	15	12,053		
	Gesamt	286,202	19			

* BS = Blattbreite, ** BA = Blattachse, *** ges = Gesamt

Tab. A17: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	803,408	14	57,386	3,179	,002
	Innerhalb der Gruppen	812,433	45	18,054		
	Gesamt	1615,841	59			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A18: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	1048,350	10	104,835	6,828	,000
	Innerhalb der Gruppen	445,254	29	15,354		
	Gesamt	1493,604	39			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A19: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'Green Globe', 3. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	5189,003	4	1297,251	54,140	,000
	Innerhalb der Gruppen	311,493	13	23,961		
	Gesamt	5500,496	17			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A20: Varianztafel der Parameter Chlorogensäure und Cynarosid, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Chlorogensäure	Zwischen den Gruppen	62,811	7	8,973	9,980	,000
	Innerhalb der Gruppen	168,130	187	,899		
	Gesamt	230,941	194			
Cynarosid	Zwischen den Gruppen	,942	7	,135	8,307	,000
	Innerhalb der Gruppen	2,074	128	,016		
	Gesamt	3,016	135			

Tab. A21: Varianztafel der Parameter Chlorogensäure und Cynarosid, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Chlorogensäure	Zwischen den Gruppen	24,770	5	4,954	5,990	,000
	Innerhalb der Gruppen	119,915	145	,827		
	Gesamt	144,686	150			
Cynarosid	Zwischen den Gruppen	,740	5	,148	8,910	,000
	Innerhalb der Gruppen	1,396	84	,017		
	Gesamt	2,136	89			

Tab. A22: Varianztafel der Parameter Chlorogensäure und Cynarosid, cv. 'Green Globe', 3. Schnitt, Gießen 2003.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Chlorogensäure	Zwischen den Gruppen	,455	2	,228	,217	,805
	Innerhalb der Gruppen	68,050	65	1,047		
	Gesamt	68,506	67			
Cynarosid	Zwischen den Gruppen	,364	2	,182	5,563	,008
	Innerhalb der Gruppen	1,080	33	,033		
	Gesamt	1,445	35			

8.3.1.2. Feldversuche Gießen 2004

*Sorte 'Green Globe'***Tab. A23:** Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	34,826	4	8,706	3,889	,037
	Innerhalb der Gruppen	22,389	10	2,239		
	Gesamt	57,215	14			
Gelbe Blätter	Zwischen den Gruppen	1,110	3	,370	1,019	,440
	Innerhalb der Gruppen	2,541	7	,363		
	Gesamt	3,651	10			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	1700,767	4	425,192	37,486	,000
	Innerhalb der Gruppen	113,426	10	11,343		
	Gesamt	1814,193	14			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	2325,611	4	581,403	35,142	,000
	Innerhalb der Gruppen	165,444	10	16,544		
	Gesamt	2491,056	14			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	543,252	4	135,813	13,141	,001
	Innerhalb der Gruppen	103,352	10	10,335		
	Gesamt	646,604	14			

Tab. A24: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	7,562	3	2,521	1,073	,414
	Innerhalb der Gruppen	18,796	8	2,350		
	Gesamt	26,359	11			
Gelbe Blätter	Zwischen den Gruppen	266,021	2	133,010	.	.
	Innerhalb der Gruppen	,000	1	,000		
	Gesamt	266,021	3			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	92,174	3	30,725	2,517	,132
	Innerhalb der Gruppen	97,667	8	12,208		
	Gesamt	189,840	11			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	198,201	3	66,067	3,566	,067
	Innerhalb der Gruppen	148,197	8	18,525		
	Gesamt	346,398	11			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	85,590	3	28,530	3,499	,070
	Innerhalb der Gruppen	65,236	8	8,155		
	Gesamt	150,826	11			

Tab. A25: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `Green Globe`, 1. Schnitt, Gießen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Korrigiertes Modell	310,424(a)	4	77,606	27,467	,000
	Konstanter Term	1439,563	1	1439,563	509,494	,000
	var	310,424	4	77,606	27,467	,000
	Fehler	28,255	10	2,825		
	Gesamt	1778,242	15			
	Korrigierte Gesamtvariation	338,679	14			

a R-Quadrat = ,917 (korrigiertes R-Quadrat = ,883)

* ges = Gesamt

Tab. A26: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `Green Globe`, 2. Schnitt, Gießen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Korrigiertes Modell	2,445(a)	3	,815	,315	,814
	Konstanter Term	527,282	1	527,282	203,970	,000
	var	2,445	3	,815	,315	,814
	Fehler	20,681	8	2,585		
	Gesamt	550,408	12			
	Korrigierte Gesamtvariation	23,126	11			

a R-Quadrat = ,106 (korrigiertes R-Quadrat = -,230)

* ges = Gesamt

Tab. A27: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. `Green Globe`, 1. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	985,733	3	328,578	5,635	,023
	Innerhalb der Gruppen	466,468	8	58,308		
	Gesamt	1452,201	11			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A28: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. `Green Globe`, 2. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	351,802	2	175,901	23,293	,001
	Innerhalb der Gruppen	45,310	6	7,552		
	Gesamt	397,112	8			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A29: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	16,399	4	4,100	1,474	,223
	Innerhalb der Gruppen	150,222	54	2,782		
	Gesamt	166,620	58			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	,688	4	,172	1,131	,353
	Innerhalb der Gruppen	7,602	50	,152		
	Gesamt	8,289	54			

Tab. A30: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	4,963	3	1,654	1,206	,319
	Innerhalb der Gruppen	60,371	44	1,372		
	Gesamt	65,334	47			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	,917	3	,306	1,203	,323
	Innerhalb der Gruppen	9,145	36	,254		
	Gesamt	10,062	39			

Sorte 'White Giant'**Tab. A31:** Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	131,172	5	26,234	17,387	,000
	Innerhalb der Gruppen	27,160	18	1,509		
	Gesamt	158,332	23			
Gelbe Blätter	Zwischen den Gruppen	111,687	5	22,337	8,799	,000
	Innerhalb der Gruppen	43,156	17	2,539		
	Gesamt	154,842	22			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	9478,051	5	1895,610	63,064	,000
	Innerhalb der Gruppen	541,056	18	30,059		
	Gesamt	10019,106	23			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	3972,194	5	794,439	12,919	,000
	Innerhalb der Gruppen	1106,931	18	61,496		
	Gesamt	5079,125	23			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	223,909	5	44,782	3,515	,022
	Innerhalb der Gruppen	229,313	18	12,740		
	Gesamt	453,221	23			

Tab. A32: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. `White Giant`, 2. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	27,950	3	9,317	2,243	,136
	Innerhalb der Gruppen	49,840	12	4,153		
	Gesamt	77,790	15			
Gelbe Blätter	Zwischen den Gruppen	,384	2	,192	6,108	,025
	Innerhalb der Gruppen	,252	8	,031		
	Gesamt	,636	10			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	1322,380	3	440,793	47,740	,000
	Innerhalb der Gruppen	110,799	12	9,233		
	Gesamt	1433,179	15			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	2023,241	3	674,414	47,925	,000
	Innerhalb der Gruppen	168,868	12	14,072		
	Gesamt	2192,109	15			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	198,339	3	66,113	11,078	,001
	Innerhalb der Gruppen	71,618	12	5,968		
	Gesamt	269,957	15			

Tab. A33: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `White Giant`, 1. Schnitt, Gießen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Korrigiertes Modell	5028,962(a)	5	1005,792	80,811	,000
	Konstanter Term	30020,140	1	30020,140	2411,973	,000
	var	5028,962	5	1005,792	80,811	,000
	Fehler	224,033	18	12,446		
	Gesamt	35273,135	24			
	Korrigierte Gesamtvariation	5252,995	23			

a R-Quadrat = ,957 (korrigiertes R-Quadrat = ,946)

* ges = Gesamt

Tab. A34: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `White Giant`, 2. Schnitt, Gießen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Korrigiertes Modell	836,195(a)	3	278,732	2,662	,095
	Konstanter Term	4519,711	1	4519,711	43,172	,000
	var	836,195	3	278,732	2,662	,095
	Fehler	1256,277	12	104,690		
	Gesamt	6612,183	16			
	Korrigierte Gesamtvariation	2092,472	15			

a R-Quadrat = ,400 (korrigiertes R-Quadrat = ,250)

* ges = Gesamt

Tab. A35: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	868,088	4	217,022	19,971	,000
	Innerhalb der Gruppen	163,001	15	10,867		
	Gesamt	1031,089	19			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A36: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	180,110	2	90,055	14,424	,002
	Innerhalb der Gruppen	56,189	9	6,243		
	Gesamt	236,299	11			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A37: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	21,377	5	4,275	1,295	,273
	Innerhalb der Gruppen	297,179	90	3,302		
	Gesamt	318,556	95			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	,262	5	,052	,230	,948
	Innerhalb der Gruppen	20,483	90	,228		
	Gesamt	20,745	95			

Tab. A38: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Gießen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	23,463	3	7,821	2,228	,094
	Innerhalb der Gruppen	207,093	59	3,510		
	Gesamt	230,556	62			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	3,291	3	1,097	1,677	,182
	Innerhalb der Gruppen	37,925	58	,654		
	Gesamt	41,216	61			

8.3.1.3. Feldversuche Rauschholzhausen 2004

Sorte 'Green Globe'

Tab. A39: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'Green Globe', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	17,981	5	3,596	1,028	,431
	Innerhalb der Gruppen	62,958	18	3,498		
	Gesamt	80,940	23			
Gelbe Blätter	Zwischen den Gruppen	,676	5	,135	2,646	,060
	Innerhalb der Gruppen	,868	17	,051		
	Gesamt	1,544	22			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	11534,061	5	2306,812	50,006	,000
	Innerhalb der Gruppen	830,354	18	46,131		
	Gesamt	12364,416	23			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	4939,344	5	987,869	14,125	,000
	Innerhalb der Gruppen	1258,840	18	69,936		
	Gesamt	6198,184	23			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	806,468	5	161,294	5,782	,002
	Innerhalb der Gruppen	502,083	18	27,894		
	Gesamt	1308,551	23			

Tab. A40: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	21,389	3	7,130	3,062	,069
	Innerhalb der Gruppen	27,944	12	2,329		
	Gesamt	49,333	15			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	988,472	3	329,491	8,474	,003
	Innerhalb der Gruppen	466,583	12	38,882		
	Gesamt	1455,056	15			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	1542,590	3	514,197	15,300	,000
	Innerhalb der Gruppen	403,292	12	33,608		
	Gesamt	1945,882	15			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	34,019	3	11,340	1,190	,355
	Innerhalb der Gruppen	114,368	12	9,531		
	Gesamt	148,387	15			

Tab. A41: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `Green Globe`, 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Zwischen den Gruppen	1843,081	4	460,770	17,591	,000
	Innerhalb der Gruppen	392,898	15	26,193		
	Gesamt	2235,980	19			

* ges = Gesamt

Tab. A42: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `Green Globe`, 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Zwischen den Gruppen	896,461	3	298,820	46,236	,000
	Innerhalb der Gruppen	77,556	12	6,463		
	Gesamt	974,017	15			

* ges = Gesamt

Tab. A43: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. `Green Globe`, 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	364,036	5	72,807	2,530	,067
	Innerhalb der Gruppen	518,015	18	28,779		
	Gesamt	882,051	23			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A44: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. `Green Globe`, 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	3,222	2	1,611	,084	,920
	Innerhalb der Gruppen	171,963	9	19,107		
	Gesamt	175,185	11			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A45: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. `Green Globe`, 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	15,353	5	3,071	1,095	,369
	Innerhalb der Gruppen	235,530	84	2,804		
	Gesamt	250,883	89			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	,275	5	,055	,506	,771
	Innerhalb der Gruppen	7,727	71	,109		
	Gesamt	8,003	76			

Tab. A46: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. 'Green Globe', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	3,287	3	1,096	,484	,695
	Innerhalb der Gruppen	133,608	59	2,265		
	Gesamt	136,895	62			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	,607	3	,202	,588	,625
	Innerhalb der Gruppen	19,243	56	,344		
	Gesamt	19,849	59			

Sorte 'White Giant'**Tab. A47:** Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	19,431	5	3,886	9,361	,000
	Innerhalb der Gruppen	7,472	18	,415		
	Gesamt	26,903	23			
Gelbe Blätter	Zwischen den Gruppen	,205	4	,051	,425	,789
	Innerhalb der Gruppen	1,809	15	,121		
	Gesamt	2,014	19			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	8983,472	5	1796,694	12,624	,000
	Innerhalb der Gruppen	2561,917	18	142,329		
	Gesamt	11545,389	23			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	5193,829	5	1038,766	5,327	,004
	Innerhalb der Gruppen	3510,264	18	195,015		
	Gesamt	8704,093	23			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	203,228	5	40,646	3,218	,030
	Innerhalb der Gruppen	227,382	18	12,632		
	Gesamt	430,610	23			

Tab. A48: Varianztafel der Parameter „Bestandesentwicklung“, cv. `White Giant`, 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Grüne Blätter	Zwischen den Gruppen	1,431	3	,477	,033	,991
	Innerhalb der Gruppen	171,347	12	14,279		
	Gesamt	172,778	15			
Wuchshöhe	Zwischen den Gruppen	3384,625	3	1128,208	48,663	,000
	Innerhalb der Gruppen	278,208	12	23,184		
	Gesamt	3662,833	15			
Blattlänge	Zwischen den Gruppen	3578,769	3	1192,923	20,862	,000
	Innerhalb der Gruppen	686,174	12	57,181		
	Gesamt	4264,943	15			
Blattbreite	Zwischen den Gruppen	25,965	3	8,655	1,038	,411
	Innerhalb der Gruppen	100,028	12	8,336		
	Gesamt	125,993	15			

Tab. A49: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `White Giant`, 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Zwischen den Gruppen	7292,636	5	1458,527	17,774	,000
	Innerhalb der Gruppen	1230,918	15	82,061		
	Gesamt	8523,554	20			

* ges = Gesamt

Tab. A50: Varianztafel des Parameters Blattertrag – gesamt, cv. `White Giant`, 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_ges*	Zwischen den Gruppen	1164,932	3	388,311	79,523	,000
	Innerhalb der Gruppen	58,596	12	4,883		
	Gesamt	1223,528	15			

* ges = Gesamt

Tab. A51: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. `White Giant`, 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	89,168	5	17,834	5,123	,004
	Innerhalb der Gruppen	62,660	18	3,481		
	Gesamt	151,828	23			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A52: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Zwischen den Gruppen	108,818	3	36,273	6,909	,006
	Innerhalb der Gruppen	63,001	12	5,250		
	Gesamt	171,818	15			

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A53: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	21,447	5	4,289	1,583	,173
	Innerhalb der Gruppen	235,798	87	2,710		
	Gesamt	257,244	92			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	1,571	5	,314	1,005	,420
	Innerhalb der Gruppen	26,250	84	,313		
	Gesamt	27,821	89			

Tab. A54: Varianztafel der Parameter CCS und Flavonoide, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Zwischen den Gruppen	13,794	3	4,598	1,369	,261
	Innerhalb der Gruppen	198,149	59	3,358		
	Gesamt	211,943	62			
Flav_% TM	Zwischen den Gruppen	1,926	3	,642	1,940	,133
	Innerhalb der Gruppen	19,855	60	,331		
	Gesamt	21,781	63			

8.3.2. Wirkung von N-Form & N-Dosis

Tab. A55: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Wuchshöhe	1935,615 ^a	11	175,965	6,523	,000
	Blattlänge	3474,458 ^b	11	315,860	5,829	,000
	Blattbreite	398,615 ^c	11	36,238	3,967	,000
Konstanter Term	Wuchshöhe	101855,510	1	101855,510	3,776E ₃	,000
	Blattlänge	297260,042	1	297260,042	5,486E ₃	,000
	Blattbreite	40385,010	1	40385,010	4,421E ₃	,000
Nform	Wuchshöhe	290,531	3	96,844	3,590	,017
	Blattlänge	1316,208	3	438,736	8,097	,000
	Blattbreite	66,448	3	22,149	2,425	,071
Ndosis	Wuchshöhe	14,083	2	7,042	,261	,771
	Blattlänge	189,646	2	94,823	1,750	,180
	Blattbreite	149,333	2	74,667	8,173	,001
Nform * Ndosis	Wuchshöhe	1631,000	6	271,833	10,077	,000
	Blattlänge	1968,604	6	328,101	6,055	,000
	Blattbreite	182,833	6	30,472	3,336	,005
Fehler	Wuchshöhe	2265,875	84	26,975		
	Blattlänge	4551,500	84	54,185		
	Blattbreite	767,375	84	9,135		
Gesamt	Wuchshöhe	106057,000	96			
	Blattlänge	305286,000	96			
	Blattbreite	41551,000	96			
Korrigierte Gesamtvarianz	Wuchshöhe	4201,490	95			
	Blattlänge	8025,958	95			
	Blattbreite					

a R-Quadrat = ,461 (korrigiertes R-Quadrat = ,390)

b R-Quadrat = ,433 (korrigiertes R-Quadrat = ,359)

c R-Quadrat = ,342 (korrigiertes R-Quadrat = ,256)

Tab. A56: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Wuchshöhe	3042,504 ^a	11	276,591	11,407	,000
	Blattlänge	6637,036 ^b	11	603,367	8,674	,000
	Blattbreite	1034,132 ^c	11	94,012	5,478	,000
Konstanter Term	Wuchshöhe	42914,973	1	42914,973	1,770E ₃	,000
	Blattlänge	201715,911	1	201715,911	2,900E ₃	,000
	Blattbreite	45094,527	1	45094,527	2,627E ₃	,000
Nform	Wuchshöhe	2126,763	3	708,921	29,237	,000
	Blattlänge	3438,179	3	1146,060	16,477	,000
	Blattbreite	470,852	3	156,951	9,145	,000
Ndisis	Wuchshöhe	139,679	2	69,840	2,880	,062
	Blattlänge	821,114	2	410,557	5,902	,004
	Blattbreite	79,766	2	39,883	2,324	,104
Nform * Ndisis	Wuchshöhe	941,200	6	156,867	6,470	,000
	Blattlänge	3000,257	6	500,043	7,189	,000
	Blattbreite	587,630	6	97,938	5,706	,000
Fehler	Wuchshöhe	1964,012	81	24,247		
	Blattlänge	5634,125	81	69,557		
	Blattbreite	1390,190	81	17,163		
Gesamt	Wuchshöhe	49230,000	93			
	Blattlänge	220254,000	93			
	Blattbreite	48766,000	93			
Korrigierte Gesamtvarianz	Wuchshöhe	5006,516	92			
	Blattlänge	554,161	92			
	Blattbreite	2424,323	92			

a R-Quadrat = ,608 (korrigiertes R-Quadrat = ,390)

b R-Quadrat = ,541 (korrigiertes R-Quadrat = ,479)

c R-Quadrat = ,427 (korrigiertes R-Quadrat = ,349)

Tab. A57: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Wuchshöhe	563,320 ^a	10	56,332	6,013	,000
	Blattlänge	3223,782 ^b	10	322,378	10,169	,000
	Blattbreite	743,779 ^c	10	74,378	6,780	,000
Konstanter Term	Wuchshöhe	12602,122	1	12602,122	1,345E ³	,000
	Blattlänge	112220,149	1	112220,149	3,540E ³	,000
	Blattbreite	20466,835	1	20466,835	1,866E ³	,000
Nform	Wuchshöhe	281,134	3	93,711	10,002	,000
	Blattlänge	2108,491	3	702,830	22,170	,000
	Blattbreite	437,602	3	145,867	13,297	,000
Ndisis	Wuchshöhe	34,100	2	17,050	1,820	,170
	Blattlänge	499,366	2	249,683	7,876	,001
	Blattbreite	66,922	2	33,461	3,050	,054
Nform * Ndisis	Wuchshöhe	315,670	5	63,134	6,739	,000
	Blattlänge	1298,233	5	259,647	8,190	,000
	Blattbreite	342,407	5	68,481	6,243	,000
Fehler	Wuchshöhe	655,815	70	9,369		
	Blattlänge	2219,107	70	31,702		
	Blattbreite	767,875	70	10,970		
Gesamt	Wuchshöhe	16239,000	81			
	Blattlänge	139643,000	81			
	Blattbreite	25813,000	81			
Korrigierte Gesamtvarianz	Wuchshöhe	1219,136	80			
	Blattlänge	5442,889	80			
	Blattbreite	1511,654	80			

a R-Quadrat = ,462 (korrigiertes R-Quadrat = ,385)

b R-Quadrat = ,592 (korrigiertes R-Quadrat = ,534)

c R-Quadrat = ,492 (korrigiertes R-Quadrat = ,419)

Tab. A58: Varianztafel des Parameters Blattertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	5914,856(a)	11	537,714	27,642	,000
	Konstanter Term	54328,420	1	54328,420	2792,848	,000
	Nform	2042,207	3	680,736	34,994	,000
	Ndosis	2051,879	2	1025,939	52,740	,000
	Nform * Ndosis	1774,727	6	295,788	15,205	,000
	Fehler	1614,574	83	19,453		
	Gesamt	62046,802	95			
	Korrigierte Gesamtvariation	7529,429	94			

a R-Quadrat = ,786 (korrigiertes R-Quadrat = ,757)

Tab. A59: Varianztafel des Parameters Blattertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	4068,275(a)	11	369,843	11,832	,000
	Konstanter Term	20774,217	1	20774,217	664,621	,000
	Nform	2061,424	3	687,141	21,983	,000
	Ndosis	78,905	2	39,452	1,262	,289
	Nform * Ndosis	1948,938	6	324,823	10,392	,000
	Fehler	2531,836	81	31,257		
	Gesamt	28230,599	93			
	Korrigierte Gesamtvariation	6600,111	92			

a R-Quadrat = ,616 (korrigiertes R-Quadrat = ,564)

Tab. A60: Varianztafel des Parameters Blattertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	8388,778(a)	9	932,086	62,883	,000
	Konstanter Term	31357,248	1	31357,248	2115,499	,000
	Nform	4555,380	3	1518,460	102,442	,000
	Ndosis	1248,381	2	624,191	42,111	,000
	Nform * Ndosis	1854,173	4	463,543	31,273	,000
	Fehler	978,293	66	14,823		
	Gesamt	46164,126	76			
	Korrigierte Gesamtvariation	9367,072	75			

a R-Quadrat = ,896 (korrigiertes R-Quadrat = ,881)

Tab. A61: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Korrigiertes Modell	7426,005 ^a	12	618,834	6,577	,000
	Konstanter Term	120862,147	1	120862,147	1,285E ₃	,000
	Nform	2519,329	4	629,832	6,694	,000
	Ndosis	4107,267	2	2053,633	21,828	,000
	Nform * Ndosis	981,500	6	163,583	1,739	,121
	Fehler	8749,783	93	94,084		
	Gesamt	147852,165	106			
	Korrigierte Gesamtvariation	16175,788	105			

a R-Quadrat = ,459 (korrigiertes R-Quadrat = ,389)

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A62: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Korrigiertes Modell	6998,955 ^a	12	583,246	9,573	,000
	Konstanter Term	88843,430	1	88843,430	1,458E ₃	,000
	Nform	1910,347	4	477,587	7,839	,000
	Ndosis	3423,545	2	1711,773	28,096	,000
	Nform * Ndosis	1495,839	6	249,306	4,092	,001
	Fehler	5483,319	90	60,926		
	Gesamt	106639,960	103			
	Korrigierte Gesamtvariation	12482,274	102			

a R-Quadrat = ,561 (korrigiertes R-Quadrat = ,502)

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A63: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Korrigiertes Modell	6595,124 ^a	11	599,557	3,737	,000
	Konstanter Term	149338,375	1	149338,375	930,776	,000
	Nform	3280,403	4	820,101	5,111	,001
	Ndosis	1143,344	2	571,672	3,563	,033
	Nform * Ndosis	3385,022	5	677,004	4,220	,002
	Fehler	12675,161	79	160,445		
	Gesamt	211417,102	91			
	Korrigierte Gesamtvariation	19270,285	90			

a R-Quadrat = ,342 (korrigiertes R-Quadrat = ,251)

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A64: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	565,558(a)	11	51,414	5,039	,000
	Konstanter Term	9390,658	1	9390,658	920,306	,000
	Nform	86,060	3	28,687	2,811	,047
	Ndosis	355,284	2	177,642	17,409	,000
	Nform * Ndosis	124,213	6	20,702	2,029	,076
	Fehler	612,231	60	10,204		
	Gesamt	10568,446	72			
	Korrigierte Gesamtvariation	1177,788	71			

a R-Quadrat = ,480 (korrigiertes R-Quadrat = ,385)

Tab. A65: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	1394,285(a)	11	126,753	9,122	,000
	Konstanter Term	7381,832	1	7381,832	531,272	,000
	Nform	314,240	3	104,747	7,539	,000
	Ndosis	760,899	2	380,450	27,381	,000
	Nform * Ndosis	320,747	6	53,458	3,847	,002
	Fehler	1653,462	119	13,895		
	Gesamt	10383,092	131			
	Korrigierte Gesamtvariation	3047,748	130			

a R-Quadrat = ,457 (korrigiertes R-Quadrat = ,407)

Tab. A66: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	195,456(a)	10	19,546	6,602	,000
	Konstanter Term	903,715	1	903,715	305,272	,000
	Nform	105,656	3	35,219	11,897	,000
	Ndosis	63,154	2	31,577	10,667	,000
	Nform * Ndosis	29,388	5	5,878	1,985	,088
	Fehler	269,392	91	2,960		
	Gesamt	1417,838	102			
	Korrigierte Gesamtvariation	464,849	101			

a R-Quadrat = ,420 (korrigiertes R-Quadrat = ,357)

Tab. A67: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	12,851(a)	11	1,168	2,073	,036
	Konstanter Term	162,415	1	162,415	288,197	,000
	Nform	6,009	3	2,003	3,554	,019
	Ndosis	3,995	2	1,998	3,545	,035
	Nform * Ndosis	2,846	6	,474	,842	,543
	Fehler	33,813	60	,564		
	Gesamt	209,079	72			
	Korrigierte Gesamtvariation	46,664	71			

a R-Quadrat = ,275 (korrigiertes R-Quadrat = ,143)

Tab. A68: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	12,906(a)	11	1,173	3,638	,000
	Konstanter Term	161,112	1	161,112	499,583	,000
	Nform	1,334	3	,445	1,379	,253
	Ndosis	10,082	2	5,041	15,631	,000
	Nform * Ndosis	1,490	6	,248	,770	,595
	Fehler	38,699	120	,322		
	Gesamt	212,718	132			
	Korrigierte Gesamtvariation	51,605	131			

a R-Quadrat = ,250 (korrigiertes R-Quadrat = ,181)

Tab. A69: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2004.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	8,376(a)	10	,838	3,318	,001
	Konstanter Term	98,989	1	98,989	392,130	,000
	Nform	1,100	3	,367	1,452	,233
	Ndosis	5,980	2	2,990	11,845	,000
	Nform * Ndosis	2,235	5	,447	1,771	,127
	Fehler	23,224	92	,252		
	Gesamt	140,595	103			
	Korrigierte Gesamtvariation	31,600	102			

a R-Quadrat = ,265 (korrigiertes R-Quadrat = ,185)

8.3.3. Wirkung von N-Form & Wasserversorgung

Tab. A70: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Grüne Blätter	131,740 ^a	15	8,783	,679	,797
	Gelbe Blätter	6,573 ^b	15	,438	1,471	,137
	Wuchshöhe	450,073 ^c	15	30,005	1,012	,452
	Blattlänge	965,863 ^d	15	64,391	2,635	,003
	Blattbreite	54,777 ^e	15	3,652	1,414	,161
Konstanter Term	Grüne Blätter	10188,760	1	10188,760	787,918	,000
	Gelbe Blätter	304,594	1	304,594	1,022E3	,000
	Wuchshöhe	139766,344	1	139766,344	4,715E3	,000
	Blattlänge	213419,760	1	213419,760	8,735E3	,000
	Blattbreite	16811,627	1	16811,627	6,511E3	,000
Nform	Grüne Blätter	36,865	3	12,288	,950	,420
	Gelbe Blätter	,531	3	,177	,594	,620
	Wuchshöhe	4,510	3	1,503	,051	,985
	Blattlänge	808,999	3	269,666	11,037	,000
	Blattbreite	13,605	3	4,535	1,756	,162
Wasserversorgung	Grüne Blätter	47,615	3	15,872	1,227	,305
	Gelbe Blätter	1,365	3	,455	1,527	,214
	Wuchshöhe	238,635	3	79,545	2,683	,052
	Blattlänge	70,946	3	23,649	,968	,412
	Blattbreite	18,053	3	6,018	2,330	,081
Nform * Wasserversorgung	Grüne Blätter	47,260	9	5,251	,406	,928
	Gelbe Blätter	4,677	9	,520	1,744	,092
	Wuchshöhe	206,927	9	22,992	,776	,639
	Blattlänge	85,918	9	9,546	,391	,936
	Blattbreite	23,118	9	2,569	,995	,451
Fehler	Grüne Blätter	1034,500	80	12,931		
	Gelbe Blätter	23,833	80	,298		
	Wuchshöhe	2371,583	80	29,645		
	Blattlänge	1954,637	80	24,433		
	Blattbreite	206,577	80	2,582		
Gesamt	Grüne Blätter	11355,000	96			
	Gelbe Blätter	335,000	96			
	Wuchshöhe	142588,000	96			
	Blattlänge	216340,260	96			
	Blattbreite	17072,980	96			
Korrigierte Gesamtvariation	Grüne Blätter	1166,240	95			
	Gelbe Blätter	30,406	95			
	Wuchshöhe	2821,656	95			
	Blattlänge	2920,500	95			
	Blattbreite	261,353	95			

a R-Quadrat = ,113 (korrigiertes R-Quadrat = ,053)

b R-Quadrat = ,216 (korrigiertes R-Quadrat = ,069)

c R-Quadrat = ,160 (korrigiertes R-Quadrat = ,002)

d R-Quadrat = ,331 (korrigiertes R-Quadrat = ,205)

e R-Quadrat = ,210 (korrigiertes R-Quadrat = ,061)

Tab. A71: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Grüne Blätter	275,656 ^a	15	18,377	,497	,935
	Gelbe Blätter	31,323 ^b	15	2,088	,619	,851
	Wuchshöhe	548,000 ^c	15	36,533	,894	,574
	Blattlänge	926,446 ^d	15	61,763	2,100	,018
	Blattbreite	260,029 ^e	15	17,335	1,376	,179
Konstanter Term	Grüne Blätter	19923,844	1	19923,844	539,302	,000
	Gelbe Blätter	243,844	1	243,844	72,295	,000
	Wuchshöhe	171028,167	1	171028,167	4,184E3	,000
	Blattlänge	305135,326	1	305135,326	1,037E4	,000
	Blattbreite	31064,413	1	31064,413	2,467E3	,000
Nform	Grüne Blätter	46,698	3	15,566	,421	,738
	Gelbe Blätter	12,198	3	4,066	1,205	,313
	Wuchshöhe	81,125	3	27,042	,662	,578
	Blattlänge	144,643	3	48,214	1,639	,187
	Blattbreite	28,159	3	9,386	,745	,528
Wasserversorgung	Grüne Blätter	83,698	3	27,899	,755	,523
	Gelbe Blätter	6,365	3	2,122	,629	,598
	Wuchshöhe	226,729	3	75,576	1,849	,145
	Blattlänge	630,006	3	210,002	7,139	,000
	Blattbreite	60,904	3	20,301	1,612	,193
Nform * Wasserversorgung	Grüne Blätter	145,260	9	16,140	,437	,911
	Gelbe Blätter	12,760	9	1,418	,420	,921
	Wuchshöhe	240,146	9	26,683	,653	,749
	Blattlänge	151,797	9	16,866	,573	,815
	Blattbreite	170,966	9	18,996	1,508	,159
Fehler	Grüne Blätter	2955,500	80	36,944		
	Gelbe Blätter	269,833	80	3,373		
	Wuchshöhe	3270,333	80	40,879		
	Blattlänge	2353,398	80	29,417		
	Blattbreite	1007,508	80	12,594		
Gesamt	Grüne Blätter	23155,000	96			
	Gelbe Blätter	545,000	96			
	Wuchshöhe	174846,500	96			
	Blattlänge	308415,170	96			
	Blattbreite	32331,950	96			
Korrigierte Gesamtvariation	Grüne Blätter	3231,156	95			
	Gelbe Blätter	301,156	95			
	Wuchshöhe	3818,333	95			
	Blattlänge	3279,844	95			
	Blattbreite	1267,537	95			

a R-Quadrat = ,085 (korrigiertes R-Quadrat = -,086)

b R-Quadrat = ,104 (korrigiertes R-Quadrat = -,064)

c R-Quadrat = ,144 (korrigiertes R-Quadrat = -,017)

d R-Quadrat = ,282 (korrigiertes R-Quadrat = ,148)

e R-Quadrat = ,205 (korrigiertes R-Quadrat = ,056)

Tab. A72: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. `White Giant`, 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Grüne Blätter	643,358 ^a	15	42,891	1,516	,120
	Gelbe Blätter	27,572 ^b	15	1,838	,810	,664
	Wuchshöhe	3189,920 ^c	15	212,661	6,235	,000
	Blattlänge	1296,189 ^d	15	86,413	1,901	,035
	Blattbreite	290,148 ^e	15	19,343	,845	,626
Konstanter Term	Grüne Blätter	10619,918	1	10619,918	375,380	,000
	Gelbe Blätter	471,152	1	471,152	207,552	,000
	Wuchshöhe	69590,130	1	69590,130	2,040E3	,000
	Blattlänge	249075,508	1	249075,508	5,479E3	,000
	Blattbreite	33696,540	1	33696,540	1,472E3	,000
Nform	Grüne Blätter	240,854	3	80,285	2,838	,043
	Gelbe Blätter	1,668	3	,556	,245	,865
	Wuchshöhe	2643,524	3	881,175	25,835	,000
	Blattlänge	833,901	3	277,967	6,115	,001
	Blattbreite	132,069	3	44,023	1,924	,132
Wasserversorgung	Grüne Blätter	111,397	3	37,132	1,313	,276
	Gelbe Blätter	15,313	3	5,104	2,249	,089
	Wuchshöhe	86,479	3	28,826	,845	,473
	Blattlänge	33,380	3	11,127	,245	,865
	Blattbreite	74,655	3	24,885	1,087	,359
Nform * Wasserversorgung	Grüne Blätter	288,148	9	32,016	1,132	,351
	Gelbe Blätter	10,454	9	1,162	,512	,862
	Wuchshöhe	437,479	9	48,609	1,425	,192
	Blattlänge	401,809	9	44,645	,982	,461
	Blattbreite	80,561	9	8,951	,391	,936
Fehler	Grüne Blätter	2235,000	79	28,291		
	Gelbe Blätter	179,333	79	2,270		
	Wuchshöhe	2694,500	79	34,108		
	Blattlänge	3591,043	79	45,456		
	Blattbreite	1807,833	79	22,884		
Gesamt	Grüne Blätter	13595,000	95			
	Gelbe Blätter	680,000	95			
	Wuchshöhe	76076,770	95			
	Blattlänge	254764,420	95			
	Blattbreite	35923,400	95			
Korrigierte Gesamtvarianz	Grüne Blätter	2878,358	94			
	Gelbe Blätter	206,905	94			
	Wuchshöhe	5884,420	94			
	Blattlänge	4887,232	94			
	Blattbreite	2097,981	94			

a R-Quadrat = ,224 (korrigiertes R-Quadrat = ,076)

b R-Quadrat = ,133 (korrigiertes R-Quadrat = -,031)

c R-Quadrat = ,542 (korrigiertes R-Quadrat = ,455)

d R-Quadrat = ,265 (korrigiertes R-Quadrat = ,126)

e R-Quadrat = ,138 (korrigiertes R-Quadrat = -,025)

Tab. A73: Varianztafel des Parameters Blattertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	267,085(a)	15	17,806	2,880	,001
	Konstanter Term	39093,391	1	39093,391	6324,067	,000
	Wasserversorgung	192,276	3	64,092	10,368	,000
	Nform	41,618	3	13,873	2,244	,090
	Wasserversorgung * Nform	33,191	9	3,688	,597	,796
	Fehler	494,535	80	6,182		
	Gesamt	39855,011	96			
	Korrigierte Gesamtvariation	761,620	95			

a R-Quadrat = ,351 (korrigiertes R-Quadrat = ,229)

Tab. A74: Varianztafel des Parameters Blattertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	303,421(a)	15	20,228	1,484	,131
	Konstanter Term	50814,374	1	50814,374	3726,818	,000
	Wasserversorgung	215,473	3	71,824	5,268	,002
	Nform	36,534	3	12,178	,893	,448
	Wasserversorgung * Nform	51,414	9	5,713	,419	,921
	Fehler	1090,783	80	13,635		
	Gesamt	52208,578	96			
	Korrigierte Gesamtvariation	1394,204	95			

a R-Quadrat = ,218 (korrigiertes R-Quadrat = ,071)

Tab. A75: Varianztafel des Parameters Blattertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	6068,271(a)	15	404,551	25,036	,000
	Konstanter Term	45916,597	1	45916,597	2841,619	,000
	Wasserversorgung	178,509	3	59,503	3,682	,015
	Nform	5600,349	3	1866,783	115,529	,000
	Wasserversorgung * Nform	289,413	9	32,157	1,990	,051
	Fehler	1292,688	80	16,159		
	Gesamt	53277,556	96			
	Korrigierte Gesamtvariation	7360,959	95			

a R-Quadrat = ,824 (korrigiertes R-Quadrat = ,791)

Tab. A76: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Korrigiertes Modell	590,066 ^a	15	39,338	,331	,990
	Konstanter Term	311844,153	1	311844,153	2,624E ₃	,000
	Wasserversorgung	151,252	3	50,417	,424	,736
	Nform	79,701	3	26,567	,224	,880
	Wasserversorgung * Nform	359,112	9	39,901	,336	,960
	Fehler	9508,477	80	118,856		
	Gesamt	321942,696	96			
	Korrigierte Gesamtvariation	10098,543	95			

a R-Quadrat = ,058 (korrigiertes R-Quadrat = -,118)

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A77: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Korrigiertes Modell	2984,400 ^a	15	198,960	1,816	,046
	Konstanter Term	213125,174	1	213125,174	1,945E ₃	,000
	Wasserversorgung	1244,722	3	414,907	3,787	,014
	Nform	661,713	3	220,571	2,013	,119
	Wasserversorgung * Nform	1077,966	9	119,774	1,093	,377
	Fehler	8764,244	80	109,553		
	Gesamt	224873,818	96			
	Korrigierte Gesamtvariation	11748,644	95			

a R-Quadrat = ,254 (korrigiertes R-Quadrat = ,114)

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A78: Varianztafel des Parameters Chlorophyllindex, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCI*	Korrigiertes Modell	4611,365 ^a	15	307,424	3,567	,000
	Konstanter Term	126770,636	1	126770,636	1,471E ₃	,000
	Wasserversorgung	3113,412	3	1037,804	12,043	,000
	Nform	688,460	3	229,487	2,663	,054
	Wasserversorgung * Nform	809,493	9	89,944	1,044	,413
	Fehler	6893,979	80	86,175		
	Gesamt	138275,981	96			
	Korrigierte Gesamtvariation	11505,345	95			

a R-Quadrat = ,401 (korrigiertes R-Quadrat = ,288)

* Chlorophyll-Content-Index

Tab. A79: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. `White Giant`, 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	89,678(a)	15	5,979	3,248	,000
	Konstanter Term	2705,218	1	2705,218	1469,654	,000
	Nform	9,507	3	3,169	1,722	,170
	Wasserversorgung	75,167	3	25,056	13,612	,000
	Nform * Wasserversorgung	3,412	9	,379	,206	,993
	Fehler	136,213	74	1,841		
	Gesamt	2968,702	90			
	Korrigierte Gesamtvariation	225,892	89			

a R-Quadrat = ,397 (korrigiertes R-Quadrat = ,275)

Tab. A80: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. `White Giant`, 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	164,056(a)	15	10,937	4,073	,000
	Konstanter Term	3629,700	1	3629,700	1351,856	,000
	Nform	107,053	3	35,684	13,290	,000
	Wasserversorgung	51,439	3	17,146	6,386	,001
	Nform * Wasserversorgung	14,158	9	1,573	,586	,805
	Fehler	198,688	74	2,685		
	Gesamt	4043,381	90			
	Korrigierte Gesamtvariation	362,744	89			

a R-Quadrat = ,452 (korrigiertes R-Quadrat = ,341)

Tab. A81: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. `White Giant`, 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	304,912(a)	15	20,327	7,071	,000
	Konstanter Term	2172,280	1	2172,280	755,642	,000
	Nform	277,886	3	92,629	32,222	,000
	Wasserversorgung	4,411	3	1,470	,511	,676
	Nform * Wasserversorgung	23,485	9	2,609	,908	,523
	Fehler	218,481	76	2,875		
	Gesamt	2709,854	92			
	Korrigierte Gesamtvariation	523,393	91			

a R-Quadrat = ,583 (korrigiertes R-Quadrat = ,500)

Tab. A82: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	2,303(a)	15	,154	1,211	,286
	Konstanter Term	137,794	1	137,794	1086,835	,000
	Nform	,290	3	,097	,763	,519
	Wasserversorgung	1,211	3	,404	3,184	,029
	Nform * Wasserversorgung	,691	9	,077	,605	,788
	Fehler	8,495	67	,127		
	Gesamt	155,941	83			
	Korrigierte Gesamtvariation	10,798	82			

a R-Quadrat = ,213 (korrigiertes R-Quadrat = ,037)

Tab. A83: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	1,992(a)	15	,133	1,833	,045
	Konstanter Term	173,686	1	173,686	2396,642	,000
	Nform	,529	3	,176	2,432	,072
	Wasserversorgung	,844	3	,281	3,882	,012
	Nform * Wasserversorgung	,639	9	,071	,979	,464
	Fehler	5,508	76	,072		
	Gesamt	182,101	92			
	Korrigierte Gesamtvariation	7,500	91			

a R-Quadrat = ,266 (korrigiertes R-Quadrat = ,121)

Tab. A84: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	4,179(a)	15	,279	2,838	,002
	Konstanter Term	92,481	1	92,481	941,969	,000
	Nform	1,135	3	,378	3,853	,013
	Wasserversorgung	,496	3	,165	1,684	,179
	Nform * Wasserversorgung	2,666	9	,296	3,017	,005
	Fehler	6,283	64	,098		
	Gesamt	108,219	80			
	Korrigierte Gesamtvariation	10,463	79			

a R-Quadrat = ,399 (korrigiertes R-Quadrat = ,259)

8.3.4. Wirkung von Tageslänge und Temperatur

Tab. A85: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Blattanzahl	169,333 ^a	5	33,867	1,070	,397
	Wuchshöhe	214,889 ^b	5	42,978	1,072	,396
	Blattlänge	380,722 ^c	5	76,144	2,304	,069
	Blattbreite	39,118 ^d	5	7,824	1,720	,160
Konstanter Term	Blattanzahl	7225,000	1	7225,000	228,238	,000
	Wuchshöhe	34658,028	1	34658,028	864,230	,000
	Blattlänge	100277,778	1	100277,778	3,034E3	,000
	Blattbreite	13786,674	1	13786,674	3,031E3	,000
tageslänge	Blattanzahl	68,667	2	34,333	1,085	,351
	Wuchshöhe	26,722	2	13,361	,333	,719
	Blattlänge	319,181	2	159,590	4,829	,015
	Blattbreite	37,514	2	18,757	4,124	,026
temp	Blattanzahl	28,444	1	28,444	,899	,351
	Wuchshöhe	128,444	1	128,444	3,203	,084
	Blattlänge	4,694	1	4,694	,142	,709
	Blattbreite	,062	1	,062	,014	,907
tageslänge * temp	Blattanzahl	72,222	2	36,111	1,141	,333
	Wuchshöhe	59,722	2	29,861	,745	,483
	Blattlänge	56,847	2	28,424	,860	,433
	Blattbreite	1,542	2	,771	,169	,845
Fehler	Blattanzahl	949,667	30	31,656		
	Wuchshöhe	1203,083	30	40,103		
	Blattlänge	991,500	30	33,050		
	Blattbreite	136,458	30	4,549		
Gesamt	Blattanzahl	8344,000	36			
	Wuchshöhe	36076,000	36			
	Blattlänge	101650,000	36			
	Blattbreite	13962,250	36			
Korrigierte Gesamtvariation	Blattanzahl	1119,000	35			
	Wuchshöhe	1417,972	35			
	Blattlänge	1372,222	35			
	Blattbreite	175,576	35			

a R-Quadrat = ,151 (korrigiertes R-Quadrat = ,010)

b R-Quadrat = ,152 (korrigiertes R-Quadrat = ,010)

c R-Quadrat = ,277 (korrigiertes R-Quadrat = ,157)

d R-Quadrat = ,223 (korrigiertes R-Quadrat = ,093)

Tab. A86: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Blattanzahl	26,917 ^a	5	5,383	,940	,470
	Wuchshöhe	61,306 ^b	5	12,261	,818	,546
	Blattlänge	216,118 ^c	5	43,224	1,090	,386
	Blattbreite	49,951 ^d	5	9,990	,938	,471
Konstanter Term	Blattanzahl	3540,250	1	3540,250	618,084	,000
	Wuchshöhe	23818,778	1	23818,778	1,590E3	,000
	Blattlänge	125611,174	1	125611,174	3,168E3	,000
	Blattbreite	24050,840	1	24050,840	2,259E3	,000
tageslänge	Blattanzahl	15,167	2	7,583	1,324	,281
	Wuchshöhe	28,389	2	14,194	,948	,399
	Blattlänge	80,014	2	40,007	1,009	,377
	Blattbreite	41,722	2	20,861	1,959	,159
temp	Blattanzahl	8,028	1	8,028	1,402	,246
	Wuchshöhe	23,361	1	23,361	1,559	,221
	Blattlänge	134,174	1	134,174	3,384	,076
	Blattbreite	,007	1	,007	,001	,980
tageslänge * temp	Blattanzahl	3,722	2	1,861	,325	,725
	Wuchshöhe	9,556	2	4,778	,319	,729
	Blattlänge	1,931	2	,965	,024	,976
	Blattbreite	8,222	2	4,111	,386	,683
Fehler	Blattanzahl	171,833	30	5,728		
	Wuchshöhe	449,417	30	14,981		
	Blattlänge	1189,458	30	39,649		
	Blattbreite	319,458	30	10,649		
Gesamt	Blattanzahl	3739,000	36			
	Wuchshöhe	24329,500	36			
	Blattlänge	127016,750	36			
	Blattbreite	24420,250	36			
Korrigierte Gesamtvariation	Blattanzahl	198,750	35			
	Wuchshöhe	510,722	35			
	Blattlänge	1405,576	35			
	Blattbreite	369,410	35			

a R-Quadrat = ,135 (korrigiertes R-Quadrat = -,009)

b R-Quadrat = ,120 (korrigiertes R-Quadrat = -,027)

c R-Quadrat = ,154 (korrigiertes R-Quadrat = ,013)

d R-Quadrat = ,135 (korrigiertes R-Quadrat = -,009)

Tab. A87: Varianztafel des Parameters „Bestandesentwicklung“, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

Quelle	abhängige Variable	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	Blattanzahl	55,667 ^a	5	11,133	3,617	,011
	Wuchshöhe	160,201 ^b	5	32,040	2,239	,076
	Blattlänge	255,535 ^c	5	51,107	1,666	,173
	Blattbreite	30,485 ^d	5	6,097	1,081	,391
Konstanter Term	Blattanzahl	3364,000	1	3364,000	1,093E3	,000
	Wuchshöhe	10798,674	1	10798,674	754,492	,000
	Blattlänge	82704,174	1	82704,174	2,697E3	,000
	Blattbreite	15930,647	1	15930,647	2,824E3	,000
tageslänge	Blattanzahl	32,667	2	16,333	5,307	,011
	Wuchshöhe	120,514	2	60,257	4,210	,024
	Blattlänge	123,847	2	61,924	2,019	,150
	Blattbreite	4,736	2	2,368	,420	,661
temp	Blattanzahl	2,778	1	2,778	,903	,350
	Wuchshöhe	,007	1	,007	,000	,983
	Blattlänge	101,674	1	101,674	3,315	,079
	Blattbreite	3,803	1	3,803	,674	,418
tageslänge * temp	Blattanzahl	20,222	2	10,111	3,285	,051
	Wuchshöhe	39,681	2	19,840	1,386	,266
	Blattlänge	30,014	2	15,007	,489	,618
	Blattbreite	21,947	2	10,973	1,945	,161
Fehler	Blattanzahl	92,333	30	3,078		
	Wuchshöhe	429,375	30	14,312		
	Blattlänge	920,042	30	30,668		
	Blattbreite	169,258	30	5,642		
Gesamt	Blattanzahl	3512,000	36			
	Wuchshöhe	11388,250	36			
	Blattlänge	83879,750	36			
	Blattbreite	16130,390	36			
Korrigierte Gesamtvariation	Blattanzahl	148,000	35			
	Wuchshöhe	589,576	35			
	Blattlänge	1175,576	35			
	Blattbreite	199,743	35			

a R-Quadrat = ,376 (korrigiertes R-Quadrat = ,272)

b R-Quadrat = ,272 (korrigiertes R-Quadrat = ,150)

c R-Quadrat = ,217 (korrigiertes R-Quadrat = ,087)

d R-Quadrat = ,153 (korrigiertes R-Quadrat = ,011)

Tab. A88: Varianztafel des Parameters Drogenertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	29,132 ^a	5	5,826	,457	,805
	Konstanter Term	28703,858	1	28703,858	2,252E3	,000
	tageslänge	13,464	2	6,732	,528	,595
	temp	9,489	1	9,489	,745	,395
	tageslänge * temp	6,178	2	3,089	,242	,786
	Fehler	382,336	30	12,745		
	Gesamt	29115,325	36			
	Korrigierte Gesamtvariation	411,468	35			

a R-Quadrat = ,071 (korrigiertes R-Quadrat = -,084)

Tab. A89: Varianztafel des Parameters Drogenertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	10,390 ^a	5	2,078	1,446	,237
	Konstanter Term	14008,836	1	14008,836	9,748E3	,000
	tageslänge	4,237	2	2,118	1,474	,245
	temp	,196	1	,196	,136	,714
	tageslänge * temp	5,957	2	2,979	2,073	,143
	Fehler	43,111	30	1,437		
	Gesamt	14062,337	36			
	Korrigierte Gesamtvariation	53,501	35			

a R-Quadrat = ,194 (korrigiertes R-Quadrat = ,060)

Tab. A90: Varianztafel des Parameters Drogenertrag – grüne Rosettenblätter, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
TM_Grün	Korrigiertes Modell	60,183 ^a	5	12,037	2,524	,051
	Konstanter Term	9820,568	1	9820,568	2,059E3	,000
	tageslänge	42,887	2	21,443	4,496	,020
	temp	9,154	1	9,154	1,919	,176
	tageslänge * temp	8,142	2	4,071	,853	,436
	Fehler	143,087	30	4,770		
	Gesamt	10023,837	36			
	Korrigierte Gesamtvariation	203,270	35			

a R-Quadrat = ,296 (korrigiertes R-Quadrat = ,179)

Tab. A91: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	101,858 ^a	5	20,372	5,667	,001
	Konstanter Term	1924,498	1	1924,498	535,359	,000
	tageslänge	82,040	2	41,020	11,411	,000
	temp	,068	1	,068	,019	,892
	tageslänge * temp	18,099	2	9,049	2,517	,098
	Fehler	104,249	29	3,595		
	Gesamt	2153,558	35			
	Korrigierte Gesamtvariation	206,106	34			

a R-Quadrat = ,494 (korrigiertes R-Quadrat = ,407)

Tab. A92: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	41,781 ^a	5	8,356	6,648	,000
	Konstanter Term	805,918	1	805,918	641,202	,000
	tageslänge	30,920	2	15,460	12,300	,000
	temp	2,684	1	2,684	2,135	,154
	tageslänge * temp	8,178	2	4,089	3,253	,053
	Fehler	37,707	30	1,257		
	Gesamt	885,406	36			
	Korrigierte Gesamtvariation	79,488	35			

a R-Quadrat = ,526 (korrigiertes R-Quadrat = ,447)

Tab. A93: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	6,317 ^a	2	3,159	8,795	,004
	Konstanter Term	84,509	1	84,509	235,316	,000
	tageslänge	4,666	1	4,666	12,991	,004
	temp	,001	1	,001	,003	,957
	tageslänge * temp	,000	0	.	.	.
	Fehler	4,310	12	,359		
	Gesamt	95,381	15			
	Korrigierte Gesamtvariation	10,627	14			

a R-Quadrat = ,594 (korrigiertes R-Quadrat = ,527)

Tab. A94: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 1. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	1,023 ^a	5	,205	12,369	,000
	Konstanter Term	2,854	1	2,854	172,595	,000
	tageslänge	,786	2	,393	23,777	,000
	temp	,062	1	,062	3,746	,063
	tageslänge * temp	,169	2	,085	5,115	,013
	Fehler	,480	29	,017		
	Gesamt	4,422	35			
	Korrigierte Gesamtvariation	1,502	34			

a R-Quadrat = ,681 (korrigiertes R-Quadrat = ,626)

Tab. A95: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 2. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	,249 ^a	5	,050	4,342	,005
	Konstanter Term	,777	1	,777	67,793	,000
	tageslänge	,242	2	,121	10,552	,000
	temp	,005	1	,005	,438	,514
	tageslänge * temp	,009	2	,005	,407	,670
	Fehler	,298	26	,011		
	Gesamt	1,443	32			
	Korrigierte Gesamtvariation	,547	31			

a R-Quadrat = ,455 (korrigiertes R-Quadrat = ,350)

Tab. A96: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamtflavonoidgehalt, cv. 'White Giant', 3. Schnitt, Rauschholzhausen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	,024 ^a	2	,012	1,523	,304
	Konstanter Term	,050	1	,050	6,315	,054
	tageslänge	,017	1	,017	2,139	,203
	temp	,021	1	,021	2,689	,162
	tageslänge * temp	,000	0	.	.	.
	Fehler	,040	5	,008		
	Gesamt	,124	8			
	Korrigierte Gesamtvariation	,064	7			

a R-Quadrat = ,379 (korrigiertes R-Quadrat = ,130)

8.3.5. Wirkstoffsynthese im Tagesverlauf

Tab. A97: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. `White Giant`, 1. Schnitt, Gießen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	1,283 ^a	6	,214	5,055	,002
	Konstanter Term	207,809	1	207,809	4,913E ₃	,000
	var	1,283	6	,214	5,055	,002
	Fehler	,888	21	,042		
	Gesamt	209,980	28			
	Korrigierte Gesamtvariation	2,171	27			

a R-Quadrat = ,591 (korrigiertes R-Quadrat = ,474)

Tab. A98: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. `White Giant`, 2. Schnitt, Gießen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	5,449 ^a	6	,908	15,289	,000
	Konstanter Term	47,554	1	47,554	800,561	,000
	var	5,449	6	,908	15,289	,000
	Fehler	1,247	21	,059		
	Gesamt	54,251	28			
	Korrigierte Gesamtvariation	6,697	27			

a R-Quadrat = ,814 (korrigiertes R-Quadrat = ,761)

Tab. A99: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt – Gesamt-CCS-Gehalt, cv. `White Giant`, 3. Schnitt, Gießen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
CCS_% TM	Korrigiertes Modell	,560 ^a	6	,093	1,934	,122
	Konstanter Term	67,239	1	67,239	1,394E ₃	,000
	var	,560	6	,093	1,934	,122
	Fehler	1,013	21	,048		
	Gesamt	68,811	28			
	Korrigierte Gesamtvariation	1,572	27			

a R-Quadrat = ,356 (korrigiertes R-Quadrat = ,172)

Tab. A100: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt –
Gesamtflavonoidgehalt, cv. `White Giant`, 1. Schnitt, Gießen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	,308 ^a	6	,051	1,889	,130
	Konstanter Term	30,765	1	30,765	1,130E3	,000
	var	,308	6	,051	1,889	,130
	Fehler	,572	21	,027		
	Gesamt	31,645	28			
	Korrigierte Gesamtvariation	,880	27			

a R-Quadrat = ,350 (korrigiertes R-Quadrat = ,165)

Tab. A101: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt –
Gesamtflavonoidgehalt, cv. `White Giant`, 2. Schnitt, Gießen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	,489 ^a	6	,081	4,832	,003
	Konstanter Term	6,461	1	6,461	383,079	,000
	var	,489	6	,081	4,832	,003
	Fehler	,354	21	,017		
	Gesamt	7,304	28			
	Korrigierte Gesamtvariation	,843	27			

a R-Quadrat = ,580 (korrigiertes R-Quadrat = ,460)

Tab. A102: Varianztafel des Parameters Wirkstoffgehalt –
Gesamtflavonoidgehalt, cv. `White Giant`, 3. Schnitt, Gießen 2005.

	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Flav_% TM	Korrigiertes Modell	,053 ^a	6	,009	,326	,916
	Konstanter Term	25,137	1	25,137	937,247	,000
	var	,053	6	,009	,326	,916
	Fehler	,563	21	,027		
	Gesamt	25,753	28			
	Korrigierte Gesamtvariation	,616	27			

a R-Quadrat = ,085 (korrigiertes R-Quadrat = -,176)