



Institut für Gartenbau
Departement für Nutzpflanzenwissenschaften
Universität für Bodenkultur Wien

Masterarbeit

**Qualität und ernährungsphysiologischer Wert von Artischockenblüten in
Abhängigkeit von Sorte und Verarbeitungsart**

gestellt von:

Keutgen Anna, Uni.-Prof. Dipl.-Ing. sc. agr. Dr. hab. Dr. sc. agr.
Keutgen Norbert, Priv.-Doz. Dr.

Maurus Wüllner

Wien, März 2020

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift

Qualität und ernährungsphysiologischer Wert von Artischockenblüten in Abhängigkeit von Sorte und Verarbeitungsart

Maurus Wüllner

Zusammenfassung

Der Anbau von Artischocken in Österreich auf derzeit nur wenigen Flächen zeigt noch großes Wachstumspotential. Das trockene, kontinentale Klima des Pannonikums mit kalten Wintern ist theoretisch nicht optimal für den Anbau von Artischocken. Jedoch zeigt die Auswertung der Inhaltsstoffe der in Jedlersdorf in den Jahren 2017, 2018 und 2019 angebauten Artischocken, dass diese im Vergleich ihrer sekundären Inhaltsstoffe ähnliche Messwerte wie Artischocken aus der Literatur erzielen. Speziell der Chlorogensäuregehalt der Artischocken aus Jedlersdorf übertrifft zum Teil sogar jene von Artischocken aus den Ländern, in denen Artischocken traditionell angebaut werden, wie Italien und Griechenland. Um klare Sortenunterschiede und Anbauempfehlungen für Artischocken-Sorten im Pannonikum abzugeben, sind allerdings noch weitere Nachforschungen notwendig.

Quality and nutritional value of artichoke buds depending on variety and kind of processing

Maurus Wüllner

Abstract

The cultivation of globe artichokes in Austria with currently only a few areas shows a great potential for an expansion. Although the dry continental climate of the Pannonian region with cold winters is not optimal for the cultivation of globe artichokes in theory, this master thesis shows that the globe artichokes from Jedlersdorf, Vienna are at least comparable to artichoke trials in traditional cultivating countries like Italy or Greece regarding their composition of secondary metabolites. Especially the chlorogenic acid content of the artichokes from Jedlersdorf exceeds similar trials from the mediterranean region. In order to ascertain varietal differences and develop cultivation recommendations for artichoke varieties in the Pannonian region, more research is needed.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die es mir möglich gemacht haben, diese Masterarbeit zu erstellen und mich währenddessen begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt Múge Demirađ, die mich unterstützt, be- und gestärkt hat. Gleichmaßen möchte ich meinen Eltern sowie meiner Familie in Europa und außerhalb danken, dass Sie mir halfen Antworten auf Herausforderungen zu finden und mich dabei unterstützten, diese zu artikulieren oder mit meinen Antworten zu warten, wenn der Moment unpassend war.

Meine drei Geschwister sind mir Vorbilder – jede*R auf seine*Ihre eigene Art.

Frau Univ. Prof. Anna Keutgen und Herrn Dr. Norbert Keutgen möchte ich für ihre offene, engagierte, aber auch präzise Betreuung der Masterarbeit danken. Ohne die richtigen Anstöße zur richtigen Zeit wäre es ein bedeutend schwierigeres Unterfangen gewesen, diese Masterarbeit zu Artischocken auszuarbeiten und zu verfassen. Ebenso gab es niemanden am Institut für Gartenbau der BOKU, der mich nicht hilfsbereit und aufmerksam unterstützte, die Analysen durchzuführen. In solch einem Umfeld fällt einem das Arbeiten leicht!

Inhaltsverzeichnis	III
Eidesstaatliche Erklärung	III
Zusammenfassung	IV
Abstract	V
Danksagung	VI
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	X
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	4
2.1 Botanische Herkunft und Merkmale der Artischocke	4
2.2 Anbau der Artischocke	6
2.3 Artischocken-Knospe – Morphologie und Inhaltsstoffe	10
3 Material und Methoden	22
3.1 Feldversuch und Pflanzenmaterial.....	22
3.2 Klima	23
3.3 Lagerung der geernteten Artischocken-Knospen, Extraktion mit Ethanol und Wasser	25
3.4 Nitrat.....	26
3.5 Reduzierende Zucker	27
3.6 Chlorophyll und Gesamtcarotinoid-Messung	27
3.7 Chlorogensäure-Gehalt.....	28
3.8 Gesamtflavonoide	28
3.9 Gesamtphenole.....	29
3.10 Antioxidative Kapazität.....	29
3.11 Statistische Analyse	30

4	Ergebnisse	32
4.1	Sortenunterschiede über 3 Jahre	32
4.2	Jahreseffekte	35
4.3	Korrelationsanalyse der Jahre 2017, 2018 und 2019	38
5	Diskussion	40
6	Schlussfolgerung	51
7	Quellenverzeichnisse	52
7.1	Literaturverzeichnis	52
7.2	Internetquellen	60
8	Anhang	62
8.1	Sorten-Messwerte der einzelnen Jahre	62
8.2	Ranking-Tabellen der Ergebnisse	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Flavonsyntheseweg, Darstellung modifiziert nach Pandino et al. (2011b)	20
Abbildung 3.1 Summe der monatlichen Niederschläge (mm) und mittlere Temperatur (°C) während der Vegetationsperiode und dem Winter 2018 und 2019 in Jedlersdorf, Wien in den Jahren 2017, 2018 und 2019 nach MA23 (2019)	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Die vier Artischocken-Varietäten mit ihren Eigenschaften (modifiziert nach Portis et al. 2005 und Ciancolini 2012).....	5
Tabelle 2.2 Zusammensetzung von Artischocken-Capitula: Anorganische Bestandteile und Vitamine (modifiziert nach Ruíz-Cano et al. 2014).....	11
Tabelle 3.1 Wetterdaten Jedlersdorf, Wien nach MA23 (2019).....	25
Tabelle 4.1 Sortenunterschiede in den Chlorophyll- und Carotenoidgehalten der 6 Sorten über drei Jahre gemittelt. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede an.	33
Tabelle 4.2 Sortenunterschiede in den Gehalten von Nitrat, Reduzierenden Zuckern, Chlorogensäure, Gesamtflavonoiden, Gesamtphenolen und der Antioxidativen Kapazität in 6 Sorten über 3 Jahre gemittelt. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede an.	34
Tabelle 4.3 Jahreseffekte der Chlorophyll- und Gesamtcarotinoidgehalte in drei Versuchsjahren über alle Artischockensorten gemittelt.....	36
Tabelle 4.4 Jahreseffekte der Gehalte von Nitrat, reduzierenden Zuckern, Chlorogensäure, Gesamtflavonoiden, Gesamtphenolen und der Antioxidativen Kapazität in drei Versuchsjahren über alle Artischockensorten gemittelt.....	37
Tabelle 4.5 Korrelationen der Messergebnisse der Inhaltsstoffe der jeweiligen Artischocken-Sorten aus Jedlersdorf nach Pearson-Korrelationskoeffizient für die Jahre 2017, 2018 und 2019.....	39
Tabelle 5.1 Chlorogensäuregehalte aus der Literatur im Vergleich zu den in dieser Masterarbeit gemessenen Werten (nur gleiche Sorten).....	43
Tabelle 8.1 Nitrat-Gehalte in mg kg^{-1} TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019.....	62
Tabelle 8.2 Reduzierende Zucker-Gehalte in mg kg^{-1} TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019.....	63
Tabelle 8.3 Chlorophyll a-Gehalte in mg kg^{-1} TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019 .	64
Tabelle 8.4 Chlorophyll b-Gehalte in mg kg^{-1} TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019 .	65
Tabelle 8.5 Gesamtchlorophyll-Gehalte in mg kg^{-1} TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019	66

Tabelle 8.6 Gesamtcarotinoid-Gehalte in mg kg ⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019	67
Tabelle 8.7 Chlorogensäure-Gehalte in g kg ⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019	68
Tabelle 8.8 Gesamtflavonoid-Gehalte in g kg ⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019	69
Tabelle 8.9 Gesamtphenol-Gehalte in g kg ⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019..	70
Tabelle 8.10 Antioxidativen Kapazität in Fe ⁺ mM kg ⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019.....	71
Tabelle 8.11 Ranking der Nitrat-Gehalte 2017 in mg kg ⁻¹ TM	72
Tabelle 8.12 Ranking der Nitrat-Gehalte 2018 in mg kg ⁻¹ TM	72
Tabelle 8.13 Ranking der Nitrat-Gehalte 2019 in mg kg ⁻¹ TM	72
Tabelle 8.14 Ranking der Reduzierende Zucker -Gehalte 2017 in mg kg ⁻¹ TM	73
Tabelle 8.15 Ranking der Reduzierende Zucker -Gehalte 2018 in mg kg ⁻¹ TM	73
Tabelle 8.16 Ranking der Reduzierende Zucker -Gehalte 2019 in mg kg ⁻¹ TM	73
Tabelle 8.17 Ranking der Chlorophyll a-Gehalte 2017 in mg kg ⁻¹ TM.....	74
Tabelle 8.18 Ranking der Chlorophyll a-Gehalte 2018 in mg kg ⁻¹ TM.....	74
Tabelle 8.19 Ranking der Chlorophyll a-Gehalte 2019 in mg kg ⁻¹ TM.....	75
Tabelle 8.20 Ranking der Chlorophyll b-Gehalte 2017 in mg kg ⁻¹ TM.....	75
Tabelle 8.21 Ranking der Chlorophyll b-Gehalte 2018 in mg kg ⁻¹ TM.....	76
Tabelle 8.22 Ranking der Chlorophyll b-Gehalte 2019 in mg kg ⁻¹ TM.....	76
Tabelle 8.23 Ranking der Gesamtchlorophyll-Gehalte 2017 in mg kg ⁻¹ TM.....	76
Tabelle 8.24 Ranking der Gesamtchlorophyll-Gehalte 2018 in mg kg ⁻¹ TM.....	77
Tabelle 8.25 Ranking der Gesamtchlorophyll-Gehalte 2019 in mg kg ⁻¹ TM.....	77
Tabelle 8.26 Ranking der Gesamtcarotinoid-Gehalte 2017 in mg kg ⁻¹ TM	77
Tabelle 8.27 Ranking der Gesamtcarotinoid-Gehalte 2018 in mg kg ⁻¹ TM	78
Tabelle 8.28 Ranking der Gesamtcarotinoid-Gehalte 2019 in mg kg ⁻¹ TM	78
Tabelle 8.29 Ranking der Chlorogensäure-Gehalte 2017 in g kg ⁻¹ TM	79
Tabelle 8.30 Ranking der Chlorogensäure-Gehalte 2018 in g kg ⁻¹ TM	79
Tabelle 8.31 Ranking der Chlorogensäure-Gehalte 2019 in g kg ⁻¹ TM	79
Tabelle 8.32 Ranking der Gesamtflavonoid-Gehalte 2017 in g kg ⁻¹ TM.....	80
Tabelle 8.33 Ranking der Gesamtflavonoid-Gehalte 2018 in g kg ⁻¹ TM.....	80

Tabelle 8.34 Ranking der Gesamtflavonoid-Gehalte 2019 in g kg^{-1} TM.....	80
Tabelle 8.35 Ranking der Gesamtphenol-Gehalte 2017 in g kg^{-1} TM	81
Tabelle 8.36 Ranking der Gesamtphenol-Gehalte 2018 in g kg^{-1} TM	81
Tabelle 8.37 Ranking der Gesamtphenol-Gehalte 2019 in g kg^{-1} TM	81
Tabelle 8.38 Ranking der Antioxidativen Kapazität 2017 in Fe^+ mM kg^{-1} TM	82
Tabelle 8.39 Ranking der Antioxidativen Kapazität 2018 in Fe^+ mM kg^{-1} TM	82
Tabelle 8.40 Ranking der Antioxidativen Kapazität 2019 in Fe^+ mM kg^{-1} TM	82

1 Einleitung

Artischocken sind ein weltweit angebautes Gemüse mit einem Schwerpunkt im Anbau und in der Anbautradition rund um das Mittelmeer (FAO 2019, Sonnante et al. 2007). Die schon seit mehr als 4000 Jahren kultivierte Pflanze wird jedoch nicht nur in den mediterranen Ursprungsländern ihres Anbaus verarbeitet und verzehrt, sondern erfreut sich auch in Mitteleuropa wachsender Beliebtheit (Sonnante et al. 2007). Anders als bei vielen anderen Gemüsesorten werden die Knospen der Artischocken verzehrt. Die Blätter können aber auch als Extrakte verwertet werden (Göttmann 2006). Das distelartige Gewächs ist vielseitig nutzbar: zum Verzehr werden Artischocken in der mediterranen Küche oft zum Apéritif zubereitet, andererseits gibt es auch Hauptspeisen aus Artischocken (Gostin & Waisundara 2019). Viele dieser Gerichte kommen aus dem Hauptanbauland Italien. Das saisonale Gemüse wird vor allem frisch verzehrt, da es zu einer schnellen Verbräunung neigt und sich so die langfristige Konservierung schwierig gestaltet (Pandino et al. 2017). Artischocken finden aber auch als Extrakt in der Medizin Verwendung, wie zum Beispiel in Therapien gegen Fettleibigkeit und bei Verdauungsbeschwerden (Mahboubi 2018). Die Wirkung von Artischocken auf den menschlichen Körper wird in zahlreichen Quellen als mindestens hepaprotektiv, Cholesteroll-regulierend und entzündungshemmend beschrieben (Rondanelli et al. 2013, Tanaka et al. 2013). Einen großen Anteil an diesen beschriebenen Vorteilen hat der vor allem im Vergleich zu anderen Gemüsearten sehr hohe Phenol-Anteil mit dem Hauptphenol Chlorogensäure (Brat et al. 2006, Fratianni et al. 2007). Außerdem haben Artischocken einen hohen Wasseranteil, kaum Fette und Proteine, sowie für den Menschen nur schwer zerkleinerbare Kohlenhydrate in der Form von hauptsächlich Inulin (Ruíz-Cano et al. 2014).

In Österreich sind Artischocken bisher allerdings nur in sehr begrenztem Umfang angebaut worden. Artischocken sind in Österreich auf so wenigen Hektar zu finden, dass diese nicht in den aktuellen FAO-Statistiken angeführt werden (FAO 2019). Von den Anbaubedingungen her liegt man im österreichischen Trockenklima des Pannonikums jedoch gar nicht so weit weg vom eigentlichen Wachstumsoptimum der Artischocke, das sich grob mit dem mediterranen Klima mit eher trockenen, warmen Sommern und milden, feuchten Wintern beschreiben lässt. Anbauprobleme sollte es für Artischocken, zumal

Bewässerungsmöglichkeiten gegeben sind, in Österreich nur aufgrund von Temperaturen im Winter von unter 0 °C geben (Wohneberger et al. 2004). Artischocken überstehen Temperaturen unter -4 °C nicht (Weinheimer et al. 2014), es sei denn, es werden Maßnahmen zum Frostschutz ergriffen. Für die in dieser Masterarbeit analysierten Artischocken wurden im Winter 2018/2019 Anbauvarianten gemulcht und per Vlies abgedeckt oder hochgebunden und der Boden mit Reisig bzw. Stroh abgedeckt. Die Frostempfindlichkeit der Artischocken ist deshalb problematisch, da Artischocken mehrjährige Pflanzen von bis zu fünf Jahren Standzeit auf dem Feld sind und Ertragsmaxima erst nach dem zweiten Anbaujahr erreicht werden (Petropoulos et al. 2018). Die Herausforderungen des Anbaus von Artischocken sind dieser Masterarbeit allerdings vorgelagert und werden in einer anderen wissenschaftlichen Arbeit des Instituts für Gartenbau der BOKU Wien behandelt.

In dieser Masterarbeit soll es um die Ergebnisse eines in drei Jahren durchgeführten Anbaus von 10 verschiedener Artischockensorten auf dem Gelände der BOKU Wien bei Jedlersdorf gehen. Es werden die Inhaltsstoffe von Artischocken-Knospen aus den Jahren 2017, 2018 und 2019 auf Sortenunterschiede in Bezug auf sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe ausgewertet. Dabei hatte der Winter 2017/2018 alle Artischocken in Jedlersdorf abfrieren lassen. Im Winter von 2018/2019 überwinterten die Pflanzen im Versuchsfeld in Jedlersdorf aufgrund günstigerer Witterungsbedingungen.

Die Artischocken wurden 2017 und 2018 - anders als oft in der Literatur beschrieben (Lombardo et al. 2012, Pandino et al. 2011a, Ierna & Mauromicale 2004), erst Ende Mai bzw. Anfang Juni nach einer zweimonatigen Jungpflanzenanzucht mit anschließender künstlicher Vernalisationsphase im Freiland angebaut. Die Artischocken aus dem Jahr 2018 überwinterten erfolgreich. Geerntet wurde über einen Zeitraum von acht Wochen von Ende Juni bis August (2018 und 2019) bzw. August bis September (2017).

Die Analysen wurden anschließend im Labor des Instituts für Gartenbau der BOKU Wien durchgeführt. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die sekundären Inhaltsstoffe der Artischocken aus Jedlersdorf gelegt. So wurden die Proben auf deren Gehalte an Chlorophyll a, Chlorophyll b, den Gesamtchlorophyll- und Gesamtcarotinoidgehalt, den Gesamtphenol- und Gesamtflavonoidgehalt, den Chlorogensäuregehalt, die Antioxidative Aktivität und den Nitratgehalt sowie den Gehalt an reduzierenden Zucker analysiert.

Die sekundären Inhaltsstoffe der Artischocken sind vor allem aus zwei Gründen von besonderem Interesse:

Die Chlorophylle a und b bzw. der Gesamtchlorophyllgehalt, sowie der Nitrat- und Glukosegehalt, sind Parameter zur Qualitätsbestimmung von Gemüse. Die antioxidativen Komponenten, wie die Chlorogensäure, die Gesamtflavonoide, Gesamtphenole und antioxidative Kapazität unterstreichen die positiven Effekte der jeweiligen Artischocken-Sorte auf die menschliche Gesundheit (Rondanelli et al. 2013).

Zusätzlich zu den Messungen der Inhaltsstoffe der Artischocken wurde eine Literaturanalyse durchgeführt, um die Nutzpflanze Artischocke eingängig zu beschreiben und von verwandten Arten, wie der Kardone, abzugrenzen, den Anbau von Artischocken generell zu erläutern und die untersuchten Pflanzenstoffe zu beschreiben, deren Bedeutung für die menschliche Ernährung aufzuzeigen, und um Vergleiche zu Artischocken-Inhaltsstoffen in anderen Anbauszenarien anzustellen. Die folgenden Arbeitshypothesen wurden formuliert:

1. Mit der Analyse der in Jedlersdorf bei Wien angebauten Artischocken sollen Referenzwerte bezüglich der Inhaltsstoffe von Artischocken in Österreich erstellt werden.
2. Ausgewählte sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe der Artischocken aus Jedlersdorf sollen beschrieben werden. Insbesondere soll Bezug auf antioxidative Inhaltsstoffe, wie den Chlorogensäuregehalt, den Gesamtflavonoidgehalt, den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität genommen werden.
3. Die angebauten Artischocken-Sorten unterscheiden sich in ihren Inhaltsstoffen vor allem in Hinblick auf Sekundärpflanzenstoffe voneinander.
4. Die in Österreich angebauten Artischocken lassen sich bezüglich ihrer sekundären Inhaltsstoffe, in Bezug auf Phenolgehalt, Chlorogensäuregehalt und Flavonoidgehalt, international mit ähnlichen Versuchen vergleichen.

2 Literaturübersicht

2.1 Botanische Herkunft und Merkmale der Artischocke

Artischocken werden seit mehr als 4000 Jahren im Mittelmeerraum angebaut und wurden schon von Griechen und Römern als Gemüse verzehrt (Sonnante et al. 2007). Eine botanische Klassifikation des Genus *Cynara* L. (*Asteraceae*, $2n - 2x - 34$), zu dem die Artischocke gehört, wurde nach Kreuzungsversuchen und Isoenzyme-Analysen in den 1980er und 1990er Jahren entwickelt (Sonnante et al. 2007). Die Gattung *Cynara cardunculus* L. wird in drei Varietäten unterteilt: Artischocke und Kardone sind demnach Kulturarten der Wildform *Cynara cardunculus* L. var. *silvestris* L. Fiori (Pagnotta 2010, Pandino et al. 2011b). Die nahe Verwandtschaft von Artischocke und Kardone erklärt beispielsweise, dass diese unter anderem untereinander kreuzbar sind und fertile F1-Nachkommen produzieren (Göttmann 2006).

Die Nutzungen von Artischocke und Kardone sind teilweise unterschiedlich: Die Artischocke wird zum Verzehr von Blütenboden und inneren Deckblättern der Knospe genutzt. Zudem finden die Capitula und Blätter Verwendung zur Gewinnung von Extrakten und bei medizinischen Anwendungen von antioxidativen Stoffen bzw. Stoffgruppen, wie Flavonen und Hydroxycimtsäure-Derivaten (Mocelin et al. 2016, Rondanelli et al. 2014). Artischocken, speziell deren Wurzeln, sind außerdem reich am Oligosaccharid Inulin, welches ebenfalls in der Medizin bei Verdauungsbeschwerden eingesetzt wird (Ruíz-Cano et al. 2014). Ferner werden Artischocken in alkoholischen Getränken verarbeitet, getrocknet oder frisch als Dekoration, zur Gewinnung von Biokraftstoff oder als Futter für Nutztiere verwendet (Pagnotta 2010, Lombardo et al. 2010).

Kardone, jene andere Kulturart von *Cynara* L., hat im Vergleich zur Artischocke einen eingeschränkteren Nutzungsbereich: die Blätter und Blattstiele der Kardone werden vor allem in Südeuropa, wie zum Beispiel in Spanien, zum Verzehr angebaut (Pinelli et al. 2007). Zusätzlich wird Kardone zur Gewinnung von Biokraftstoffen angebaut (Göttmann 2006).

Artischocken sind allogam und entomophil (Acquadro et al. 2010, Pagnotta 2010). Dies ist speziell in Bezug auf die Züchtung und Vermehrung von Artischocken wichtig (siehe Kapitel 2.2).

Der Genpool der Artischocken wird anhand von Charakteristika des Hauptblütenkopfes wie der Blütenform, der Farbe der Deckblätter, der Reifezeit und der Möglichkeiten der Weiterverarbeitung in vier Varietäten unterteilt: Spinoso, Violetta, Romanesco und Catanese (Tabelle 2.1; Pagnotta 2010, Petropoulos et al. 2018).

Tabelle 2.1 Die vier Artischocken-Varietäten mit ihren Eigenschaften (modifiziert nach Portis et al. 2005 und Ciancolini 2012)

Varietät	Blütengröße	Deckblätter	Farbe
Spinoso	Mittel	lange, spitze Dornen auf Blüte und Blättern	grün bis violett
Violetta	Mittel	wenige Dornen	Violett
Romanesco	Mittel	Sphärische oder sub-sphärische Capitula ohne Dornen	grün bis violett
Catanese	Klein	lange, nicht dornige Capitula	Grün

Artischocken vermehren sich entweder durch Samen (generativ) oder durch Rhizome (vegetativ; AGRIS Sardegna 2019, Ierna & Mauromicale 2004). Die Samen keimen je nach Anbauregion bei Temperaturen von 20 bis 22 °C im Herbst (zum Beispiel Sizilien, Italien) oder Frühjahr (zum Beispiel Marchfeld, Österreich). Anschließend entwickeln sich die Blätter rosettenförmig um den Trieb, sodass eine kräftige Blattrosette entsteht. In Italien beispielsweise überwintert die Artischocke in diesem Stadium (Ciancolini 2012). Die großflächigen Blätter sind lang, gefiedert, graufilzig und behaart (Wohneberger et al. 2004). Außerdem wird neben der Blattrosette eine kräftige Pfahlwurzel gebildet. Reservestoffe werden im Hypokotyl gespeichert.

Abhängig von der Temperatur, der Tageslänge und der Sorte bildet sich von der Blattrosette ausgehend eine apikale Terminalknospe. Pandino et al. (2011b) verwenden in ihren Versuchen in Sizilien beispielsweise Sorten, die nach Aussaat im August schon nach ca. vier Monaten im November geerntet werden können. Wohneberger et al. (2004) beschreiben hingegen eine durchschnittliche Vegetationsperiode von Artischocken von sechs bis sieben Monaten von der Aussaat bis zur Ernte. Im Anbauversuch dieser Masterarbeit in Jedlersdorf lagen zwischen Beginn der Jungpflanzenanzucht bis zur Ernte maximal sechs Monate (von März bis September). Von der Terminalknospe ausgehend

bildet sich eine zylindrisch, grau-grüne Sprossachse, an deren Ende ein Blütenstand gebildet wird. Andere Knospen entstehen an tiefer liegenden Blattachseln, treiben aus und bilden ebenfalls Blütenstände (Ciancolini 2012). Im weiteren Verlauf des Vegetationszyklus der allogamen Artischocke blühen die Blütenstände zuerst und werden hauptsächlich von *Apis mellifera* (der Honigbiene) befruchtet (Göttmann 2006). Später reifen die Blüten dann Achänen bildend ab (Göttmann 2006). Anschließend reifen alle oberirdischen Pflanzenteile ab und vertrocknen. Die gebildeten Wurzeln dienen als Überdauerungsorgane bis zum Wiederaustrieb (Ciancolini 2012). Nach Regenereignissen oder künstlichen Bewässerungsmaßnahmen im Spätsommer beispielsweise in der Region um Catania bei Sizilien im Mittelmeerraum (Ende August, Anfang September) bzw. im Frühjahr im österreichischen Marchfeld (März, April – je nach Witterung) treiben die Rhizome mehrjähriger Pflanzen schließlich wieder aus (Pandino et al. 2011b). Dabei kann es vorkommen, dass Rhizome verschiedenen Alters gleichzeitig austreiben. Die Anzahl der Rhizome je Pflanze ist abhängig vom Alter der Pflanze und liegt zwischen 1-20 (El Boullani et al. 2012, Ciancolini 2012).

Die perenne Pflanze benötigt eine Kälteperiode zur Vernalisation. Diese sollte allerdings -4 °C nicht unterschreiten (Rana & Aslam 2018, Göttmann 2006). Die hohe Kältesensibilität von Artischocken führt beispielsweise dazu, dass in Anbauregionen mit kalten Wintern wie in Deutschland oder im Marchfeld, bei Wien, einjährige Artischocken im Frühjahr angebaut werden. Kritisch sind trotz möglichen einjährigen Anbaus Spätfröste. Ansonsten müssten Maßnahmen wie Vliesabdeckung angewandt werden, um die Artischocken vor dem Abfrieren im Winter zu schützen (Wohneberger et al. 2004). Außerdem sind Artischocken hitzetolerant und vertragen Temperaturen von über 30 °C , wenn auch mit Ertragsverlusten (Ciancolini 2012). Temperaturen zwischen $12-20\text{ °C}$ Tagestemperatur und $12-14\text{ °C}$ Nachttemperatur stellen optimale Bedingungen für den Anbau von Artischocken dar (Rana & Aslam 2018). Artischocken stehen bis zu 5 Jahre auf dem Feld (Petropoulos et al. 2018, Göttmann 2006).

2.2 Anbau der Artischocke

Artischocken wurden im Jahre 2017 weltweit auf 134192 ha angebaut (FAO 2019). Hauptanbauländer waren Italien mit 40482 ha, Spanien mit 16403 ha und Ägypten mit

10159 ha. Die Anbaufläche global ist in den letzten 20 Jahren mit ca. 134000 ha mit Schwankungen von bis zu 15000 ha stabil (FAO 2019). Es ist dabei eine Zunahme der Anbaufläche außerhalb Europas zu verzeichnen, wie beispielsweise in Peru. Dort stieg die Anbaufläche von 235 ha 1997 auf 8646 ha im Jahr 2017 an. Demgegenüber nahm die Fläche, auf der Artischocken kultiviert wurden, im gleichen Zeitraum in Italien von 47429 ha (1997 ha) auf 40482 ha (2017) und in Spanien von 18472 ha (1997) auf 16403 ha ab (2017; FAO 2019). Österreich ist in der FAO-Statistik nicht aufgeführt. Allerdings gibt es im Marchfeld von der Marchfelder Gemüsebauer-Genossenschaft eine Anbaufläche von 9 ha mit circa 30000 Pflanzen, die ab Hof vermarktet werden.

Die weltweite Artischocken-Produktion betrug 2017 circa 1,6 Mt, in Italien 387803 t (entspricht $9579,6 \text{ kg ha}^{-1}$) und in Ägypten, dem laut Statistik flächenproduktivsten, wenn auch flächen- und mengenmäßig nur drittgrößten Land, 185695 t (pro Fläche: $18279,4 \text{ kg ha}^{-1}$; FAO 2019). In der FAO-Statistik ist der Verwendungszweck der Artischocken nicht angegeben, zum Beispiel, ob der Blütenboden zum Verzehr oder die Blätter zur Gewinnung medizinischer Extrakte verwendet wurden.

Die Artischocke ist laut Rana und Aslam (2018) eine Nutzpflanze der „kühleren Jahreszeiten“. Diese Aussage der Autoren sollte man allerdings im Kontext ihrer klimatischen Bedingungen sehen: Rana und Aslam (2018) beziehen sich auf nordindische Anbaubedingungen – andere in dieser Masterarbeit zitierte Quellen auf italienische Klimabedingungen (Fратиanni et al. 2007, Pandino et al. 2011a). Artischocken werden aber beispielsweise auch im Süden Koreas auf der Insel Jeju-do angebaut (Ju et al. 2007).

Optimale Bedingungen für das Wachstum von Artischocken liegen dann vor, wenn die Temperatur sich zwischen 12 und 18 °C bewegt (Rana & Aslam 2018). Diese Temperaturen sowie ausreichende Feuchtigkeit im Boden, bei Bedarf auch mit Bewässerung, sorgen bei Artischocken-Knospen für optimale Wuchsbedingungen (Pandino et al. 2011a, Göttmann 2006). Andererseits sollte es keinen (Spät-)frost geben, da die Artischocken auf Temperaturen unter -4 °C empfindlich reagieren (Rana & Aslam 2018). Daher ist der Anbau in Österreich spätestens ab Mitte Mai, wenn es in der Regel keine Spätfröste mehr gibt, gut möglich (MA23 2019). Jedoch fällt die Temperatur im Marchfeld in Österreich im Winter mitunter weit unter 0 °C, weshalb für einen mehrjährigen Artischocken-Anbau Schutzmaßnahmen vor Frostereignissen notwendig sind.

Artischocken brauchen tiefgründige, eher leichte, gut durchwurzelbare Böden mit einer guten Nährstoffverfügbarkeit, jedoch ohne Staunässe. Der pH-Wert des Bodens sollte zwischen 6,5 und 7 liegen (Weinheimer 2014, Wohneberger et al. 2004). Da die Artischocken in der Regel an anbauwürdigen Standorten in Österreich, Deutschland oder Polen nicht ohne weiteres überwintern, werden sie einjährig angebaut. Hierzu wird mit der Aussaat Mitte Februar in Erdpresstöpfen eine Jungpflanzenanzucht aufgebaut (Weinheimer 2014). Nach einer Initialtemperatur zur Auskeimung der Samen um die 18 bis 22 °C, wird die Temperatur auf 12 bis 16 °C reduziert. Ab Mitte Mai, wenn es keine Spätfröste mehr geben sollte, bzw. nach circa sieben Wochen in der Anzucht, werden die Artischockensämlinge ausgepflanzt (Weinheimer 2014). Vor dem Auspflanzen auf das Feld erfolgt eine tiefgründige Bodenbearbeitung, da die Artischocken mit ihren Pfahlwurzeln tief wurzeln werden (Wohneberger et al. 2004). Die Pflanzabstände sind entweder 150 x 60 cm oder aber 100 x 75 cm – je nach Unkrautdruck (bei hohem Unkrautdruck, wird für eine längere Unkrautbekämpfung weiter auseinander gepflanzt,). Geerntet werden können einjährig angebaute Artischocken von Mitte Juli bis Ende September in einem Zeitraum von 7-9 Wochen (Wohneberger et al. 2004). Dies geschah für diese Masterarbeit zwischen Juni und Juli im Jahr 2019 und zwischen Juni und Oktober 2018. 2017 wurden die überjährigen Artischocken im August und September geerntet. In anderen Artischocken-Anbauregionen, wie zum Beispiel im Mittelmeerraum in der Region um Catania, Sizilien (Italien), werden Artischocken im August ausgesät (Pandino et al. 2011a, b). In der Praxis stehen Artischocken für circa 2-3 Jahre auf dem Feld, wenn ein mehrjähriger Anbau möglich ist (Petropoulos et al. 2018, Ciancolini 2012). Lombardo et al. (2012) pflanzten für Ihre Studie zu Polyphenol-Variationen nach Mikropropagation sowohl Sämlinge als auch Samen mit Abständen von 0,8 m zwischen den Reihen und 1,2 m Pflanzabstand innerhalb der Reihe (Pflanzdichte: eine Pflanze m²). Ierna und Mauromicale (2004) bauten in denselben Pflanzabständen (1,2 m x 0,8 m) Artischocken für Versuche zur Beeinflussung der Wüchsigkeit verschiedener Kultivare mit Gibberellinsäure an.

Die Ernteperioden im Mittelmeerraum, zum Beispiel in der Region um Grosseto, Toskana in Italien (Romani et al. 2006), unterscheiden sich von denen einjähriger Artischocken, wie zum Beispiel in den Anbauempfehlungen für Artischocken in Deutschland von

Wohneberger et al. (2004). Zusätzlich sind die Ernteperioden sortenabhängig (Pandino et al. 2011a). So sind zum Beispiel Sorten wie „Tema“ und „Violetto di Sicilia“, die in Sizilien angebaut werden, zwischen November und April erntereif. Sorten wie „Blanc Hyérois“ und „Tondo die Paestum“ hingegen können auf Sizilien zwischen März und Mai geerntet werden (Pandino et al. 2011b).

Die geernteten Artischocken-Knospen werden nach EG-Qualitätsnormen entsprechend ihrem Durchmesser sortiert. Qualitätsgruppen sind hier Knospen-Durchmesser von 6-7,5 cm, 7,5-9 cm, 9-11 cm, 11-13 cm und größer als 13 cm (Wohneberger et al. 2004).

Die Ernten für die in dieser Masterarbeit analysierten Artischocken wurden, ähnlich wie in der Literatur für den Anbau von Artischocken in Mitteleuropa beschrieben, mit teilweise großen zeitlichen Abständen zwischen den Sorten von Juni bis Oktober geerntet.

2.2.1 Samen- und Stecklingsvermehrung

Ver mehrt werden die bis zu 2 Meter hohen Artischocken-Stauden entweder vegetativ durch Rhizome oder per Samen (Ciancolini 2012). Nicht-Hybride-Sorten werden in der Regel durch Stecklinge vermehrt und angebaut (Catacora et al. 2019). Bei Hybrid-Sorten wird der Samen zu einem Setzling gezogen und anschließend im Feld angebaut (Catacora et al. 2019). Bei der vegetativen Vermehrung von Artischocken besteht jedoch die Gefahr, Krankheiten zu übertragen bzw. krankes Pflanzmaterial zu vermehren. Die Vermehrung per Steckling ist langsam, da maximal nur 20 Stecklinge pro Pflanze produziert werden. Daher wird verstärkt in Richtung Mikropropagation geforscht (El Boullani et al. 2012).

Rhizome sind hypertrophische, dormante Triebe seitlich der ursprünglichen Pfahl- und Hauptwurzel der Artischockenpflanze mit einer Länge von 13-14 cm und einem Durchmesser von 1-3,5 cm, die zur vegetativen Vermehrung der Artischocken dienen (Ciancolini 2012, Santoiemma et al. 2006). Sie können in Italien beispielsweise circa ein bis zwei Monate nach der Ernte entfernt werden (AGRIS Sardegna 2019).

In vielen Versuchen werden allerdings Samen von Hybrid-Sorten verwendet (Lombardo et al. 2012, Ierna & Mauromicale 2004). Dies war lange Zeit agronomisch in dieser Form nicht möglich, da die Heterozygotie des Samenmaterials der allogamen Artischocken ohne Züchtungsprogramme zu hoch für die Produktion von Hybriden war (Mauro et al.

2009). Mittlerweile sind aus Samen erzeugte F1-Hybride, wie zum Beispiel Symphony, Olympus, Imperial Star, Opal und Madrigal weit verbreitet und wurden auch für diese Masterarbeit verwendet (Moglia et al. 2008).

2.3 Artischocken-Knospe – Morphologie und Inhaltsstoffe

2.3.1 Morphologische Eigenschaften der Knospe

Einige Eigenschaften von Artischocken-Knospen wurden bereits im Zuge der botanischen Abgrenzung der *Cynara L.*-Varietäten erläutert. Wichtig ist die Charakterisierung der Artischocken-Knospen, da primär diese geerntet und vermarktet werden. Unterscheiden lässt sich die Form der Knospe (zum Beispiel zylindrisch, konisch oder sphärisch), und der Deckblätter (zum Beispiel lang oder kurz). Außerdem lässt sich anhand der Farbe der äußeren (grün bis violett) und inneren Deckblätter (gelb, grün bis violett) und des Auftretens von Dornen an den Enden der Deckblätter zwischen den Varietäten (beispielsweise Spinoso oder aber Romanesco), aber auch innerhalb einer Varietät zwischen einzelnen Genotypen oder Sorten (beispielsweise Harmony F1 oder Tema 2000) differenzieren (Lombardo et al. 2010, Ciancolini 2012). Lombardo et al. (2010) stellten bei einem Vergleich von neun verschiedenen Artischocken-Genotypen fest, dass das Verhältnis Länge zu Durchmesser der Artischocken-Blütenböden zwischen 0,9-1,1 für sphärische Knospen ist und für zylindrische, konische bzw. lange Knospen bei $\geq 1,2$ liegt.

Diese Größen- und Gewichtsrelationen sind interessant, wenn Größe und Gewicht von Artischocken analysiert werden. Theoretisch lassen sich von Größe und Gewicht aus Rückschlüsse auf Konzentrationen von sekundären Inhaltsstoffen in der gesamten Knospe ziehen, wie zum Beispiel von Chlorophyllen oder auch Phenolen.

Außerdem ist das Verhältnis Länge zu Durchmesser von Bedeutung, um die Artischocken in Vermarktungskategorien einzuteilen, die durch die Größe der Artischocken-Knospen zumindest in der EU definiert werden (Wohneberger et al. 2004).

2.3.2 Zusammensetzung der Artischocken-Knospe

Die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe von Artischocken-Blütenböden ist sehr heterogen. Ierna und Mauromicale (2004) begründen dies mit der hohen genetischen

Heterosis der Artischockensorten aufgrund ihrer allogamen Vermehrung. Außerdem ist die Morphologie und die Zusammensetzung von Artischocken-Knospen abhängig von verschiedensten Faktoren, wie abiotischen Stressfaktoren (z.B. Trockenstress; Nouraei et al. 2018), biotischen Faktoren, wie dem Genotyp (Romani et al. 2006), und pflanzenbaulichen Faktoren, wie dem Erntezeitpunkt oder der Pflanzdichte (Lombardo et al. 2018).

Der Trockenmasse-Anteil von Artischocken-Knospen beträgt durchschnittlich 132 g kg⁻¹ Frischgewicht (Lombardo et al. 2018). Per kg Trockenmasse (TM) bestehen die Blütenböden ferner aus ca. 725 g Kohlenhydraten, 189 g Eiweißen, 14,2 g Fett und 74 g Rohasche (Lombardo et al. 2018).

Tabelle 2.2 Zusammensetzung von Artischocken-Capitula: Anorganische Bestandteile und Vitamine (modifiziert nach Ruíz-Cano et al. 2014)

Anorganische Bestandteile in mg kg ⁻¹		Vitamine in mg kg ⁻¹	
Ca	440	Vitamin C	117
Fe	13	Thiamin	0,7
Mg	600	Riboflavin	0,7
P	900	Niacin	9
K	3700	Pantothensäure	3,4
Na	940	Vitamin B6	1,2
Zn	5	Folsäure	680
Mn	3	Vitamin A	80
Se	2	Vitamin E	2

Bedeutsame Inhaltsstoffe der Artischocke sind (Rondanelli et al. 2013; Tabelle 2.2):

- Polyphenole (Kaffeensäure-Derivate, Flavonoide, Sesquiterpen-Laktone, Anthocyane, vor allem Cyanidin und Tannine),
- flüchtige Öle, zum Beispiel Terpenoide, Carotinoide, gesättigte, ungesättigte und mehrfach ungesättigte Fettsäuren (zum Beispiel Linolen-, Palmitin-, Öl- und Stearinsäure), ungesättigte Säuren (zum Beispiel Hydroxymethyl-Akrylsäure, Zitronen-, Apfel-, Milch-, Bernstein- und Glykolsäure),
- Mono-, Oligo- und Polysaccharide, unter anderem Schleimstoffe, Pektine, Inulin,
- Aminosäuren und Protein, beispielsweise L-Aspargin,

- Verschiedene Enzyme, wie zum Beispiel Oxidasen, Peroxidasen, Cynarase, Ascorbinase, Protease,
- Asche (Kalium, Magnesium und Spuren anderer Elemente).

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden 10 verschiedene Artischocken-Sorten in Österreich in drei verschiedenen Jahren kultiviert und im Anschluss daran deren gesamte Knospen (äußere, innere Deckblätter sowie Blütenböden) auf deren Gehalte an Nitrat, reduzierenden Zuckern, Chlorophyll a und Chlorophyll b, Gesamtchlorophyllen, Gesamtcarotinoiden, Gesamtphenolen, Chlorogensäure, Gesamtflavonoiden und deren antioxidativer Kapazität untersucht.

2.3.3 Nitrat

Den Nitrat-Gehalt zu untersuchen ist ein wichtiger Schritt zur Qualitätsbestimmung eines Gemüses, da ein hoher Nitratgehalt mit einem gewissen Gesundheitsrisiko für den Menschen einhergeht: unter bestimmten Umständen, während der Verstoffwechslung nach der Nahrungsaufnahme (zum Beispiel durch Bakterien im Mundraum oder Magen) kann Nitrat zu Nitrit umgewandelt werden (Larsen et al. 2010). Negative gesundheitliche Effekte treten vor allem nach der Entstehung von Nitrit im menschlichen Körper auf: Hämoglobin wird oxidiert und seine Funktion (der Sauerstoff-Transport im Blut) wird eingeschränkt. Außerdem wird Nitrit als kanzerogen eingestuft (EFSA 2019). So soll laut EFSA der Konsum von Nitrat auf maximal $3,7 \text{ mg kg}^{-1}$ Körpergewicht pro Tag beschränkt werden, um Gesundheitsrisiken zu vermeiden (EFSA 2019). Außerdem gibt es per EU-Verordnung Limits für den Nitratgehalt von Gemüsen, die je nach Gemüsesorte zwischen 2000 mg kg^{-1} und 4000 mg kg^{-1} variieren (EUR-LEX 2019).

Aufgrund verschiedenster Faktoren kann der Nitratgehalt in Nutzpflanzen schwanken: Wegen der Stickstoffdüngung, der Lichtverhältnisse, der die Pflanze ausgesetzt ist, der Temperatur und der Gesundheit der Pflanze (Fu et al. 2017, Santamaria 2006). Unter den Gemüsesorten haben in der Regel Kreuzblütler, Gänsefußgewächse und Fuchsschwanzgewächse die höchsten Nitratgehalte.

Im Zuge dieser Masterarbeit werden die Knospen von Artischocken analysiert. Die Nitrat-Messwerte der Sorten sollen untereinander und mit den von europäischen Institutionen vorgegebenen Höchstwerten verglichen werden.

2.3.4 Reduzierende Zucker

In Bezug auf die Kohlenhydrat-Zusammensetzung von Artischocken lässt sich zwischen reduzierenden und nicht-reduzierenden Zuckern differenzieren. Der Unterschied in dieser Differenzierung liegt in der chemischen Struktur der jeweiligen Saccharide: Reduzierende Zucker haben jeweils eine freie Aldehydgruppe, die reduziert werden könnte (Matissek et al. 2018). Das bedeutet, dass Monosaccharide mit freien Aldehydgruppen, wie zum Beispiel Glukose und Fructose, bei der Messung auf reduzierende Zucker erfasst werden. Polymere, bei denen nicht jedes Monosaccharid in der polymeren Verkettung eine freie Aldehydgruppe hat, werden bei der Messung der Aldehydgruppe, wie sie bei dieser Masterarbeit durchgeführt wurde, nicht präzise erfasst (Matissek et al. 2018).

Das Polymer Inulin, welches das dominante Kohlenhydrat in Artischocken ist, besteht zum Beispiel aus 100 Fructose-Monomeren und einer endständigen Glukosegruppe mit freier Aldehydgruppe. Bei der Messung auf reduzierende Zucker würde aber nur die eine endständige Glukosegruppe erfasst werden. Die 100 Fructose-Monomere, die ansonsten das Inulin ausmachen, werden nicht gemessen (Ruíz-Cano et al. 2014). Aussagen bezüglich des Gesamtzuckergehaltes lassen sich durch die Messung der Reduzierenden Zucker aufgrund der Ungenauigkeit in der Bestimmung von polymeren Kohlenhydraten wie dem Inulin nicht treffen (Ruíz-Cano et al 2014).

Reduzierende Zucker haben einen energetischen Wert für die Ernährung, wohingegen die nicht-reduzierenden Zucker verdauungsbeeinflussende, therapeutische Werte haben. Sie können nicht wie reduzierende Zucker verdaut und abgebaut werden, sondern regen durch ihre für den Menschen schwierige Abbaubarkeit die Verdauung an (Lombardo et al. 2018, Ruíz-Cano et al. 2014). Die Abundanz von reduzierenden Zuckern zeigt, ob der Stoffwechsel der Pflanze intakt ist und durch Photosynthese Kohlenstoffe in Zucker verbaut werden (Eaton-Rye et al. 2012).

2.3.5 Chlorophyll A und B und Carotinoide

Chlorophylle sind grüne Farbpigmente von Pflanzen, die in allen Pflanzen vorkommen, Lichtenergie der Sonnenstrahlen absorbieren und diese Energie für den Prozess der Photosynthese verfügbar machen (Eaton-Rye et al. 2012). Chlorophyll a hat Absorptionsmaxima bei circa 430 nm und 662 nm Lichtwellenlänge; Chlorophyll b bei 453

nm und 642 nm. Die mit Carotinoide Lichtsammel-Komplexe bildenden Chlorophylle sind in allen grünen Pflanzenteilen mit einer Exposition zu Sonnenlicht zu finden, da sie Lichtenergie in pflanzenverfügbare Assimilate umwandeln. Diese für die Photosysteme I und II existenziellen Komplexe sind in den Thylakoid-Membranen der Chloroplasten zu finden (Eaton-Rye et al. 2012). Chlorophylle sind zudem ein Indikator für die Source-Bewertung im Sink-To-Source-Nährstoff-Allokations-Konzept der Pflanze (Keyvan 2010). Carotinoide sind eine Art von fettlöslichen, gelben oder orangen, manchmal rötlichen Isoprenoid-Pigmenten (Eaton-Rye et al. 2012). Die Tetraterpenoide spielen eine wichtige Rolle im Prozess der Lichtabsorption der Photosynthese, da sie mit den Chlorophyllen a und b Lichtsammel-Komplexe bilden, um Licht zu absorbieren. Zusätzlich schützen sie die Pflanzenzellen vor übermäßiger Strahlung (Xiao et al. 2011, Eaton-Rye et al. 2012). Die in Pflanzen vor allem in den Chloroplasten vorkommenden Carotinoide werden unterteilt in reine Hydrocarbon-Carotinoide, die Carotine, mit Vertretern wie beispielsweise dem beta-Carotin, und in eine Sauerstoff-enthaltende Gruppe, den Xanthophyllen.

Carotinoide sind in zahlreichen anderen Organismen zu finden, die nicht direkt phototroph sind, wie zum Beispiel Bakterien und Hefen. Das Vorkommen von Carotinoiden in nicht phototrophen Organismen wird mit deren antioxidativen Eigenschaften erklärt, die auch in Pflanzen beobachtet werden können (Eaton-Rye et al. 2012): Carotinoide inhibieren zum Beispiel Lipid-Peroxidationen und stabilisieren so Membranen innerhalb von Organismen (Demmig-Adams & Adams 1996).

Kadkhodaie et al. (2014) fanden heraus, dass unter Trockenstress der Gehalt an Carotinoiden in Artischocken-Knospen zunimmt. Laut den Forschern ist ein erhöhter Gehalt an Carotinoiden ein sortenabhängiger Indikator für Wasserstress.

Andererseits fanden Yousefi und Yadegari (2016) heraus, dass bei höheren Temperaturen anteilmäßig mehr Chlorogensäure und weniger Carotinoide in Artischocken gebildet werden. Demnach ist ein hoher Carotinoidgehalt in Artischocken-Knospen von der Sorte und ihren Eigenschaften und Stressfaktoren, wie dem Wasserstress, abhängig. Außerdem ist ein Zusammenspiel des Carotinoidgehaltes bzw. eine Konkurrenz von diesem mit Chlorogensäure in Bezug auf die Temperatur beim Anbau festzustellen (Yousefi & Yadegari 2016).

Sowohl Chlorophylle als auch Carotinoide werden bei der Messung der Antioxidativen Kapazität neben anderen Stoffen mit reduzierenden Eigenschaften miterfasst (Nouraei et al. 2018).

2.3.6 Gesamtphenole unter besonderer Berücksichtigung von Chlorogensäure und Gesamtflavonoiden

Vor allem Vertreter der Polyphenole sind wichtige sekundäre Pflanzenstoffe in Artischocken-Knospen. Die überwiegend über den Shikimatweg synthetisierten Phenole zeichnen sich durch einen Benzolring mit einer C3-Kette aus (Heldt & Piechulla 2015). Entlang des Shikimatweges entstehen verschiedenste Verbindungen, wie Lignane, Lignine, Suberine oder Flavonoide. All diese Stoffe haben unterschiedliche Aufgaben in den Pflanzen, aber alle zusammen schützen sie die Pflanzen vor Stressfaktoren.

So fungieren Flavonoide unter anderem als eine Art Lichtschutz bei erhöhter Sonneneinstrahlung (Di Ferdinando et al. 2012). Andere Phenole wie die Chlorogensäure haben antioxidative Eigenschaften und neutralisieren so beispielsweise freie Sauerstoffradikale (Pistón et al. 2014).

Yousefi und Yadegari (2016) berichteten, dass bei hohen Temperaturen vermehrt Chlorogensäure in Artischocken zu finden war, die aufgrund ihrer antioxidativen Eigenschaften als Schutz vor Hitzestress synthetisiert wurde. Hydroxyzimtsäure-Derivate, wie die Chlorogensäure, die sich aus dem Monolignol p-Cumarsäure ableitet (Abbildung 2.1), sind außerdem Vorstufen des Polyignols Lignin (Heldt & Piechulla 2012). Daher sind besonders viele Kaffeesäurederivate zur Reife der Artischocken in den Knospen zu finden, bevor diese Gewebe zur Blüte hin weiter verholzen (Wang et al. 2003, Pandino et al. 2011b).

Die wichtigsten Polyphenole in Artischocken sind Kaffeesäurederivate, Flavone als Untergruppe der Flavonoide und Sesquiterpen-Laktone (Guianaloide; Schütz et al. 2006, Sihem et al. 2015, Colantuono et al. 2018). Diese genannten Stoffe sind deswegen interessant, da sie die Stoffe in Artischocken mit dem größten Einfluss auf die antioxidative Kapazität sind (Wang et al. 2003) und somit die Möglichkeiten industrieller Verarbeitung von Artischocken-Knospen mitbestimmen (Lombardo et al. 2012, Ruíz-Cano et al. 2014). Sie sind auch jene Inhaltsstoffe, mit denen positive Eigenschaften in

Bezug auf eine Anpassung der Pflanzen an abiotische Faktoren wie Wasserstress in Verbindung gebracht werden (Nouraei et al. 2018). Die genannten Polyphenole haben außerdem positiven Einfluss auf die menschliche Gesundheit, sodass man Extrakte zu medizinischen Anwendungen aus ihnen herstellt (Mahboubi 2018, Mocelin et al. 2016). Brat et al. (2006) fanden heraus, dass Artischocken-Knospen jenes Gemüse in französischen Supermärkten mit dem höchsten Polyphenolgehalt von mehr als 3 g Gesamtphenolgehalt je kg Trockenmasse sind. Phenole sind aufgrund ihrer antioxidativen Eigenschaften wichtige sekundäre Pflanzenstoffe in Artischocken und werden hauptsächlich für die positiven Wirkungen von Artischocken auf die menschliche Gesundheit verantwortlich gemacht (Fратиanni et al. 2007, Rondanelli et al. 2014). Wichtige Phenole von Artischocken-Knospen sind Caffeoylchinasäuren-Derivate, wie Chlorogensäure (5-O-Caffeoylchinasäure), 1,5-O-Caffeoylchinasäure (Cynarin) und Iso-Chlorogensäure (3,5-di-O-Caffeoylchinasäure; Wang et al. 2003, Ramos et al. 2014). Wichtige Flavone als Untergruppe der Flavonoide sind Luteoline (vor allem Luteolin-7-O-Glukosid und Luteolin; Rondanelli et al. 2013) und Apigenine (Apigenin-7-O-Glukosid; Sihem et al. 2015, Frатиanni et al. 2007).

Die für die Familie der Korbblütler (*Asteraceae*) charakteristischen Sesquiterpen-Laktone (STLs) kommen in der Artischocke hauptsächlich in zwei Formen vor: als Cynaropikrin (anteilmäßig zu etwa 80%) und als Grosheimin (Sato et al. 2015, Eljounaidi et al. 2015). STLs werden vor allem in glandularen Trichomen an den Blättern der Artischocken gespeichert (Eljounaidi et al. 2015). Der Gehalt an STLs nimmt im Laufe der Knospen- bzw. Blütenentwicklung in den Knospen sukzessive ab (Eljounaidi et al. 2015).

Laut Pandino et al. (2011a) ist die Phenolzusammensetzung in Artischocken-Blütenböden abhängig von verschiedensten Faktoren, wie unter anderem dem Genotyp der Pflanze, dem speziellen Zeitpunkt innerhalb der pflanzlichen Entwicklung zu dem geerntet wird, pflanzenbaulichen Maßnahmen während der Vegetationsperiode und Nacherntefaktoren, wie der Dauer der Lagerung, mögliche Arten der Verpackung und der Art und Weise der Weiterverarbeitung. So fanden Schütz et al. (2003) beispielsweise ein dominantes Auftreten von Monokaffeesäuren gefolgt von Di-Kaffeesäuren in 13 verschiedenen Nahrungsergänzungsmitteln auf Basis von Artischocken-Blütenböden.

Der Großteil des Polyphenol-Gehaltes von Artischocken entfällt auf die Chlorogensäure (Wang et al. 2003, Ramos et al. 2014). Chlorogensäure ist ein wichtiger Inhaltsstoff von Artischocken speziell im Hinblick auf die positiven, gesundheitsverbessernden und therapeutischen Eigenschaften (siehe Kapitel 2.3.7). Angaben zum Inhalt von Chlorogensäure in Artischocken aus anderen Anbauregionen sind daher interessante Vergleichswerte zu bisher angestellten Artischocken-Versuchen.

Der Gehalt an Chlorogensäure ist abhängig von äußeren Einflüssen, wie zum Beispiel der Sonneneinstrahlung und dem Zeitpunkt in der Vegetationsperiode der Artischocke (Lombardo et al. 2018). Durch das sich lignifizierende Gewebe in der sich entwickelnden Blüte sollte theoretisch zur Ernte der Artischocken-Knospen der höchste Wert an Chlorogensäure in der Knospe zu finden sein (Abbildung 2.1).

2.3.7 Wirkung ausgewählter Artischocken-Inhaltsstoffe auf die menschliche Gesundheit
Neben der Verwendung als Nahrungsmittel werden Artischocken und Artischocken-Extrakte in der Medizin verwendet. Ihnen werden dabei verschiedenste Eigenschaften und positive Effekte auf die menschliche Gesundheit zugeschrieben, wie zum Beispiel hepaprotektive, Cholesterol-regulierende und entzündungshemmende Wirkungen (Rondanelli et al. 2013). Neben der Gesundheit zuträglichen Effekten wurden auch gesundheitsbeeinträchtigende Wirkungen von aus Artischocken gewonnen Substanzen gefunden: ein hoher Gehalt an Flavonen hat beispielsweise unter anderem eine oxidierende Wirkung im menschlichen Körper (Gostin & Waisundara 2019). Gostin und Waisundara (2018) beschreiben neben generellen oxidierenden Eigenschaften von Flavonoiden auch eine DNA-schädigende Wirkung. Letztendlich überwiegen aber die für die menschliche Gesundheit positiven Eigenschaften der Inhaltsstoffe der Artischockenknospen.

Viele Studien, die sich mit der Zusammensetzung von Artischocken auseinandersetzen, legen daher ein Augenmerk auf jene Stoffe mit schon bewiesener therapeutischer Wirkung. Im Fokus stehen dabei Polyphenole, vor allem die in der Artischocke häufig vorkommenden Hydroxyzimtsäure-Derivate (zum Beispiel Chlorogensäure und Cynarin) und Flavone. Die Flavone haben zwar eine oxidierende Wirkung, sie regen aber auch die

Gallenflüssigkeitsproduktion an. Solch ein Effekt wird zum Beispiel speziell dem Flavon Luteolin-7-O-Glykosid zugeschrieben (Pandino et al. 2011a, Petropoulos et al. 2018).

In medizinischen Studien wurde Artischocken-Extrakt an Laborratten in verschiedenen Plots mit verschiedenen Ernährungs-Regimen verabreicht und beobachtet, wie sich der Metabolismus der Versuchstiere veränderte (Mocelin et al. 2016, Rondanelli et al. 2013). Da im Artischocken-Extrakt nicht nur eine gesundheitsverbessernde Substanz enthalten ist, sondern gleich mehrere, können eindeutige Aussagen über nur einzelne Artischocke-Inhaltsstoffe nicht formuliert werden (Brown & Rice-Evans 1998).

Gesundheitsverbessernde Effekte, die Artischocken zugeschrieben werden, sind zum Beispiel deren hypolipidemische Wirkung, die einen positiven Einfluss auf die menschliche Gesundheit bei Artherosklerose hat. Diese wird durch einen erhöhten Anteil an Antioxidantien bei einem gleichzeitig niedrigeren Anteil an Low-Density-Lipids im Blut erreicht, die mit dem Auftreten von Artherosklerose in Verbindung gebracht wird (Mocelin et al. 2016, Rondanelli et al. 2014).

Ferner gelten Artischocken-Extrakte als entzündungshemmend durch die Inaktivierung von Cytokinen im Blut (Tanaka et al. 2013, Sato et al. 2015). Diese entzündungshemmende Wirkung sprechen Tanaka et al. (2013) insbesondere dem in Artischocken enthaltenen Sesquiterpen-Lakton Cynaropikrin zu. Durch dessen entzündungshemmende Wirkung wird nicht nur das Blut, sondern auch die Alterung der Haut reduziert (Tanaka et al. 2013).

Nicht alle gesundheitsverbessernden Effekte lassen sich auf die Wirkung eines einzelnen Inhaltsstoffes zurückführen. So wird beispielsweise eine Stimulation der Gallen-Sekretion, die in vielen Quellen als der primäre positive Effekt von Artischocken angeführt wird (El-Sayed et al. 2018, Gouveia et al. 2012, Lombardo et al. 2010, Romani et al. 2006) vor allem durch Cynarin und Luteolin-7-O-Glykosid beschrieben (Gominho et al. 2018, Saénz-Rodríguez et al. 2002, Gebhardt & Fausel 1997). Durch die Stimulation der Gallen-Aktivität wird die Verdauung verbessert und der Abbau von Cholesterol gefördert (Rondanelli et al. 2013). Cynarin fungiert außerdem als Lipase-Inhibitor sowie als alpha-Glukosidase- und alpha-Amylase-Inhibitor (Mahboubi 2018). Unter anderem aufgrund dieser inhibitorischen Wirkungen gelten Artischocken als antidiabetische Nahrungsmittel. Cynarin verursacht zudem einen bitteren Geschmack im Mund (Colantuono et al. 2018).

2.3.8 Vorkommen von Phenolen und Flavonoiden in Artischocken während der Vegetationsperiode

Kenntnisse über die Zusammensetzung der sekundären Inhaltsstoffe von Artischocken während der gesamten Vegetationsperiode können unter anderem dazu genutzt werden, den optimalen Erntezeitpunkt in Bezug auf spezielle Inhaltsstoffe oder gar einem speziellen Inhaltsstoff festzustellen, der wiederum für eine medizinische Anwendung verwendet werden könnten. Beispiele für solche Substanzen sind Chlorogensäure und Cynaropikrin.

Eine große Menge an Phenolen lässt sich insbesondere in frühen Blütenentwicklungsstadien insbesondere in frühen Vegetationsjahren im Blütenboden der Artischocken feststellen. Mit zunehmender Reife nimmt die Phenol-Konzentration jedoch sukzessive ab (Eljounaidi et al. 2015, Rondanelli et al. 2013). Vor allem Caffeoylchinasäuren-Derivate wie Chlorogensäure, Cynarin und Iso-Chlorogensäure (Schütz et al. 2006, Gostin & Waisundara 2019) sind als phenolische Bestandteile in der Knospe zu finden (Eljounaidi et al. 2015, Fratianni et al. 2007). Chlorogensäure, weitere Kaffeesäure-Derivate und Kumarsäure sind zudem vermehrt in den inneren Deckblättern reifer Violet de Provence-Artischocken zu finden (Sihem et al. 2015, Fratianni et al. 2007). In den äußeren Deckblättern sind die Flavongehalte, das heißt die Gehalte von Luteolin und Apigenin, erhöht (Sihem et al. 2015, Fratianni et al. 2007).

Das erhöhte Vorkommen von Chlorogensäure und Kumarsäure im Blütenboden zur Blütenbildung lässt sich nach Pandino et al. (2011b) damit erklären, dass die Chlorogensäure die Struktur des jungen Gewebes als Vorläufer von Ligninen mechanisch stabiler macht. In Folge der weiteren Ausreifung des Artischocken-Blütenbodens und weiteren Ausdifferenzierung der Zellen nimmt der Gehalt an Chlorogensäure ab (Pandino et al. 2011b). Der von Fratianni et al. (2007) gefundene hohe Gehalt an Flavonen in äußeren Deckblättern lässt sich so erklären, dass im Flavonsyntheseweg Phenylalanin in mehreren Schritten zuerst in Kumarsäure und in weiterer Folge in Flavone bzw. Flavonoide umgewandelt wird (Abbildung 2.1). Die für die Umwandlung von Kumarsäure nötigen Enzyme, wie die Chalkon-Synthase oder Chalkonisomerase, werden durch Sonneneinstrahlung aktiviert (Pandino et al. 2011b). Diese ist nur an den äußeren

Deckblattschichten gegeben, wodurch der erhöhte Flavongehalt in jenen Geweben zu erklären ist.

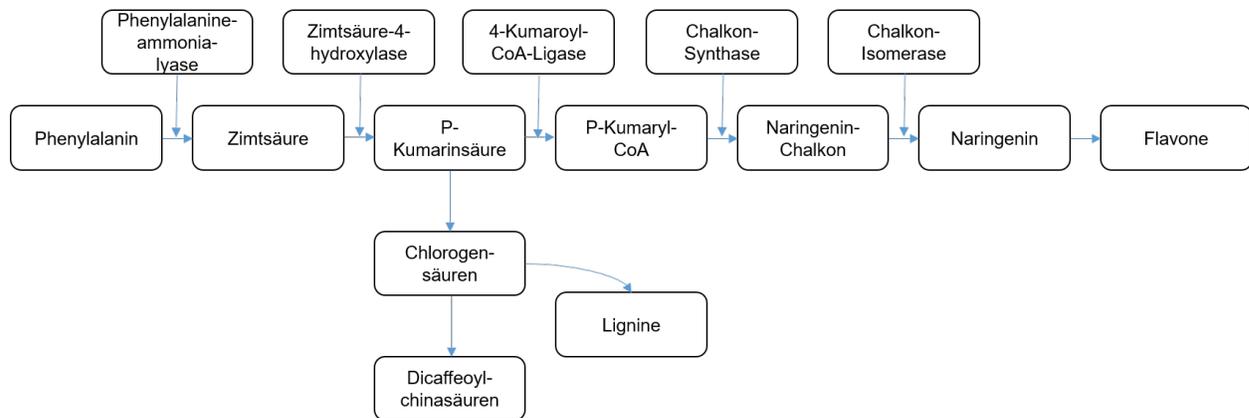


Abbildung 2.1 Flavonsyntheseweg, Darstellung modifiziert nach Pandino et al. (2011b)

2.3.9 Antioxidative Kapazität

Antioxidative Stoffe sind nicht nur wichtige Faktoren bei der Anpassung von Pflanzen an verschiedene biotische und abiotische Bedingungen, sondern haben auch als Fänger freier Sauerstoffradikale eine positive Wirkung auf den menschlichen Stoffwechsel (Pérez-López et al. 2013, Fratianni et al. 2007).

Enzymatische Antioxidantien in Pflanzen sind beispielsweise Katalasen und Peroxidasen, wie die Ascorbat-Peroxidase. Zusätzlich gibt es auch nicht-enzymatische Stoffe mit niedrigerem molarem Gewicht und antioxidativen Eigenschaften wie Ascorbinsäure, Glutathion, Carotinoiden, Phenolen und Chlorophyllen (Pérez-López et al. 2013, Nouraei et al. 2018).

Das Vorhandensein von Polyphenol-Oxidase (PPO) ist ein wichtiger Faktor in Bezug auf die antioxidative Kapazität von Artischocken. Polyphenol-Oxidase ist unter anderem für die Zersetzung von Polyphenolen verantwortlich (Pandino et al., 2017). So verlieren nach der Ernte Sorten wie beispielsweise Exploter durch den Abbau von Phenolen infolge einer höheren PPO-Aktivität schneller an antioxidativer Kapazität als andere Sorten (Pandino et al. 2017).

Pandino et al. (2017) fanden signifikante Zusammenhänge zwischen einem späteren Erntetermin, durch den die Artischocken-Knospen größerer Sonneneinstrahlung und höherer Temperatur ausgesetzt waren und einer erhöhten antioxidativen Kapazität. Ähnliche Ergebnisse beschrieben Claus et al. (2015). Bei ihrem Versuch wurde getrennt nach Dornen, äußeren Deckblättern, inneren Deckblättern und Blütenboden die antioxidative Kapazität gemessen. Die Forscher stellten fest, dass die Dornen von Artischocken-Knospen die höchste antioxidative Kapazität besitzen. Nouraei et al. (2018) fanden, dass Artischocken unter Trockenstress eine höhere antioxidative Kapazität haben.

Trotz des Wissens um die verschiedensten Stoffe, wie unter anderem Chlorophyllen, Phenolen, Enzymen wie Ascorbat-Peroxidase und PPO, die die antioxidative Kapazität von Artischocken-Knospen beeinflussen, werden in keiner Studie alle Parameter zusammen analysiert (Pérez-López et al. 2013, Nouraei et al. 2018, Pandino et al. 2017, Claus et al. 2015). Dagegen werden einige Faktoren in Bezug auf die antioxidative Kapazität als signifikant und bedeutend herausgestellt: der Erntezeitpunkt, das Alter der Pflanze und die Sorte (Petropoulos et al. 2018, Lombardo et al. 2012).

Die antioxidative Kapazität verschiedener Artischocken-Genotype, zu verschiedenen Erntezeitpunkten mit verschiedenen Anbaubedingungen ist ferner ein Argument für vertiefende Inhaltsstoffanalysen antioxidativer Stoffe, wie Phenolen und Flavonoiden. Es lassen sich aufgrund der antioxidativen Kapazität Rückschlüsse auf die industriellen Verwendungsmöglichkeiten der jeweiligen Sorte ziehen (Lombardo et al. 2012, Pandino et al. 2017). Wenn die antioxidative Kapazität hoch ist, kann von einer schnelleren Verbräunung und einer geringen Eignung zur Konserven-Verpackung ausgegangen werden (Ruíz-Cano et al. 2014). Artischocken mit hoher antioxidativer Kapazität eignen sich gut zur Gewinnung von Extrakten (Lombardo et al. 2012, Fratianni et al. 2007). Außerdem gilt laut Hatoum et al. (2016), dass mit einem geringen Oxidationspotential eine höhere Resilienz gegen Schäden und Beschädigungen des Erntematerials einhergeht.

3 Material und Methoden

3.1 Feldversuch und Pflanzenmaterial

Der Feldversuch wurde auf dem Gelände des Lehr- und Forschungszentrums Jedlersdorf der Universität für Bodenkultur Wien (162 m über dem Meeresspiegel) auf einer Fläche von 900 m² angelegt. Der Feldversuch begann 2017 und endete 2019. Der Bodentyp des Versuchsgeländes ist ein sandiger Lehm auf Donauschotter mit einem pH-Wert von 7,5 – leicht über dem pH-Optimum der Artischocke (6,5-7; Weinheimer 2014, Wohneberger et al. 2004). Das Klima am Standort am Rande des Pannonikum ist charakterisiert durch warme, eher trockene Sommer und eher kalte Winter mit einer windexponierten Lage. Die Temperatur im langjährigen Mittel beträgt 10,4 °C, im Januar -0,02 °C und im August 19,8 °C bei Niederschlägen von jährlich 641 mm, im Januar 40 mm und im August 66 mm. Es gibt jährlich 1913 Sonnenstunden, von denen 1105 Sonnenstunden in die Periode zwischen März und September fallen (MA23 2019, BOKU 2019).

Es wurden zehn Artischocken-Sorten in drei aufeinanderfolgenden Jahren angebaut. Die angebauten Sorten waren Amethyste F1, Green Globe, Imperial Star F1, Lancelot F1, Madrigal F1, Olympus F1, Opal F1, Opera F1, Symphony F1 und Vert de Provence.

Im Jahr 2017 konnten aufgrund von kalter Witterung nur sechs der zehn angebauten Sorten geerntet werden: Amethyste F1, Green Globe, Imperial Star F1, Olympus F1, Opal F1 und Vert de Provence. Die Artischocken des Jahres 2017 froren alle im Winter ab.

Für den Anbau 2018 wurden die 10 oben genannten Artischockensorten neuerlich zuerst im Gewächshaus als Jungpflanzen angezogen und anschließend angebaut. Die Artischocken aus dem Jahr 2018 konnten alle geerntet werden, überwinterten und stellten so auch das Pflanzenmaterial im Jahr 2019 dar.

Somit sind die Artischocken der Jahre 2017 und 2018 einjährige und die Artischocken des Jahres 2019 zweijährige Pflanzen.

Es wurde 2017 und 2018 jeweils Mitte März bzw. Mitte April mit der Jungpflanzenanzucht begonnen. Nach einer Vernalisationsphase wurden die Pflanzen dann Ende Mai (2017) und Anfang Juni (2018) mit Abständen von 1 m in der Reihe, 1,5 m zwischen den Reihen und 2 m Abstand je Parzelle auf dem Feld angebaut. Die Artischocken wurden weder gedüngt noch bewässert. Die Ernte fand 2017 zwischen dem 8.8. und 14.9.2017, 2018 zwischen dem 8.6. und 11.10.2018 und 2019 zwischen dem 17.6. und 11.7.2019 statt. Es

wurden nicht die Hauptknospen zur Analyse herangezogen, sondern kleinere, tieferliegende Knospen. Die Weiterverarbeitung der Proben für die Laboranalysen war mit diesen kleineren Knospen in Anbetracht der im Labor vorhandenen Instrumente besser durchzuführen. Die Verteilung der Inhaltsstoffe ist laut Salata et al. (2012) bei Reife der jeweiligen Knospe an der entsprechenden Pflanze gleich. So hat jede reife Knospe an einer Artischocken-Pflanze die gleiche chemische Zusammensetzung.

Aus den zehn Sorten in drei verschiedenen Jahren wurden trotz Verlusten durch die Witterung 28 verschiedene Probenblocks mit jeweils 4 Wiederholungen in 112 Proben ausgewertet. Im Rahmen dieser Masterarbeit sollte vor allem auf Sortenunterschiede sowie Korrelationen zwischen den einzelnen Parametern geschaut werden.

3.2 Klima

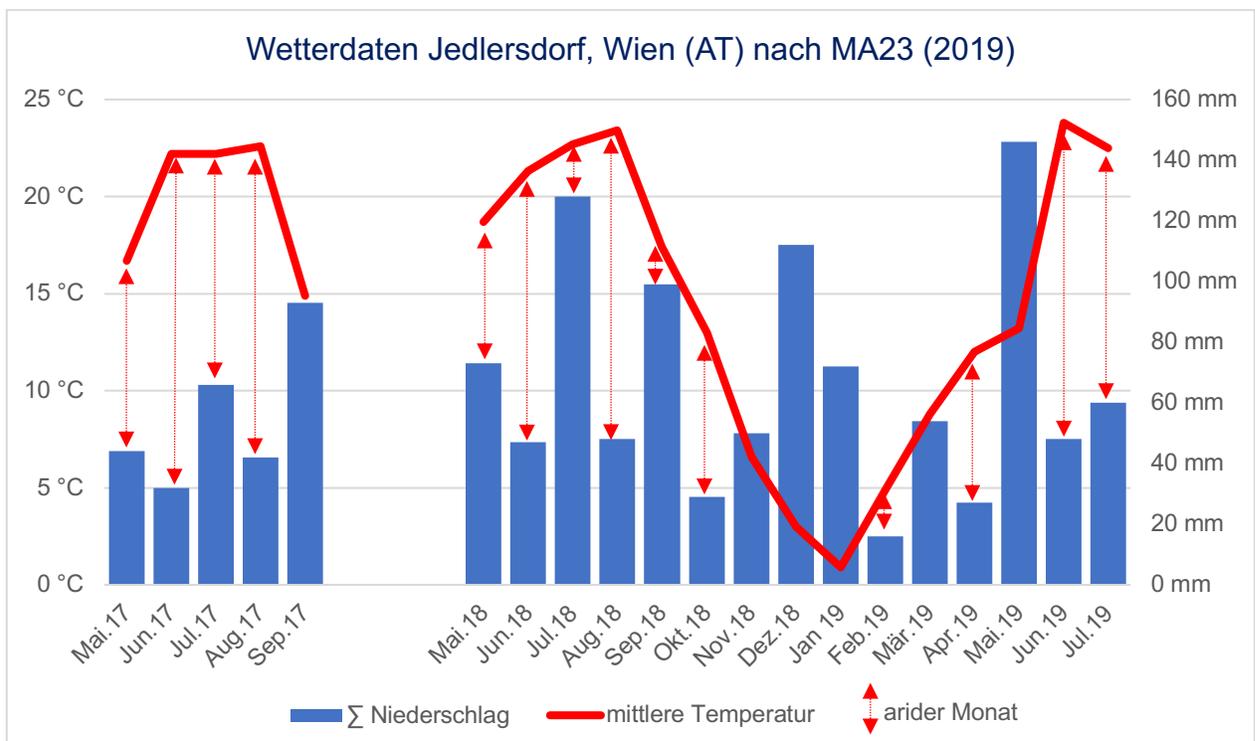


Abbildung 3.1 Summe der monatlichen Nieseschläge (mm) und mittlere Temperatur (°C) während der Vegetationsperiode und dem Winter 2018 und 2019 in Jedlersdorf, Wien in den Jahren 2017, 2018 und 2019 nach MA23 (2019)

Das kontinentale Wetter am Standort Wien Jedlersdorf im Westen des Pannonikums ist geprägt durch warme, trockene Sommer und kalte, trockene Winter. Abbildung 3.1 zeigt, dass während der Vegetationsperiode der Artischocken von Frühjahr bis Sommer das Klima durchweg arid war, außer im März und Mai 2019. Das Jahr 2017 war trocken mit maximalem Niederschlag in der Vegetationsperiode der Artischocken im September 2017 (93 mm) zur Ernte (Abbildung 3.1). Im Jahr 2018 war der Juli der niederschlagsreichste Monat mit 128 mm (Tabelle 3.1). Demgegenüber war im Jahr 2019 der Mai jener Monat mit der höchsten Präzipitation (146 mm).

Die Jahre 2017 und 2018 waren mit durchschnittlichen Temperaturen im Mai über 16,7 °C und ab Juni über 21,3 °C warm für Artischocken, die optimale Wachstumsbedingungen bei 12-18 °C haben (Rana & Aslam 2018). Der Mai 2019 war sehr feucht mit 146 mm und eher kühl mit einer Durchschnittstemperatur von 13,2 °C. Der Juni und der Juli 2019 waren wiederum warm und trocken (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1 Wetterdaten Jedlersdorf, Wien nach MA23 (2019)

Monat	mittlere Temperatur	Σ Niederschlag	Temperaturmax.	Temperaturmin.
Mai 17	16,7 °C	44 mm	32,4 °C	0,8 °C
Jun 17	22,2 °C	32 mm	34,6 °C	11,5 °C
Jul 17	22,2 °C	66 mm	34,6 °C	11,9 °C
Aug 17	22,6 °C	42 mm	38,4 °C	10,8 °C
Sep 17	14,9 °C	93 mm	27,3 °C	7,2 °C
Mai 18	18,7 °C	73 mm	29,6 °C	10,2 °C
Jun 18	21,3 °C	47 mm	33,5 °C	11,6 °C
Jul 18	22,7 °C	128 mm	33,4 °C	9,4 °C
Aug 18	23,4 °C	48 mm	35,2 °C	10,4 °C
Sep 18	17,4 °C	99 mm	30,4 °C	3,1 °C
Okt 18	13 °C	29 mm	23,3 °C	4,6 °C
Nov 18	6,6 °C	50 mm	18,1 °C	-5,2 °C
Dez 18	3 °C	112 mm	12,6 °C	-3,1 °C
Jan 19	0,9 °C	72 mm	12,1 °C	-8,2 °C
Feb 19	4,9 °C	16 mm	18,7 °C	-4,8 °C
Mrz 19	8,8 °C	54 mm	21,2 °C	-0,9 °C
Apr 19	12 °C	27 mm	27,2 °C	1,7 °C
Mai 19	13,2 °C	146 mm	25,3 °C	2,8 °C
Jun 19	23,8 °C	48 mm	35,7 °C	14,1 °C
Jul 19	22,5 °C	60 mm	37 °C	13,3 °C

3.3 Lagerung der geernteten Artischocken-Knospen, Extraktion mit Ethanol und Wasser
 Die Artischocken-Knospen wurden nach der Ernte direkt in wiederverschließbare Plastiktüten verpackt und bei -18 °C Temperatur eingelagert. Die Proben wurden ab Juli 2019 weiter zu Extrakten verarbeitet. Der erste Schritt dazu war es, die Proben in einem Gefriertrockner Modell Alpha 1-2 LDplus der Firma Christ (Osterode, Deutschland) bei -55 °C für 72 h gefrierzutrocknen. Anschließend wurden die Artischocken-Proben mit einer IKA Tube Mill Control 100-Labormühle (Staufen, Deutschland) homogenisiert.

Herstellung des Ethanol-Extrakts

Es wurden Ethanol-Extrakte nach Keutgen und Pawelzik (2007) zur Auswertung von Chlorophyllen, Gesamtcarotinoiden, Gesamtphenolen und Gesamtflavonoiden

hergestellt. Hierzu wurden von dem jeweiligen Probenpulver 0,1 g in ein Reagenzglas eingewogen, und 5 mL Ethanol hinzugegeben. Die Proben wurden mit Ethanol in einem Revolvermischer 10 min vermischt und dann für 15 Minuten bei 4000 U min^{-1} zentrifugiert. Der Überstand wurde anschließend in einen 20 mL Erlenmeyerkolben überführt. Dieser Vorgang wurde insgesamt viermal wiederholt, sodass ein Extraktvolumen von 20 mL erstellt wurde.

Herstellung des Wasser-Extrakts

Zur Messung von Nitratgehalt und reduzierenden Zuckern wurden Wasser-Extrakte hergestellt. Hierzu wurde 0,2 g Trockenmasse der Proben in ein Reagenzglas eingewogen und mit 20 mL destilliertem Wasser benetzt. Die Eprouvetten wurden nun verschlossen für 60 min in einem $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ warmen Wasserbad belassen. Alle 15 Minuten wurde das Extrakt umgerührt. Nach dem Wasserbad wurden je 0,5 mL Carrez I (Kaliumhexacyanidoferrat(II)) und Carrez II (Zinkacetat) in die Eprouvette gegeben, um Trübstoffe zu entfernen. Anschließend wurden die Reagenzien durch Filterpapierscheiben in Erlenmeyerkolben abfiltriert. Die jeweiligen Extrakte wurden bis zur Verwendung bei $-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ eingefroren.

3.4 Nitrat

Zur Bestimmung des Nitratsgehaltes wurde der Wasser-Extrakt genutzt. Vorab wurde eine Standardgerade mit sechs Standards einer Nitratlösung (50 mg L^{-1} Nitrat) mit deionisiertem Wasser in den Verdünnungsstufen 0 mg L^{-1} , $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, 1 mg L^{-1} , $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ und 5 mg L^{-1} hergestellt. Von den Standards wurde 1 mL in ein Kulturröhrchen mit weiteren 1 mL Mischreagenz, das aus 0,5 mL Sulfanilsäure (1 g Sulfanilsäure in 100 mL 3 M HCL) und 0,5 mL NNED (N-(1-Naphthyl)ethylendiamin-dihydrochlorid-Lösung, 200 mg L^{-1}) besteht, und 1 mL Vanadium(III)-Chlorid vermischt. Anschließend wurden die Kulturröhrchen für 30 min in ein $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ warmes Wasserbad gestellt. Dann wurden die Standards in eine Halbmikroküvette überführt und die Absorption bei 540 nm in einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer (Santa Clara, USA) gemessen. Mit 1 mL Probenextrakt und den gleichen Reagenzien und Mischverhältnissen wurden die Proben gemessen.

3.5 Reduzierende Zucker

Zur Messung der reduzierenden Zucker wurden sechs Standards erstellt. Zuerst wurde das Farbreagenz „Dinitrophenol“ (DNP) aus 2,4 g Dinitrophenol, 230 mL 5% Natronlauge, 2,5 g kristallinem Phenol, 100 g Kaliumnatriumtartrat und 500 mL deionisiertem Wasser erstellt. Die Standards wurden jeweils aus 3 mL DNP, deionisiertem Wasser und Glukosestammlösung in den Verdünnungsstufen 0, 100, 200, 300, 400 und 500 mg D-Glucose L⁻¹ hergestellt. Die so präparierten Standards wurden für 10 min in ein 81 °C warmes Wasserbad gestellt, in Halbmikroküvetten überführt und bei 600 nm an einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer (Santa Clara, USA) gemessen. Für die Proben wurden 400 µL Wasser-Extrakt verwendet, sowie 1,2 mL DNP. Die Lösungen wurden in Halbmikroküvetten überführt und die Absorption bei 600 nm am Photometer gemessen.

3.6 Chlorophyll und Gesamtcarotinoid-Messung

Der Chlorophyll a-, Chlorophyll b-, Gesamtchlorophyll- und Gesamtcarotinoid-Gehalt wurde nach der Überführung des Ethanol-Extraktes in Halbmikroküvetten ohne Zugabe anderer Reagenzien an einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer (Santa Clara, USA) bei Wellenlängen von 470 nm, 653 nm und 666 nm gemessen.

Die gemessenen Werte wurden mit folgenden Formeln ausgewertet:

Chlorophyll a-Konzentration:

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g mL}^{-1}): C_a = 15,65 * A_a - 7,34 * A_b$$

$$\text{Chlorophyll a } (\text{g kg}^{-1}) = \left(\frac{V * C_a}{m}\right)/1000$$

Chlorophyll b-Konzentration:

$$\text{Chlorophyll b } (\mu\text{g mL}^{-1}): C_b = 27,05 * A_b - 11,21 * A_a$$

$$\text{Chlorophyll b } (\text{g kg}^{-1}) = \left(\frac{V * C_b}{m}\right)/1000$$

Gesamtchlorophyll-Konzentration:

$$\text{Gesamtchlorophyll } (\text{g kg}^{-1}) = \text{Chlorophyll a } (\text{g kg}^{-1}) + \text{Chlorophyll b } (\text{g kg}^{-1})$$

Gesamtcarotinoid-Konzentration:

$$\text{Gesamtcarotinoide } (\mu\text{g mL}^{-1}): C_c = (1000 * A_c - 2,86 * C_a - 129,2 * C_b)/221$$

$$\text{Gesamtcarotinoide (g kg}^{-1}\text{)} = \left(\frac{V * C_c}{m}\right)/1000$$

A_a ... Messwert 666 nm (µg mL⁻¹)

A_b ... Messwert 653 nm (µg mL⁻¹)

A_c ... Messwert 470 nm (µg mL⁻¹)

V ... Extraktionsvolumen (mL)

m ... Einwaage (g)

3.7 Chlorogensäure-Gehalt

Zur Messung des Chlorogensäure-Gehalts wurde der Wasserextrakt wie oben beschrieben genutzt. Für die Bestimmung wurde eine Standardreihe in den Stufen 0, 50, 100, 200, 300 und 400 mg L⁻¹ Chlorogensäure genutzt, wobei die Standard-Lösung mit jeweils 0,17 mol L⁻¹ Harnstoff und 0,1 mol L⁻¹ Essigsäure versetzt wurde und für 15 s mithilfe eines Vortex gemischt. Nach der Zugabe von 0,14 mol L⁻¹ NaNO₂ wurde das Kulturröhrchen mit den Reagenzien kurz auf dem Vortex gemischt und dann für 2 min inkubiert. Danach wurde 0,5 mol L⁻¹ NaOH hinzugegeben, die Reagenzien kurz auf dem Vortex gemischt und die Kulturröhrchen bei 4 °C und 4000 Umdrehungen min⁻¹ für 10 min zentrifugiert. Der Überstand wurde in die Messküvetten gegeben und bei 510 nm in einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer (Santa Clara, USA) gemessen.

In gleicher Art und Weise wurde für die weitere Einwaage verfahren. Diese wurden aber im letzten Schritt nach dem Zentrifugieren vor der Überführung des Überstands in einem Mischverhältnis von 1:4 mit deionisiertem Wasser verdünnt und dann in die Messküvette überführt und die Absorption bei 510 nm im Photometer Agilent Cary 60 UV-Vis (Santa Clara, USA) gemessen.

3.8 Gesamtflavonoide

Für die Messung der Gesamtflavonoide in ethanolischen Lösung wurden sechs Standards mit Verdünnungsstufen einer Rutinstammlösung und deionisiertem Wasser von 0, 50, 100, 150, 200 und 1000 mg L⁻¹ hergestellt. Vorbereitete Standards wurden entsprechend mit dem deionisiertem Wasser und einer Natriumnitritlösung (5% im Wasser) versetzt, 6

min inkubiert, dann mit einer Aluminiumchloridlösung (10% im Wasser) angereichert, erneut 6 min inkubiert und zuletzt nach einer Zugabe von NaOH-Lösung (5% im Wasser) 15 min in der Dunkelheit und anschließend bei einer Wellenlänge von 510 nm mit einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer (Santa Clara, USA) gemessen. Die Proben wurden nach gleicher Schemata vermessen.

3.9 Gesamtphenole

Der Gesamtphenol-Gehalt wurde mithilfe der Folin-Ciocalteu-Methode gemessen. Die Folin-Ciocalteu-Methode misst, ähnlich wie die FRAP-Methode (Kapitel 3.10), die reduzierende Kapazität der zu beprobenden Stoffe (Huang et al. 2005). Hierzu wird zuerst das Folin-Ciocalteu-Reagenz hergestellt (Singleton & Rossi 1965). Wenn reduzierende Stoffe mit dem Folin-Ciocalteu-Reagenz vermischt werden, verfärbt sich dieses blau. Da das Folin-Ciocalteu-Reagenz außer bei alkalischem pH-Wert nicht speziell auf Phenole, sondern generell auf Reduktionsmittel reagiert, wurde zusätzlich 1 mL NaOH zu den Proben gegeben. Die Standards wurden auf der Basis einer Gallussäure-Arbeitslösung hergestellt mit den Verdünnungsstufen der Standards von 0, 3,304, 6,608, 9,912, 13,216 und 19,858 mg L⁻¹. Anschließend wurde 0,1 mL des jeweiligen Probenextraktes in ein Kulturröhrchen mit 2,8 mL deionisierten Wasser gegeben. Hinzugefügt wurden noch jeweils 1 mL NaOH und 1 mL Folin-Ciocalteu-Reagenz. Die Kulturröhrchen wurden nun für 15 min bei 37 °C in ein Wasserbad gestellt. Dann wurde das präparierte Reagenz in Halbmikroküvetten überführt und die Absorption bei 735,8 nm an einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer gemessen (Santa Clara, USA; Keutgen & Pawelzik 2007).

3.10 Antioxidative Kapazität

Zur Bestimmung der antioxidativen Kapazität der Artischocken-Proben wurde der FRAP-Test (Ferric Ion Reducing Antioxidant Power Assay) angewendet (Huang et al. 2005). Dieser Test bestimmt die reduzierenden Eigenschaften von Antioxidantien in der Probe. Wenn Antioxidantien in der Probe vorhanden sind, wird bei niedrigem pH-Wert (3,6) der Eisen(III)-Tripyridyltriazin-Komplex zur Eisen(II)-Form dieses Komplexes reduziert. Die entstandene Eisen(II)-Form mit ihrer intensiven blauen Farbe wird bei 595 nm photometrisch gemessen. Zuerst ist eine Eisen(II)-Sulfat-Kalibrierung mit sechs

Standards durchzuführen. Die Verdünnungsstufen der Eisensulfatstammlösung mit deionisiertem Wasser für die Standards waren 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 und 1,0 mmol L⁻¹. Die präparierten Standards wurden mit 1 mL FRAP-Reagenz (110 mL Acetat-Buffer, 11 mL TPTZ-Lösung, 10 mL Eisenchlorid-Lösung und 13,2 mL deionisiertem Wasser) versetzt und für 4 Minuten in ein Wasserbad bei 37 °C inkubiert. Anschließend wurden die Standards in Halbmikroküvetten überführt und die Absorption bei 593 nm in einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer (Santa Clara, USA) gemessen. Anhand dieser Standard-Kalibrierung wurde der FRAP-Wert in Fe²⁺-Äquivalent der Proben ermittelt (Netzel 2011). Danach wurde mit 0,1 mL Ethanol-Extrakt jeder Probe in der gleichen Art und Weise wie für die Standards unter Zugabe von 1 mL FRAP-Reagenz und anschließendem vierminütigem Wasserbad bei 37 °C die Antioxidative Kapazität der Artischocken-Proben ermittelt. Wenn nötig wurde die Probe mit einer Verdünnung von 1:2 verdünnt.

3.11 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der Messergebnisse erfolgte mit dem Statistik-Programm SPSS (Version 26). Die einzelnen Messungen wurden mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ analysiert. Es wurden:

- die sechs in allen drei Jahren geernteten Sorten (alle Werte jener sechs Sorten in 2017, 2018 und 2019; siehe Ergebnisse Kapitel 4.1),
- die Jahreseffekte (alle Messwerte aller Sorten jeden Jahres; siehe Ergebnisse Kapitel 4.2)
- die Sorten in den einzelnen Jahren (jede Sorte einzeln; siehe Anhang, Kapitel 8.1), bezüglich statistisch signifikanter Unterschiede analysiert.

Zuerst wurde mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests geprüft, ob eine Normalverteilung vorliegt. Waren die Messergebnisse normalverteilt, wurde der Levene-Test zur Bestimmung der Varianzhomogenität durchgeführt. Wenn die Varianz homogen verteilt war, wurde eine ANOVA durchgeführt. War diese signifikant, wurden in weiterer Folge mit dem Tukey-Post-Hoc-Test die Mittelwerte verglichen und gruppiert. Fiel der Levene-Test unter das 5%-Signifikanz-Niveau, wurde aufgrund der geringen Zahl an

Messwiederholungen der Dunnett T3-Post-Hoc-Test zur Gruppierung signifikanter Sortenunterschiede angewendet.

Waren die Messergebnisse nicht normalverteilt, wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt, um zu prüfen, ob es statistisch signifikante Unterschiede in den nicht normalverteilten Messergebnissen gab. War der Kruskal-Wallis-Test mit einer Signifikanz von unter 5% positiv, wurde anschließend mit dem Mann-Whitney-U-Test geprüft, ob es Sortenabhängigkeiten zwischen den Mittelwerten gab. Das Signifikanzniveau wurde in diesem Fall nach Bonferroni korrigiert: $P = 0.05/N$ mit $N =$ Anzahl der zu vergleichenden Varianten.

Zusätzlich wurde noch ein Kruskal-Wallis-Test der Rankings der Messwerte der in allen drei Jahren vorhandenen sechs Sorten durchgeführt (im Anhang, siehe Kapitel 8.2). So sollte geprüft werden, ob eine statistisch signifikante Reihung dieser Sorten festzustellen war.

Außerdem wurden die Messergebnisse der drei Jahre zusammen nach Pearson bezüglich ihrer linearen Zusammenhänge verglichen (Ergebnisse, Kapitel 4.3).

4 Ergebnisse

4.1 Sortenunterschiede über 3 Jahre

Über die gesamten Versuchszeit (2017-2019) gemittelt unterschieden sich die Sorten Green Globe und Olympus F1 signifikant in ihrem Chlorophyll a und b- sowie dem Gesamtchlorophyll-Gehalt voneinander. Es handelte sich bei Green Globe um die Sorte mit den jeweils höchsten und bei Olympus F1 um die Sorte mit den niedrigsten Chlorophyllgehalten (Tabelle 4.1).

Bezüglich der Gesamtcarotinoidgehalte waren Unterschiede zwischen der Sorte mit dem höchsten (Green Globe) und niedrigsten Carotinoidgehalt (Vert de Provence) festzustellen. Die Sorte Opal F1 mit dem zweithöchsten Nitratgehalt unterschied sich von Green Globe mit dem zweitniedrigsten Wert (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.1 Sortenunterschiede in den Chlorophyll- und Carotenoidgehalten der 6 Sorten über drei Jahre gemittelt. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede an.

	Chl a	Chl b	GChl	Caro
Amethyste F1	681,99±184,67 ab	169,34±30,79 ab	851,33±212,92 ab	36,42±10,34 b
Green Globe	785,86±160,79 a	187,46±33,02 a	973,32±188,41 a	54,50±15,70 a
Imperial Star F1	663,26±177,41 ab	155,99±48,02 ab	819,25±222,36 ab	58,70±30,55 ab
Olympus F1	536,30±172,49 b	130,89±48,57 b	667,19±196,43 b	43,76±23,87 ab
Opal F1	751,86±230,85 ab	168,01±38,92 ab	919,86±264,80 ab	43,72±15,03 ab
Vert de Provence	641,08±180,15 ab	159,97±37,81 ab	801,05±215,54 ab	36,32±12,42 b
Transformation	--	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,200*	0,200*	0,200*	0,004
Shapiro-Wilk	0,076	0,868	0,196	0,000
ANOVA	0,028	0,033	0,022	--
Levene	0,611	0,790	0,803	--
Kruskal-Wallis	--	--	--	0,013
Post-Hoc	Tukey	Tukey	Tukey	Mann-Whitney-U

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

^a: Chl a ist Chlorophyll a mg kg⁻¹ TM, Chl b ist Chlorophyll b mg kg⁻¹ TM, GChl ist Gesamtchlorophyll mg kg⁻¹ TM, Caro ist Gesamtcarotenoidgehalt mg kg⁻¹ TM, Nitrat ist Nitrat mg kg⁻¹ TM, RedZu ist Reduzierende Zucker mg kg⁻¹ TM, Chloro ist Chlorogensäure g kg⁻¹ TM, Flavo ist Gesamtflavonoide g kg⁻¹ TM, Phe ist Gesamtphenolgehalt in g kg⁻¹ TM, AntiOx ist Antioxidative Kapazität in Fe+ mM kg⁻¹ TM

Tabelle 4.2 Sortenunterschiede in den Gehalten von Nitrat, Reduzierenden Zuckern, Chlorogensäure, Gesamtflavonoiden, Gesamtphenolen und der Antioxidativen Kapazität in 6 Sorten über 3 Jahre gemittelt. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede an.

	Nitrat	RedZu	Chloro	Flavo	Phe	AntiOx
Amethyste F1	18,73±17,81 ab	55,73±11,68 a	1,36±0,40 a	51,48±25,38 a	0,60±0,30 a	0,15±0,12 a
Green Globe	18,81±24,12 b	47,69±10,17 a	1,49±0,33 a	37,58±13 a	0,53±0,21 a	0,12±0,05 a
Imperial Star F1	90,92±129,04 ab	53,36±24,33 a	1,50±0,45 a	45,84±23,55 a	0,55±0,33 a	0,06±0,02 a
Olympus F1	36,26±48,06 ab	59,23±26,67 a	1,49±0,50 a	33,78±8,41 a	0,42±0,11 a	0,07±0,04 a
Opal F1	61,20±52,52 a	52,27±10,83 a	1,58±0,46 a	54,01±19,76 a	0,63±0,23 a	0,14±0,09 a
Vert de Provence	56,17±105,34 ab	47,41±20,17 a	1,17±0,27 a	30,48±14,98 a	0,35±0,16 a	0,08±0,04 a
Transformation	f(x)=ln(x)	--	--	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,000	0,200*	0,200*	0,000	0,000	0,000
Shapiro-Wilk	0,000	0,235	0,113	0,005	0,000	0,000
ANOVA	--	0,600	0,042	--	--	--
Levene	--	--	0,042	--	--	--
Kruskal	0,030	--	--	0,102	0,104	0,191
Post-Hoc	Mann-Whitney-U	--	Dunnett's T3	--	--	--

4.2 Jahreseffekte

Die Mittelwerte aller Sortenmessungen des Chlorophyll a- und Gesamtchlorophyllgehalts unterschieden sich in den Jahren 2017 zu 2018 und 2019. Die Chlorophyll b-Messung zeigte hingegen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2017 und 2019.

Die Messungen der Gesamtcarotinoide des Jahres 2018 wies statistische Unterschiede zu den Messungen der Jahre 2017 und 2019 auf (Tabelle 4.3).

Die Nitratgehalte unterschieden sich in jedem Jahr voneinander. Weitere Unterschiede bestanden zwischen den Jahren 2018 zu 2017 und 2019 bezüglich des Chlorogensäuregehalts. Der Gesamtphenolgehalt und die Antioxdiative Kapazität zeigten Unterschiede zwischen den Jahren 2018 und 2019 (Tabelle 4.4).

Tabelle 4.3 Jahreseffekte der Chlorophyll- und Gesamtcarotinoidgehalte in drei Versuchsjahren über alle Artischockensorten gemittelt.

	Chl a	Chl b	GChl	Caro	Chl a/b
2017	840,20±19,33 a	174,94±198,35 a	1015,14±243,60 a	55,25±13,34 a	4.80
2018	575,13±14,14 b	163,38±123,70 ab	738,50±154,16 b	31,21±8,88 b	3.52
2019	614,85±8,34 b	147,51±147,97 b	762,36±183,39 b	50,25±26,46 a	4.17
Transformation	--	$f(x)=x^2$	--	--	
Kolmogorov-Smirnov	0,200*	0,200*	0,200*	0,004	
Shapiro-Wilks	0,076	0,868	0,196	0,000	
ANOVA	0,000	0,048	0,000	--	
Levene	0,127	0,408	0,143	--	
Kruskal-Wallis	--	--	--	0,000	
Post-Hoc	Tukey	Tukey	Tukey	Mann-Whitney-U	

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

^a: Chl a ist Chlorophyll a mg kg⁻¹ TM, Chl b ist Chlorophyll b mg kg⁻¹ TM, GChl ist Gesamtchlorophyll mg kg⁻¹ TM, Caro ist Gesamtcarotinoidgehalt mg kg⁻¹ TM, Nitrat ist Nitrat mg kg⁻¹ TM, RedZu ist Reduzierende Zucker mg kg⁻¹ TM, Chloro ist Chlorogensäure g kg⁻¹ TM, Flavo ist Gesamtflavonoide g kg⁻¹ TM, Phe ist Gesamtphenolgehalt in g kg⁻¹ TM, AntiOx ist Antioxidative Kapazität in Fe+ mM kg⁻¹ TM

Tabelle 4.4 Jahreseffekte der Gehalte von Nitrat, reduzierenden Zuckern, Chlorogensäure, Gesamtflavonoiden, Gesamtphenolen und der Antioxidativen Kapazität in drei Versuchsjahren über alle Artischockensorten gemittelt

	Nitrat	RedZu	Chloro	Flavo	Phe	AntiOx
2017	87,60±90,80 a	66,43±0,09 a	1,69±0,06 a	41,44±31,41 a	0,56±0,31 ab	0,14±0,10 ab
2018	46,08±80,66 b	38,72±0,08 a	1,07±0,07 b	40,55±7,20 a	0,38±0,07 b	0,06±0,03 b
2019	7,36±7,78 c	52,71±0,01 a	1,53±0,06 a	44,60±13,36 a	0,60±0,24 a	0,11±0,05 a
Transformation	--	--	--	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,000	0,200*	0,200*	0,000	0,000	0,000
Shapiro-Wilks	0,000	0,235	0,113	0,005	0,000	0,000
ANOVA	--	0,000	0,000	--	--	--
Levene	--	0,008	0,684	--	--	--
Kruskal-Wallis	0,000	--	--	0,266	0,010	0,001
Post-Hoc	Mann-Whitney-U	Dunnett's T3	Tukey	Mann-Whitney-U	Mann-Whitney-U	Mann-Whitney-U

4.3 Korrelationsanalyse der Jahre 2017, 2018 und 2019

Die über alle drei Anbaujahre gemessenen Gesamtchlorophyll-Werte korrelierten positiv mit der Antioxidativen Kapazität ($r=0,469$), dem Gesamtphenolgehalt ($r=0,377$), dem Flavonidgehalt ($r=0,282$) und dem Chlorogensäuregehalt ($r=0,386$). Ähnlich der Korrelationen des Gesamtchlorophyllgehalts zu den Phenolen bestanden positive statistische Beziehungen von Chlorophyll a zur Antioxidativen Kapazität ($r=0,494$), zum Gesamtphenolgehalt ($r=0,400$), zum Flavonidgehalt ($r=0,280$) und zum Chlorogensäuregehalt ($r=0,419$, Tabelle 4.5). Wie der Chlorophyll a-Gehalt korrelierte der Chlorophyll b-Gehalt positiv mit der Antioxidativen Kapazität ($r=0,277$) und dem Flavonidgehalt ($r=0,245$). Weitere positive statistische Beziehungen wurden zwischen dem Gesamtcarotinidgehalt und dem Gesamtphenolgehalt ($r=0,485$) und dem Chlorogensäuregehalt ($r=0,421$) festgestellt (Tabelle 4.5).

Die Messwerte der Reduzierenden Zucker korrelierten positiv mit der Antioxidativen Kapazität ($r=0,260$), dem Chlorogensäuregehalt ($r=0,340$) und den Gesamtcarotinoiden ($r=0,295$).

Zudem bestanden positive, zum Teil hochsignifikante statistische Beziehung zwischen den Phenolen. So korrelierten die Messwerte der Antioxidativen Kapazität mit jenen der Gesamtphenole ($r=0,781$), mit den Flavonidgehalten ($r=0,664$) und mit den Chlorogensäuregehalten ($r=0,441$). Zudem korrelierten die Gesamtphenolgehalte mit den Flavonidgehalten ($r=0,780$) und mit den Chlorogensäuregehalten ($r=0,476$). Es wurde auch zwischen den Flavonoid- und den Chlorogensäuregehalten ($r=0,260$) eine Korrelation festgestellt.

Wie die Phenol-Messungen untereinander korrelierten auch die Pigment-Messungen miteinander. So korrelierten die Gesamtcarotinoide mit den Gesamtchlorophyllen ($r=0,568$), mit Chlorophyll a ($r=0,615$) und Chlorophyll b ($r=0,258$). Außerdem bestanden positive statistische Korrelationen zwischen dem Gesamtchlorophyllgehalt und dem Chlorophyll a-Gehalt ($r=0,994$) sowie dem Chlorophyll b-Gehalt ($r=0,861$). Der Chlorophyll a-Gehalt korrelierte positiv mit dem Chlorophyll b-Gehalt ($r=0,800$; Tabelle 4.5). Zudem korrelierten die Gehalte an Nitrat und Reduzierenden Zuckern positiv miteinander ($r=0,296$).

Tabelle 4.5 Korrelationen der Messergebnisse der Inhaltsstoffe der jeweiligen Artischocken-Sorten aus Jedlersdorf nach Pearson-Korrelationskoeffizient für die Jahre 2017, 2018 und 2019

	Nitrat	RedZu	Chl a	Chl b	GChl	Caro	Chloro	Flavo	Phe	AntiOx
Nitrat	1									
RedZu	0,296*	1								
Chl a	0,062	0,147	1							
Chl b	-0,081	-0,209	0,800**	1						
GChl	0,038	0,087	0,994**	0,861**	1					
Caro	0,035	0,265*	0,615**	,0258*	0,568**	1				
Chloro	0,127	0,340**	0,419**	0,167	0,386**	0,421**	1			
Flavo	0,024	-0,007	0,280*	0,245*	0,282*	0,156	0,260*	1		
Phe	-0,133	0,176	0,400**	0,208	0,377**	0,485**	0,476**	0,780**	1	
AntiOx	-0,040	,260*	0,494**	0,277*	0,469**	0,203	0,441**	0,664**	0,781**	1

** Korrelation ist hochsignifikant bei einem Signifikanzniveau von 0.01.

* Korrelation ist signifikant bei einem Signifikanzniveau von 0.05.

^a: Nitrat ist Nitrat mg kg⁻¹ TM, RedZu ist Reduzierende Zucker mg kg⁻¹ TM, Chl a ist Chlorophyll a mg kg⁻¹ TM, Chl b ist Chlorophyll b mg kg⁻¹ TM, GChl ist Gesamtchlorophyll mg kg⁻¹ TM, Caro ist Gesamtcarotinoidgehalt mg kg⁻¹ TM, Chloro ist Chlorogensäure g kg⁻¹ TM, Flavo ist Gesamtflavonoide g kg⁻¹ TM, Phe ist Gesamtphenolgehalt in g kg⁻¹ TM, AntiOx ist Antioxidative Kapazität in Fe+ mM kg⁻¹ TM

5 Diskussion

Nitratgehalt

Im Jahr 2019 wurden signifikant niedrigere Nitratgehalte (Mittelwert: 7,36 mg Nitrat kg⁻¹ TM) gemessen als in den Jahren 2017 (87,6 mg Nitrat kg⁻¹ TM) und 2018 (46,08 mg Nitrat kg⁻¹ TM; Tabelle 4.3). Begründen lassen sich die in den Jahren 2017 und 2018 höheren Nitratgehalte in den Artischockenknospen damit, dass diese Artischocken jeweils einjährig waren. Nur die Pflanzen aus dem Jahr 2019 waren zweijährige Pflanzen. Nach Petropoulos et al. (2018) nimmt der Ertrag von Artischocken bis zum dritten Anbau- und Nutzungsjahr zu. Dies lässt die Vermutung zu, dass das Nitrat in den Hauptertragsjahren effektiver in stickstoffhaltige Verbindungen eingebaut wird.

Die Nitratgehalte in Artischocken liegen weit unter den von der EU für andere Korbblütler angesetzten 2000 mg kg⁻¹ TM Nitrat (EUR-Lex 2019, Tabelle 8.1). Die gemessenen Nitratwerte sind zusätzlich als „niedrig“ nach der Einteilung der LGL Bayern (2019) einzustufen.

In zukünftigen Versuchen zum Artischocken-Anbau in Österreich könnten verschiedene Düngungsvarianten durchgeführt werden. Dies würde herausstellen, mit einer wie großen Düngergabe optimale Knospenerträge bei den Artischocken erzielt werden können. Durch die Entnahme von Bodenproben könnte der Boden-N-Gehalt bestimmt werden. Etwaiger Stickstoffverlust könnte in solch einem Versuch wieder durch zusätzliche Stickstoffgaben ausgeglichen werden. Dadurch ließe sich feststellen, welche der beprobten Sorten am Standort Jedlersdorf Stickstoff am effektivsten verstoffwechselt. Zudem würde getestet werden, ob die Nitratgehalte auch bei einer Düngung fern der durch die EU gesetzte Obergrenze von 200 mg kg⁻¹ TM Nitrat blieben.

Reduzierende Zucker

Die Interpretation der reduzierenden Zuckermessung ist nur eingeschränkt möglich, da nicht zwischen Inulin und reinen reduzierenden Zuckern (wie einzelnen Molekülen Fruktose oder Glukose) differenziert wird. Daher können die wenigen festgestellten Sortenunterschiede ohne weitere Differenzierung der Zucker nur schwer diskutiert werden.

Die negativen Korrelationen des Glukosegehaltes mit den Chlorophyllen zeigen, dass die Knospe von ein Sink-Gewebe ist, in dem Zucker gespeichert werden (Eaton-Rye et al. 2012). Die Messungen der Reduzierenden Zucker korrelierten außerdem sowohl mit den Carotinoiden als auch mit Phenolen, wie der Chlorogensäure (Tabelle 4.5). Im Zuge hoher Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung vor der Ernte steigt zuerst die Photosyntheseleistung der Pflanzen, was zu einer hohen Assimilat- und Zuckerproduktion führt (Eaton-Rye et al. 2012). Anschließend reift die Knospe und bildet gleichzeitig aufgrund von Temperatur und Sonneneinstrahlung vermehrt antioxidative Substanzen (Pandino et al. 2017).

Chlorophyll a-, Chlorophyll b- und Gesamtchlorophyllgehalt

Auffällig sind die höheren Chlorophyllgehalte 2017 (Gesamtchlorophyll-Mittelwert: 1015,14 $\mu\text{g kg}^{-1}$ TM) im Vergleich zu den Jahren 2018 und 2019 (Gesamtchlorophyll-Mittelwerte: 738,5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ TM bzw. 762,36 $\mu\text{g kg}^{-1}$ TM; Tabelle 4.3). Gleichzeitig ergaben sich positive Korrelationen zwischen den Gesamtchlorophyll-Messwerten aller Jahre mit den Phenolen, wie der Chlorogensäure, den Flavonoiden, den Gesamtphenolen und der Antioxidativen Kapazität (Tabelle 4.5). Diese Korrelationen sprechen mit einem Blick auf die Wetterdaten für eine sehr warme Periode, in der eine hohe Sonnenexposition gegeben war. Daher wurden sowohl Chlorophylle zur Photosynthese als auch Phenole, wie die Flavonoide, als Sonnenschutz gebildet (Di Ferdinando et al 2012, Heldt & Piechulla 2015). Das Verhältnis von Chlorophyll a zu Chlorophyll b (Tabelle 4.3) legt nahe, dass die Sonneneinstrahlung im Jahr 2018 geringer war, als in den Jahren 2017 und 2019. Bei direkter Sonneneinstrahlung wird vor allem Chlorophyll a gebildet, da dieses im Core und Light Harvesting Complex von Pflanzen vorkommt. Chlorophyll b ist nur im Light Harvesting Complex zu finden, weshalb Chlorophyll b bei schattigeren Verhältnissen vermehrt gebildet wird (Mierwoska et al. 2002). Vor allem 2017 und 2019 ist das Verhältnis von Chlorophyll a zu b hoch. Die spricht für eine intensivere Sonneneinstrahlung im Vergleich zum Jahr 2018 (Tabelle 4.3).

Mit einer längeren Versuchsdauer würden sich vielleicht diesbezüglich Sortenunterschiede ergeben, anhand derer man die Eignung der angebauten Sorten für den warmen und eher trockenen Standort Jedlersdorf im Westen des Pannonikums bestimmen kann.

Gesamtcarotinoide

Die Aussagen von Kadkhodaie et al. (2014) werden durch die Ergebnisse dieser Masterarbeit bestätigt. Die Forscher hatten festgestellt, dass Artischocken unter Wassermangel verstärkt Carotinoide bilden. Anhand der Analyse der Jahreseffekte (Tabelle 4.3) und der Wetterdaten (Tabelle 3.1) lässt sich auch für die in Jedlersdorf angebauten Artischocken diese Aussage treffen. Das Anbaujahr 2018 zeichnete sich durch einen feuchten Juli mit 128 mm Niederschlag aus (Tabelle 3.1). Ebenso wurden 2018 deutlich niedrigere Carotinoidgehalte gemessen (Mittelwert: 31,21 μg Carotinoide kg^{-1} TM, im Vergleich zu 55,25 μg Carotinoide kg^{-1} TM 2017; Tabelle 4.3).

Dagegen können die Ergebnisse dieser Masterarbeit die Aussagen von Yousefi & Yadegari (2016), dass bei einer vermehrten Produktion von Carotinoiden weniger Phenole wie die Chlorogensäure gebildet werden, nicht bestätigen (Tabelle 4.5). Es scheint anhand dieser Ergebnisse keine Konkurrenz bei der Produktion von Chlorogensäure und Carotinoiden in Artischocken zu geben wie von Yousefi & Yadegari (2016) postuliert.

Chlorogensäuregehalt

Ein Ziel dieser Masterarbeit war es, die Chlorogensäure-Gehalte der Artischocken aus Jedlersdorf mit anderen Versuchen zu Artischocken zu vergleichen. Der Chlorogensäure wird als Hauptphenol von Artischockenknospen besondere Aufmerksamkeit bei Analysen der Inhaltsstoffe geschenkt (Lombardo et al. 2018, Fratianni et al. 2007).

So wurden beispielsweise in den Arbeiten von Wang et al. (2003) Artischocken in Pittstown, New Jersey (USA) angebaut, im September 2001 geerntet und auf Unterschiede in Gesamtphenolgehalt und Chlorogensäure analysiert. Die Chlorogensäuregehalte lagen in der gleichen Größenordnung wie die Ergebnisse dieser Masterarbeit bei 2,1 bzw. 5,4 g Chlorogensäure kg^{-1} TM für die Sorte Imperial Star F1 und 1,5 bzw. 1,49 g Chlorogensäure kg^{-1} TM für die Sorte Green Globe (Tabelle 5.1).

Lombardo et al. (2010) beschrieben niedrigere Chlorogensäure-Gehalte für Artischocken, die in Catania, Sizilien (Italien) im August 2006 angebaut und im Frühjahr geerntet wurden. Dort hatte die Sorte Madrigal F1 einen Chlorogensäuregehalt von 0,268 g kg^{-1}

TM (zum Vergleich die Werte dieser Masterarbeit: Chlorogensäuregehalt Sorte Madrigal F1 in 2019 $1,73 \pm 0,13 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$, siehe Tabelle 5.1). Die Sorte Madrigal F1 konnte im Versuch dieser Masterarbeit aufgrund von kalter Witterung im Mai 2017 nicht in allen drei Anbaujahren geerntet werden. Daher der Verweis auf den Messwert der Sorte Madrigal F1 aus dem Jahr 2019.

Tabelle 5.1 Chlorogensäuregehalte aus der Literatur im Vergleich zu den in dieser Masterarbeit gemessenen Werten (nur gleiche Sorten)

Sorte	Chlorogensäuregehalt in $\text{g kg}^{-1} \text{ TM}$ aus Literaturquelle	Literaturquelle	Chlorogensäuregehalt in $\text{g kg}^{-1} \text{ TM}$ dieser Masterarbeit (Tabelle 4.2; Tabelle 8.7)
Imperial Star F1*	5,4 & 2,1	Wang et al. (2003)	$1,50 \pm 0,45$
Green Globe	4,59 & 2,76	Wang et al. (2003)	$1,49 \pm 0,33$
Madrigal F1	0,29	Lombardo et al. (2010)	$1,73 \pm 0,13^*$
Opal F1	0,76	Lombardo et al. (2010)	$1,58 \pm 0,46$
Vert de Provence	0,49	Lombardo et al. (2010)	$1,17 \pm 0,27$
Violet de Provenza**	0,48	Fратиanni et al. (2007)	$1,17 \pm 0,27$

*

Tabelle 8.7, Madrigal F1 fror im Jahr 2017 ab. Angabe des Messwertes aus 2019.

**Violet de Provenza ist der italienische Name der Sorte Vert de Provence

Lombardo et al. (2010) maßen außerdem einen Chlorogensäuregehalt von $0,758 \text{ g kg}^{-1}$ TM bei der Sorte Opal F1 (Tabelle 4.2) und $0,492 \text{ g kg}^{-1}$ TM bei der Sorte Vert de Provence (Tabelle 4.2). Weiter nördlich in Italien, in der Campania nahe Salerno fanden Fratianni et al. (2007) in der Sorte Violet de Provenza $0,481 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM, in Bianco di Pertosa $0,467 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM und in der Sorte Tondo di Paestum $1,094 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM in den Knospen. Wieder in Italien, in der Toskana bei Grosseto, hatte die Sorte Violetto di Toscana einen Chlorogensäure-Gehalt in den äußeren Deckblättern von $0,87 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM und am Blütenboden von $3,05 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM (Romani et al. 2006). Dabei ist im Hinblick auf die Ergebnisse von Romani et al. (2006) zu berücksichtigen, dass für diese Masterarbeit die äußeren Deckblätter und der Blütenboden zusammen beprobt wurden.

In Tunis (Tunesien) hatte die von April bis Mai 2012 geerntete Sorte Violet d'Hyères einen Gehalt von $3,18 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM (Sihem et al. 2015). In Griechenland hatten die von Petropoulos et al. (2018) analysierten Artischocken Chlorogensäuregehalte von $8,47 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM bei der Sorte Purple of Attika, die in Thessalien bei Thessaloniki angebaut wurde, und $7,13 \text{ g Chlorogensäure kg}^{-1}$ TM bei der Sorte Argitika, die in der Nähe von Argos auf dem Peloponnes angebaut wurde.

Für die Ergebnisse der Chlorogensäuremessungen in den Jahren 2017, 2018 und 2019 mit den sechs (2017) bzw. zehn Sorten (2018 und 2019) dieser Masterarbeit lässt sich feststellen, dass die Werte von $0,86 \pm 0,16 \text{ g kg}^{-1}$ TM Chlorogensäure (Opal F1, 2018) bis $2,01 \pm 0,11 \text{ g kg}^{-1}$ TM Chlorogensäure (Opal F1, 2017) gut in die Literatur passen (Lombardo et al. 2018, Wang et al. 2003, Sihem et al. 2015;

Tabelle 8.7). Die in Österreich angebaute Artischocken dieser Masterarbeit übertrafen sogar teilweise die Chlorogensäuregehalte der in Italien angebaute Artischocken, wie zum Beispiel im Vergleich mit den oben beschriebenen Werten von Fratianni et al. (2007; Tabelle 5.1).

Als Phenol, das im größten Umfang in Artischocken enthalten ist (Ramos et al. 2014), ist ein hoher Anteil an Chlorogensäure in Artischocken-Knospen durch die positive Wirkung auf den menschlichen Körper in ernährungsphysiologischer Sicht von besonderer Bedeutung (Rondanelli et al. 2013). Außerdem sind anhand der Messungen zum Chlorogensäuregehalt von Artischocken aus Jedlersdorf Überlegungen anzustellen, die Artischocken für medizinische Zwecke zu verwenden, wie beispielsweise für Extrakte aus Artischockenknospen, die besonders reich an Phenolen, wie der Chlorogensäure, sein sollten – auch wenn ein möglicher Extraktertrag durch die grüne Blattmasse der Artischocken höher ausfallen würde (Mocelin et al. 2016, Gostin & Waisundara 2019).

Gesamtflavonoide

Die Korrelationen zwischen dem Flavonoidgehalt und den Pigmenten (Chlorophylle, Tabelle 4.5) sprechen für die Schutzfunktion der Flavonoide bei Artischocken gegen Sonneneinstrahlung (Di Fernando et al. 2012). So wird bei hoher Sonneneinstrahlung im Sommer die Photosynthese stimuliert, weshalb vermehrt Chlorophyll a und relativ mehr Chlorophyll a als Chlorophyll b gebildet wurde (Eaton-Rye et al. 2012; Tabelle 4.3). Gleichzeitig werden Flavonoide als sekundäre Metabolite zum Schutz vor exzessiver UV-Strahlung synthetisiert (Di Fernando et al. 2012). Mit der gleichen Herleitung lässt sich die Korrelation von Flavonoid- und Carotinoidgehalt begründen. Beide Stoffe werden bei oxidativen Stressreaktionen vor allem nach Hitze- bzw. Strahlungsstress, aber auch bei Wassermangel gebildet (Kadkhodaie et al. 2014, Nouraei et al. 2018).

Im Vergleich zu den von Ramos et al. (2014) gemessenen Flavonoidgehalten von portugiesischen Artischocken des Jahres 2010 (Beja, Portugal) von $9,9 \pm 0,9 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ in den Knospen, sowie $30,7 \pm 1,9 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ in den Knospenstengeln, übertreffen die Werte des Gesamtflavonoidgehaltes dieser Masterarbeit jene Flavonoidgehalte zumeist. Bei der Aufbereitung der Artischocken-Proben für diese Masterarbeit wurden jeweils circa 2-

5 cm des Knospentengels mit homogenisiert, weshalb die Ergebnisse etwas höher sind als jene für die Artischocken-Knospen bei Ramos et al. (2014;

Tabelle 8.8).

In dieser Masterarbeit widersprechen sich die Messungen der Gesamtflavonoide und der Gesamtphenole: Die Gesamtflavonoide als Teil der Gesamtphenole, bzw. die Flavonoide als Untergruppe der Polyphenole, können nicht in größerer Menge in Artischocken vorhanden sein als die Phenole (Di Fernando et al. 2012). Dies lässt sich mit der weiter unten beschriebenen Ungenauigkeit der Messung der Gesamtphenole erklären. Andererseits wurden die Flavonoide anhand eines Rutin-Standards bestimmt. Die Hauptflavonoide der Artischocke sind aber Luteolin und Apigenin (Sihem et al. 2015, Fratianni et al. 2007). Die Molare Masse von Luteolin beträgt $286,24 \text{ g mol}^{-1}$, die von Apigenin $270,39 \text{ g mol}^{-1}$ und die von Rutin $610,52 \text{ g mol}^{-1}$ (ChemIDplus, 2020). Die Molare Masse von Apigenin und Luteolin ist somit weniger als halb so groß, wie die Molare Masse von Rutin. Da nicht klar ist, welche Flavonoide in welcher Menge in den Artischocken aus Jedlersdorf zu finden sind, ist eine weitere Umrechnung der Flavonoidmessung wenig sinnvoll. Für weitere Versuche bezüglich der Flavonoidgehalte von Artischocken wäre anhand der Literatur eine Analyse mittels HPLC zu empfehlen (Abu-Reidah et al. 2013). So könnten alle relevanten sekundären Inhaltsstoffe in Ihrer Abundanz gemessen werden.

Gesamtphenolgehalte

Die Korrelation zwischen Gesamtphenolen und Carotinoiden (Tabelle 4.5) erklärt sich durch deren ähnliche Funktion in Pflanzenzellen: beide Stoffgruppen schützen vor durch freie Sauerstoffradikale verursachtem oxidativem Stress (Demmig-Adams & Adams 1996). Die positiven Korrelationen zwischen Chlorophyll a und Gesamtchlorophyllen zu den Gesamtphenolen lässt auf eine starke Sonneneinstrahlung schließen. Es wurden mehr Chlorophylle für die Photosynthese und gleichzeitig Phenole und Carotinoide zum Schutz vor den Auswirkungen exzessiver Sonneneinstrahlung gebildet (Eaton-Rye et al. 2012).

Die Flavonoid- und Chlorogensäuregehalte sind in den Messungen dieser Masterarbeit höher als die Gesamtphenolgehalte, obwohl die erst genannten Untergruppen der Phenole sind (Tabelle 4.1). Dies lässt sich mit einer Ungenauigkeit aufgrund der Wahl des Standards der Gesamtphenol und der Flavonoidmessung erklären. Für die Messung des

Gesamtphenolgehalts wurde als Standard zur Kalibrierung der Messgeraden Gallussäure verwendet, die eine Molmasse von $170,12 \text{ g mol}^{-1}$ hat (GESTIS-Stoffdatenbank, 2020). Das Hauptphenol der Artischocken ist aber die Chlorogensäure mit einer molaren Masse von $354,31 \text{ g mol}^{-1}$ (ChemIDplus, 2020). Jedoch sind verschiedenste Phenole mit verschiedenen Molmassen in Artischocken zu finden, weshalb es nur mit weiteren Unschärfen möglich wäre auf die Phenolgehalte umzurechnen. Zusätzlich bringt die Folin-Ciocalteu-Methode zur Bestimmung von Phenolen gewisse Unschärfen mit sich, da nicht zwischen Phenolen unterschieden wird, aber ein spezielles Phenol als Standard bzw. Referenzwert für alle in einer Probe hergenommen wird (Abu-Reidah et al. 2013). Ein Vergleich mit den Messwerten anderer Versuche scheint daher wenig zielführend – zu unpräzise sind die Ergebnisse in Bezug auf Phenole in dieser Masterarbeit. Für weitere Inhaltsstoff-Analysen von Artischocken aus Jedlersdorf wäre der Literatur nach eine Messung mittels HPLC zu empfehlen (Abu-Reidah et al. 2013).

Antioxidative Kapazität

Wie in der Diskussion der Gesamtcarotinoide konnte die These von Kadkhodaie et al. (2014), dass bei Wassermangel vermehrt Gesamtcarotinoide bzw. antioxidative Stoffe gebildet werden, bestätigt werden (Tabelle 4.3). Im Jahr 2018, das durch eine feuchte Witterung vor allem im Juli gekennzeichnet war, wurden niedrigere Werte als 2019 gemessen, wo zwar der Mai zuerst kühl und feucht war, anschließend ab Juni aber einen Wetterumschwung auf warm und trocken stattfand (

Tabelle 8.10).

Die Messwerte dieser Masterarbeit unterstreichen die Aussagen Pandino et al. (2017), dass später geerntete Artischocken aufgrund höherer Sonneneinstrahlung und eines späteren Zeitpunktes in der Vegetationsperiode ein höheres antioxidatives Potenzial aufweisen (Tabelle 3.1,

Tabelle 8.10). Positive Korrelationen zwischen der Antioxidativen Kapazität und den Chlorophyllen verstärken diese Aussage, da bei hoher Sonneneinstrahlung vermehrt antioxidative Stoffe gebildet werden (Nouraei et al. 2018, Tabelle 4.5).

Interessant für weitere Forschungsarbeiten wären unterschiedliche Erntezeiten der jeweiligen Sorten, die von Petropoulos et al. (2018) für Unterschiede in der Höhe der Antioxidativen Kapazität und in weiterer Folge auf die Phenole verantwortlich gemacht wurden. Zudem wäre ein Vergleich der Antioxidativer Kapazität von Pflanzen verschiedenen Alters interessant, um zu klären, ob es zwischen den Anbaujahren Unterschiede im Ertrag gibt und es möglicherweise auch Unterschiede in der Antioxidativen Kapazität oder im Phenol-Profil geben könnte (Petropoulos et al. 2018).

6 Schlussfolgerung

Die Messwerte der Inhaltsstoffe von in Jedlersdorf angebauten Artischocken sind eine erste Referenz für Inhaltsstoffe von österreichischen Artischocken. Insbesondere die Messungen der Chlorogensäure lassen sich gut mit internationalen Ergebnissen vergleichen. Trotz der Unstimmigkeiten in Bezug auf den Gesamtphenol- und Gesamtflavonoidgehalt zeigt sich, dass die österreichischen Artischocken den Artischocken traditioneller, mediterraner Anbauggebiete bezüglich sekundärer Pflanzenstoffe, wie der Chlorogensäure oder Flavonoiden, in nichts nachstehen. Vielmehr zeichnen sich die Artischocken aus Jedlersdorf durch hohe Flavonoid-Gehalte aus. Dies ist der Tatsache, der im Vergleich zu Mittelmeeranrainern eher späten Ernte ab Juni geschuldet.

Eine detailliertere Auflistung bzw. Analyse von sekundären Inhaltsstoffen ist von Interesse, um die Artischocken aus Österreich zur Gänze und auch präziser mit internationalen Versuchen vergleichen zu können. Mithilfe einer HPLC-Analyse der Inhaltsstoffe könnte das gesamte Phenolprofil detailliert ermittelt werden (Abu-Reidah et al. 2013, Ramos et al. 2014).

Weitere Jahre im Anbau der hier analysierten Artischocken-Sorten sind nötig, um klare und statistisch signifikante Aussagen über die Sortenunterschiede der Inhaltsstoffe am Standort Jedlersdorf treffen zu können.

Ferner wird es auch interessant sein, im ariden, trockenen Sommerklima des westlichen Pannonikums Bewässerungsvarianten für die Versuchsplanung mit einzubeziehen, da optimale Wachstumsbedingungen für Artischocken in milden, humiden Witterungen und bei guter Bodenfeuchte vorliegen (Nouraei et al. 2018, Pandino et al. 2012).

Insgesamt lässt sich als Ergebnis dieser Masterarbeit festhalten, dass

- mit dieser Masterarbeit die ersten Inhaltsstoff-Analysen für Artischockenknospen durchgeführt wurden, die in Jedlersdorf, Wien (Österreich) angebaut wurden,
- die geernteten Artischockenknospen in Bezug auf die sekundären Inhaltsstoffe international vergleichbare Werte erzielten.

7 Quellenverzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

1. Abu-Reidah, I, Arráez-Román, D, Segura-Carretero, A, Fernández-Gutiérrez, A (2013): Extensive characterization of bioactive phenolic constituents from globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Chemistry* 141, 2269-2277.
2. Acquadro, A, Papanice, MA, Lanteri, S, Bottalico, G, Portis, E, Campanale, A, Finetti-Sialer, MM, Mascia, T, Sumerano, P, Gallitelli (2010): Production and fingerprinting of virus-free clones in a reflowering globe artichoke. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 100, 329-337.
3. Brat, P, Georgé, S, Bellamy, A, Du Chaffaut, L, Scalbert, A, Mennen, L, Arnault, N, Amiot, MJ (2006): Daily Polyphenol Intake in France from Fruit and Vegetables. *The Journal of Nutrition – Nutritional Epidemiology* 136 (9), 2368-2373.
4. Brown, JE, Rice-Evans, CA (1998): Luteolin-rich artichoke extract protects low density lipoprotein from oxidation *in vitro*. *Free Radicals Research* 29, 247-255.
5. Catacora, E, Ilvera, J, Ramos, Z, Alve, Z, Pinedo, R (2019): Micropropagation of clonal lines of thorny artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Peruvian Journal of Agronomy* 3 (1), 29-38.
6. Ciancolini, A (2012): Characterization and selection of globe artichoke and cardoon germplasm for biomass, food and biocompotation. Toulouse: Dissertation Université de Toulouse.
7. Claus, T, Maruyama, SA, Palombini, SV, Montanher, PF, Bonafé, EG, Junior, ODOS, Matsushita, M, Visentainer, JV (2015): Chemical characterization and use of artichoke parts for protection from oxidative stress in canola oil LWT. *Food Science and Technology* 61, 346-351.
8. Colantuono, A, Ferracane, R, Vitaglione, P (2018): Potential bioaccessibility and functionality of polyphenols and cynaropicrin from breads enriched with artichoke stem. *Food Chemistry* 245, 838-844.

9. Demmig-Adams, B, Adams, WW (1996): Chlorophyll and carotenoid composition in leaves of *Euonymus kiautschovicus* acclimated to different degrees of light stress in the field. *Australian Journal of Plant Physiology* 23, 649–659.
10. Di Ferdinando, M, Brunetti, C, Fini, A, Tattini, M (2012): Flavonoids as Antioxidants in Plants Under Abiotic Stresses. In: Ahmad, P, Prasad, MNV (eds): *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*. Springer Verlag (New York, USA), 159-180.
11. Eaton-Rye, JJ, Tripathy, BC, Sharkey, TD (2012): *Photosynthesis Plastid Biology, Energy Conversion and Carbon Assimilation*. Springer Verlag (Ulm), Deutschland, 64-66, 95-100.
12. El Boullani, R, Elmoslih, A, El Finti, A, El Mousadik, A, Serghini, MA (2012): Improved *in vitro* Micropropagation of Artichoke (*Cynara cardunculus* var *scolymus* L.). *European Journal of Scientific Research* 80 (4), 430-436.
13. Eljounaidi, K, Comino, C, Moglia, A, Cankar, K, Genre, A, Hehn, A, Bourgaud, F, Beekwilder, J, Lanteri, S (2015): Accumulation of cynaropicrin in globe artichoke and localization of enzymes involved in its biosynthesis. *Plant Science* 239, 128-136.
14. El-Sayed, AM, Hussein, R, Motaal, AA, Fouad, MA, Aziz, MA, El-Sayed, A (2018): Artichoke edible parts are hepatoprotective as commercial leaf preparation. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 28, 165-178.
15. Fratianni, F, Tucci, M, De Palma, M, Pepe, R, Nazzaro, F (2007): Polyphenolic composition in different parts of some cultivars of globe artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori). *Food Chemistry* 104, 1282-1286.
16. Fu, Y, Li, H, Yu, J, Liu, H, Cao, Z, Manukovsky, NS, Liu, H (2017): Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *youmaicai*). *Scientia Horticulturae* 214, 51-57.
17. Gebhardt, R (1997): Antioxidative and protective properties of extracts from leaves of the artichoke (*Cynara scolymus* L.) against hydroperoxide-induced oxidative stress in cultured rat hepatocytes. *Toxicology and applied pharmacology* 144, 279-286.

18. Gebhardt, R, Fausel, M (1997): Antioxidant and hepatoprotective effects of artichoke extracts and constituents in cultured rat hepatocytes. *Toxicology in Vitro* 11, 669-672.
19. Gominho, J, Curt, MD, Lourenço, A, Fernández, J, Pereira, H (2018): *Cynara cardunculus* L. as a biomass and multi-purpose crop: A review of 30 years of research. *Biomass and Bioenergy* 109, 257–275.
20. Goncalves, RG, Couto, J, Almeida, DPF (2016): On-tree maturity control of peach cultivars: Comparison between destructive and nondestructive harvest indices. *Scientia Horticulturae* 209, 293-299.
21. Gostin, AI, Waisundara, VY (2019): Edible flowers as functional food: A review on artichoke (*Cynara cardunculus* L.). *Trends in Food Science & Technology* 86, 381-391.
- Göttmann, S (2006): Einfluss von Sorte, Saatzeit Standort auf Blattertrag Wirkstoffgehalt der Artischocke (*Cynara cardunculus* ssp. *flavescens* WIKL.). Gießen: Dissertation Universität Gießen.
22. Gouveia, SC, Castilho, PC (2012): Phenolic composition and antioxidant capacity of cultivated artichoke, Madeira cardoon and artichoke-based dietary supplements. *Food Research International* 48, 712–724.
23. Hatoum, D, Hertog, MLATM, Geeraerd, AH, Nicolai, BM (2016): Effect of browning related pre- and postharvest factors on the “Braeburn” apple metabolome during CA storage. *Postharvest Biology and Technology* 111, 106-116.
24. Heldt, H-W, Piechulla, B (2015): Pflanzenbiochemie, 5. überarbeitete Auflage. Springer Verlag (Heidelberg, Deutschland), 263-292 & 393-430.
25. Huang, D, Ou, B, Prio, RL (2005): The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 53, 1841-1856.
26. Ierna, A, Mauromicale, G (2004): Calendario di produzione, resa e caratteristiche dei capolini di ibridi di carciofo a propagazione gamica. *Sementi Elette* 4, 37-42.
27. Ju, NJ, Jang, KC, Kim, SC, Moon, DY, Seong, KC, Kang, KH, Tandang, L, Kim, PK, Cho, SK, Park, KH (2007): Radical Scavenging Activity and Content of Cynarin (1,3-dicaffeoylquinic acid) in Artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of applied biological chemistry* 50 (4), 244-249.

28. Kadkhodaie, A, Zahedi, M, Razmjoo, J, Pessarakli, M (2014): Changes in some anti-oxidative enzymes and physiological indices among sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) in response to soil water deficits under field conditions. *Acta Physiology Plantarum* 36, 641-650.
29. Keutgen, AJ, Pawelzik, E (2007): Modification of Strawberry Fruit Antioxidant Pools and Fruit Quality under NaCl-Stress. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 55 (10), 4066-4072.
30. Keyvan, S (2010): The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal & Plant Sciences* 8 (3), 1051-1060.
31. Larsen, FJ, Weitzberg, E, Lundberg, JO, Ekblom, B (2010): Dietary nitrate reduces maximal oxygen consumption while maintaining work performance in maximal exercise. *Free Radical Biology & Medicine* 48, 342-347.
32. Lombardo, S, Pandino, G, Ierna, A, Mauromicale, G (2012): Variation of polyphenols in a germplasm collection of globe artichoke. *Food Research International* 46, 544-551.
33. Lombardo, S, Pandino, G, Mauromicale, G (2018): The influence of pre-harvest factors on the quality of globe artichoke. *Scientia Horticulturae* 233, 479-490.
34. Lombardo, S, Pandino, G, Mauromicale, G, Knödler, M, Carle, R, Schieber, A (2010): Influence of genotype, harvest time and plant part on polyphenolic composition of globe artichoke [*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori]. *Food Chemistry* 119, 1175-1181.
35. Matissek, R, Steiner, G, Fischer, M (2018): *Lebensmittelanalytik – 6. erweiterte vollständig überarbeitete Auflage*. Springer Verlag (Berlin, Deutschland), 379-432.
36. Mahboubi, M (2018): *Cynara scolymus* (artichoke) and its efficacy in management of obesity. *Bulletin of Faculty of Pharmacy* 56, 115–120.
37. Mauro, RP, Russo, A, Longo, AMG, Lombardo, S, Pandino, G (2009): Caratteristiche Produttive di Nuovi Genotipi di Carciofo a Propagazione Gemica. *Konferenz XXXVIII Convegno Nazionale della Società di Agronomia, Florenz, 21.-23. September 2009*.

38. Mierowska, A, Keutgen, N, Huysamer, M, Smith, V (2002): Photosynthetic acclimation of apple spur leaves to summer-pruning. *Scientia Horticulturae* 92, 9-27.
39. Mocelin, R, Marcon, M, Santo, GD, Zanatta, L, Sachett, A, Schönell, AP, Bevilaqua, F, Giachini, M, Chitolina, R, Wildner, SM, Duarte, MMMF, Conterato, GMM, Piato, AL, Gomes, DB, Roman Junior, WA (2016): Hypolipidemic and antiatherogenic effects of *Cynara scolymus* in cholesterol-fed rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 26, 233-239.
40. Moglia, A, Lanteri, S, Comino, C, Acquadro, A, De Vos, R, Beekwider, J (2008): Stress-induced biosynthesis of dicaffeoylquinic acids in globe artichoke. *Journal Agricultural Food Chemistry* 56, 8641-8649.
41. Netzel, G (2011): Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit antioxidativen Kapazität von antioxidativ wirksamen Substanzen aus Rotwein, rotem Traubensaftkonzentrat, sortenreinem Apfelsaft einem "Antiox"-Getränk beim Menschen. Gießen: Dissertation Universität Gießen.
42. Nouraei, S, Rahimmalek, M, Ghodrattollah, S (2018): Variation in polyphenolic composition, antioxidants and physiological characteristics of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* Hayek L.) as affected by drought stress. *Scientia Horticulturae* 233, 378-385.
43. Pagnotta, MA (2010): Genetic Resources of *Cynara* spp. an AGR GEN RES European Project CYNARES. *Kew Bulletin* 65, 555-560.
44. Pandino, G, Barbagallo, RN, Lombardo, S, Restuccia, C, Muratore, G, Licciardello, F, Mazzaglia, A, Ricceri, J, Pesce, GR, Mauromicale, G (2017): Quality traits of ready-to-use globe artichoke slices as affected by genotype, harvest time and storage time Part I: Biochemical and physical aspects. *LWT - Food Science and Technology* 76, 181-189.
45. Pandino, G, Lombardo, S, Mauromicale, G, Williamson, G (2011a): Profile of polyphenols and phenolic acids in bracts and receptacles of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus*) germplasm. *Journal of Food Composition and Analysis* 24, 148-153.

46. Pandino, G, Lombardo, S, Mauromicale, G, Williamson, G (2011b): Phenolic acids and flavonoids in leaf and floral stem of cultivated and wild *Cynara cardunculus* L. genotypes. *Food Chemistry* 126, 417-422.
47. Pérez-López, U, Miranda-Apodaca, J, Muñoz-Rueda, A, Mena-Petite, A (2013): Lettuce production and antioxidant capacity are differentially modified by salt stress and light intensity under ambient and elevated CO₂. *Journal of Plant Physiology* 170, 1517-1525.
48. Petropoulos, SA, Pereira, C, Ntatsi, G, Danalatos, N, Barros, L, Ferreira, ICFR (2018): Nutritional value and chemical composition of Greek artichoke genotypes. *Food Chemistry* 267, 296-302.
49. Pinelli, P, Agostini, F, Comino, C, Lanteri, S, Portis, E, Romani, A (2007): Simultaneous quantification of caffeoyl esters and flavonoids in wild and cultivated cardoon leaves. *Food Chemistry* 105, 1695-1701.
50. Pistón, M, Machado, I, Branco, CS, Cesio, V, Heinzen, H, Ribeiro, D, Fernandes, E, Campos Chisté, R, Freitas, M (2014): Infusion, decoction and hydroalcoholic extracts of leaves from artichoke (*Cynara cardunculus* L. subsp. *cardunculus*) are effective scavengers of physiologically relevant ROS and RNS. *Food Research International* 64, 150-156.
51. Portis, E, Mauromicale, G, Barchi, L, Mauro, R, Lanteri, S (2005): Population structure and genetic variation in autochthonous globe artichoke germplasm from Sicily Island. *Plant Science* 168, 1591-1598.
52. Rana, MK, Aslam, T (2018): Globe Artichoke. In: Rana, MK (Ed.): *Vegetable Crop Science*. CRC Press (Boca Raton, USA), 155-161.
53. Ramos, PAB, Santos, SAO, Guerra, AR, Guerreiro, O, Freire, CSR, Rocha, Rocha SM, Duarte, MF, Silvestre, AJD (2014): Phenolic composition and antioxidant activity of different morphological parts of *Cynara cardunculus* L. var *atilis* (DC). *Industrial Crops and Products* 61, 460-471.
54. Romani, A, Pinelli, P, Cantini, C, Cimato, A, Heimler, D (2006): Characterization of Violetto di Toscana, a typical Italian variety of artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Food Chemistry* 95, 221-225.

55. Rondanelli, M, Monteferrario, F, Perna, S, Faliva, MA, Opizzi, A (2013): Health-promoting properties of artichoke in preventing cardiovascular disease by its lipidic and glycemic-reducing action. *Monaldi Archive for Chest Diseases* 80, 17-26.
56. Rondanelli, M, Opizzi, A, Faliva, M, Sala, P, Perna, S, Riva, A, Morazzoni, P, Bombardelli, E, Giacosa, A (2014): Metabolic management in overweight subjects with naive impaired fasting glycaemia by means of a highly standardized extract from *Cynara scolymus*: A double-blind, placebo controlled, randomized clinical trial. *Phytotherapeutical Research* 28, 33-41.
57. Ruíz-Cano, D, Pérez-Llamas, F, Frutos, MJ, Arnao, MB, Espinosa, C, López-Jiménez, JÁ, Castillo, J, Zamora, S (2014): Chemical and functional properties of the different by-products of artichoke (*Cynara scolymus* L.) from industrial canning processing. *Food Chemistry* 160, 134–140.
58. Saénz-Rodríguez, T, García Giménez, D, de la Puerta Vázquez, R (2002): Choleric activity and biliary elimination of lipids and bile acids induced by an artichoke leaf extract in rats. *Phytomedicine* 9, 687–693.
59. Salata, A, Gruszecki, R, Dyduch, J (2012): Morphological and qualitative characterization of globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) cultivars 'Symphony' and 'Madrigal' on depending of the heads growth. *Acta scientiarum Polonorum Hortorum cultus* 11 (5), 67-80.
60. Santamaria, P (2006): Review - Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (1), 10-17.
61. Santoiemma, G, Ierna, A, Licandro, P, Scandurra, S, Mauro, R, Occhipinti, A, Lombardo, S, Morello, N, Mauromicale, G (2006): Procedure metodologiche per una attività vivaistica sul carciofo. *Konferenz Convegno Mi.P.A.F. "Il carciofo: dal laboratorio al mercato vom 19-21.04.2006 in Rom (Italien)*, 121-123.
62. Sato, T, Hara, S, Sato, M, Ogawa, K, Adams, M, Usuki, T (2015): Synthesis of cynaropicrin-d4. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 25, 5504–5507.
63. Schütz, K, Muks, E, Carle, R, Schieber, A (2006): Quantitative determination of phenolic compounds in artichoke-based dietary supplements and pharmaceuticals by High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 54, 8812-8817.

64. Sihem, D, Samia, D, Pandino, G, Lombardo, S, Mauromicale, G, Hassiba, C, Gasco, L, Helal Ahmed, N (2015): *In vitro* antioxidant activities and phenolic content in crop residues of Tunisian globe artichoke. *Scientia Horticulturae* 190, 128-136.
65. Singleton, VL, Rossi, JA Jr (1965): Colorimetry of total phenolics with phospholybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16, 144-158.
66. Sonnante, G, Pignone, D, Hammer, K (2007): The domestication of artichoke and cardoon: From Roman times to the genomic age. *Annals of Botany* 100, 1095-1100.
67. Tanaka, YT, Tanaka, K, Kojima, H, Hamada, T, Masutani, T, Tsuboi, M, Akao, Y (2013): Cynaropicrin from *Cynara scolymus* L. suppresses photoaging of skin by inhibiting the transcription activity of nuclear factor-kappa B. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 23, 518–523.
68. Wang, M, Simon, JE, Aviles, IF, He, K, Zheng, Q-Y, Tadmor, Y (2003): Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Agricultural Food Chemistry* 51, 601-608.
69. Weinheimer, S (2014): Artischocke. In: Geyer, M, Jaksch, T, Koch, I, Kreiselmaier, J, Laber, H, Lattauschke, G, Laun, N, Rocks, T, Weinheimer, S, Ziegler, J (eds): *Grundlagen für den Gemüsebau*. Ulmer Verlag (Hohenheim, Deutschland), 306-307.
70. Wohneberger, C, Keller, F, Bahn Müller, H, Böttcher, H, Geyer, B, Meyer, J (2004): *Gemüsebau*. Ulmer Verlag (Hohenheim, Deutschland), 190-192.
71. Xiao, F-G, Shen, L, Ji, H-F (2011): On photoprotective mechanisms of carotenoids in light harvesting complex. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 414, 1-4.
72. Yousefi, S, Yadegari, M (2016): Effects of environmental conditions on morphological and physiological characters of *Cynara scolymus* L. *Bangladesh Journal of Botany* 45 (3), 575-580.

7.2 Internetquellen

1. AGRIS Sardegna (2019): Propagazione del carciofo mediante ovoli ottenuti in piantonaio.
<http://www.sardegnaagricoltura.it/index.php?xsl=443&s=47807&v=2&c=3533>.
Zuletzt besucht 17.05.2019.
2. BOKU (Universität für Bodenkultur Wien, 2019): Lehr- und Forschungszentrum Jedlersdorf. <https://boku.ac.at/dnw/gb/organisation/versuchszentrum-jedlersdorf>.
Zuletzt besucht 30.11.2019.
3. ChemIDplus (2020): Chlorogenic acid. <https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/>
Zuletzt besucht 15.02.2020.
4. EFSA (2019): Nitrates nitrites added to food.
https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/nitrates-nitrites-170614.pdf. Zuletzt besucht 9.4.2019.
5. EUR-Lex (2019): Verordnung (EU) Nr 1258/2011 der Kommission vom 2 Dezember 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Nitrate in Lebensmitteln. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX:32011R1258#document1>. Zuletzt besucht 16.10.2019.
6. Food and Agricultural Organization of the United Nations – FAO (2019): Landwirtschaftliche Statistikdatenbank „FAOSTAT“.
<http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Zuletzt besucht 15.05.2019.
7. GESTIS-Stoffdatenbank (2020): Gallussäure.
http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu. Zuletzt besucht 15.02.2020.
8. LGL Bayern (2019): Nitrat-Gehalt in Gemüse.
<https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/nitrat/#mas>. Zuletzt besucht 16.10.2019.
9. KEGG (2019): KEGG Pathway Database.
<https://www.genome.jp/kegg/pathway.html>. Zuletzt besucht 05.09.2019.

10.MA23 (2019): Katalog Wetter seit 1955 Hohe Warte Wien.
<https://www.data.gv.at/katalog/dataset/69a06550-1ede-4f50-9c36-e7fb5cf6e7e8>.
Zuletzt besucht 22.10.2019.

8 Anhang

8.1 Sorten-Messwerte der einzelnen Jahre

Tabelle 8.1 Nitrat-Gehalte in mg kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Nitrat mg kg ⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	38,98±7,43 a	119,23±180,39 a	17,23±5 a
Green Globe	9,85±0,20 a	19,62±0,28 a	4,84±5,59 a
Imperial Star F1	250,7±99,50 a	9,78±0,18 a	4,98±5,75 a
Lancelot F1	--	12,27±4,86 a	9,77±8,01 a
Madrigal F1	--	41,70±32,20 a	4,88±5,64 a
Olympus F1	94,02±41,83 a	17,22±9,48 a	0±0 a
Opal F1	100,02±20,41 a	41,55±24,36 a	29,19±11,56 a
Opera F1	--	76,29±58,49 a	7,28±9,19 a
Symphony F1	--	26,61±14,33 a	9,78±0,16 a
Vert de Provence	32,05±4,98 a	14,57±5,68 a	12,37±12,48 a
Transformation	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,008	0,000	0,000
Shapiro-Wilk	0,000	0,000	0,000
ANOVA	--	--	--
Levene	--	--	--
Kruskal-Wallis	0,004	0,042	0,018
Post-Hoc-Test	Mann-Whitney-U-Test	Mann-Whitney-U-Test	Mann-Whitney-U-Test
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,626		

Tabelle 8.2 Reduzierende Zucker-Gehalte in mg kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Reduzierende Zucker in g kg ⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	64,1±10,01 bc	37,98±26,69 ab	47,25±9,78 a
Green Globe	41,7±9,24 c	48,94±3,12 a	53,04±3,73 a
Imperial Star F1	81,37±10,63 ab	31,28±3,59 b	54,73±10,5 a
Lancelot F1	--	27,33±9,82 ab	51,39±2,38 a
Madrigal F1	--	52,12±12,8 ab	49,27±7,26 a
Olympus F1	91,67±3,6 a	43,47±4,64 ab	59,63±8,01 a
Opal F1	62,72±1,79 bc	32,5±16,72 ab	49,61±18,6 a
Opera F1	--	40,14±2,31 ab	53,96±8,71 a
Symphony F1	--	41,99±6,78 ab	50,77±15,08 a
Vert de Provence	57±21,04 c	24,56±11,01 ab	52,02±7,01 a
Transformation	$f(x)=x^2$	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,200*	0,200*	0,200*
Shapiro-Wilk	0,233	0,274	0,375
ANOVA	0	0,048	0,889
Levene	0,063	0,002	--
Kruskal-Wallis	--	--	--
Post-Hoc-Test	Tukey	Dunnett's T3	--
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,624		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.3 Chlorophyll a-Gehalte in mg kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Chlorophyll a in mg kg⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	906,63±62,25 abc	602,58±35,1 a	464,68±77,91 a
Green Globe	985,75±56,87 ab	664,32±12,42 a	572,34±32,92 a
Imperial Star F1	575,33±176,47 d	425,88±97,39 a	497,39±67,82 a
Lancelot F1	--	630,24±196,53 a	784,22±119,9 a
Madrigal F1	--	648,93±62,87 a	722,91±63,59 a
Olympus F1	685,63±216,78 cd	538,11±69,08 a	601,22±113,22 a
Opal F1	1031,85±29,57 a	421,32±27,9 a	1128,48±1050,06 a
Opera F1	--	605,04±119,18 a	618,68±152,99 a
Symphony F1	--	564,66±162,62 a	685,96±76,69 a
Vert de Provence	855,98±81,62 bcd	657,88±267,3 a	577,43±8,86 a
Transformation	f(x)=x ³	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,200*	0,200*	0,002
Shapiro-Wilk	0,278	0,041	0,010
ANOVA	0,004	0,740	--
Levene	0,083	--	--
Kruskal-Wallis	--	--	0,007
Post-Hoc-Test	Tukey	--	Mann-Whitney-U
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,621		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.4 Chlorophyll b-Gehalte in mg kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Chlorophyll b in mg kg⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	198,93±31,06 a	167,83±5,29 a	116,98±26,68 a
Green Globe	214,30±28,34 a	179,14±5,71 a	126,81±4,25 a
Imperial Star F1	119,76±43,79 b	156,77±72,83 a	114,01±17 a
Lancelot F1	--	172,01±55,31 a	176,19±29,02 a
Madrigal F1	--	167,37±17,27 a	180,69±36,56 a
Olympus F1	121,91±40,94 b	150,11±20,56 a	158,99±16,86 a
Opal F1	199,63±9,61 a	120,92±6,87 a	591,26±876,54 a
Opera F1	--	166,17±32,59 a	138,21±43,33 a
Symphony F1	--	155,60±42,56 a	158,67±16,63 a
Vert de Provence	195,09±17,63 a	187,08±90,67 a	127,29±5,18 a
Transformation	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,057	0,200*	0,000
Shapiro-Wilk	0,066	0,041	0,000
ANOVA	0,001	0,740	--
Levene	0,200	0,000	--
Kruskal-Wallis	--	0,524	0,011
Post-Hoc-Test	Tukey	--	Mann-Whitney-U
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,553		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.5 Gesamtchlorophyll-Gehalte in mg kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Chlorophyll total mg kg⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	1105,56±93,11 a	770,41±38,27 a	581,66±103,52 a
Green Globe	1200,06±79,35 a	843,46±6,99 a	699,16±36,66 a
Imperial Star F1	695,10±219,59 a	582,64±167,67 a	611,39±83,84 a
Lancelot F1	--	802,24±251,81 a	960,41±148,87 a
Madrigal F1	--	816,30±79,34 a	903,60±98,35 a
Olympus F1	807,54±257,67 a	688,22±89,01 a	760,21±130,03 a
Opal F1	1231,49±36,01 a	542,24±32,75 a	1719,74±1922,99 a
Opera F1	--	771,21±151,57 a	756,9±196,17 a
Symphony F1	--	720,26±205,07 a	844,63±92,27 a
Vert de Provence	1051,07±96,93 a	844,96±356,50 a	704,72±6,81 a
Transformation	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,042	0,200*	0,000
Shapiro-Wilk	0,009	0,191	0,000
ANOVA	--	0,199	--
Levene	--	--	--
Kruskal-Wallis	0,039	--	0,009
Post-Hoc-Test	Mann-Whitney-U	--	Mann-Whitney-U
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,642		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.6 Gesamtcarotinoid-Gehalte in mg kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Carotinoide in mg kg⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	43,40±6,22 b	34,19±4,10 a	24,21±3,85 a
Green Globe	63,55±9,90 ab	42,70±5,02 a	48,63±4,06 a
Imperial Star F1	43,77±7,26 b	20,95±15,07 a	42,66±8,07 a
Lancelot F1	--	34,41±7,45 a	97,91±13,43 a
Madrigal F1	--	37,97±7,02 a	61,97±14,43 a
Olympus F1	67,67±18,45 a	28,67±2,68 a	37,18±14,15 a
Opal F1	62,52±3,66 ab	27,43±7,27 a	41,63±29,77 a
Opera F1	--	31,04±3,57 a	37,58±8,14 a
Symphony F1	--	33,42±13,68 a	41,81±7,06 a
Vert de Provence	50,57±7,85 ab	30,22±11,07 a	50,43±5,49 a
Transformation	$f(x)=\ln(\ln(x))$	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,200*	0,200*	0,002
Shapiro-Wilk	0,278	0,080	0,010
ANOVA	0,004	0,093	--
Levene	0,053	--	--
Kruskal-Wallis	--	--	0,003
Post-Hoc-Test	Tukey	--	Mann-Whitney-U
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,717		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.7 Chlorogensäure-Gehalte in g kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Chlorogensäure in g kg⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	1,94±0,04 ac	1,48±0,58 a	1,43±0,16 ab
Green Globe	1,51±0,07 bc	1,57±0,03 a	1,69±0,24 ab
Imperial Star F1	1,86±0,27 ab	0,94±0,10 a	1,20±0,20 b
Lancelot F1	--	0,99±0,11 a	1,89±0,09 a
Madrigal F1	--	0,86±0,18 a	1,73±0,13 ab
Olympus F1	1,27±0,32 ab	1,13±0,09 a	1,44±0,54 ab
Opal F1	2,01±0,11 a	0,86±0,16 a	1,45±0,14 ab
Opera F1	--	0,92±0,32 a	1,56±0,18 ab
Symphony F1	--	1,14±0,21 a	1,59±0,20 ab
Vert de Provence	1,58±0,15 b	1,13±0,11 a	1,62±0,22 ab
Transformation	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,200*	0,038	--
Shapiro-Wilk	0,197	0,001	0,205
ANOVA	0,000	--	0,023
Levene	0,014	--	0,000
Kruskal-Wallis	--	0,005	--
Post-Hoc-Test	Dunnett's T3	Mann-Whitney-U	Dunnett's T3
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,640		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.8 Gesamtflavonoid-Gehalte in g kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Flavonoide in g kg⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	80,39±15,67 a	33,48±10,21 ab	42,21±3,02 a
Green Globe	23,09±7,09 a	32,48±3,96 ab	37,15±4,73 a
Imperial Star F1	24,02±29,53 a	41,44±6,15 ab	29,52±1,77 a
Lancelot F1	--	46,46±6,75 ab	61,54±2,52 a
Madrigal F1	--	39,01±2,77 ab	46,13±11,89 a
Olympus F1	26,32±5,36 a	33,32±1,90 b	34,55±2,92 a
Opal F1	72,76±12,47 a	30,46±2,72 ab	34,23±4,34 a
Opera F1	--	39,84±0,60 a	42,97±16,81 a
Symphony F1	--	33,80±1,58 b	49,23±12,97 a
Vert de Provence	12,11±2,22 a	47,21±5,95 ab	37,64±12,67 a
Transformation	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,001	0,200*	0,002
Shapiro-Wilk	0,003	0,263	0,001
ANOVA	--	0,000	--
Levene	--	0,000	--
Kruskal-Wallis	0,005	--	0,010
Post-Hoc-Test	Mann-Whitney-U	Dunnett's T3	Mann-Whitney-U
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,888		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.9 Gesamtphenol-Gehalte in g kg⁻¹ TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

Gesamtphenol in g kg⁻¹ TM			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	1,01±0,02 a	0,35±0,12 a	0,51±0,05 a
Green Globe	0,45±0,15 bc	0,36±0,03 a	0,51±0,11 a
Imperial Star F1	0,26±0,04 cd	0,38±0,04 a	0,34±0,01 a
Lancelot F1	--	0,40±0,11 a	0,98±0,07 a
Madrigal F1	--	0,39±0,08 a	0,76±0,18 a
Olympus F1	0,53±0,12 b	0,39±0,05 a	0,41±0,03 a
Opal F1	0,87±0,06 a	0,44±0,09 a	0,51±0,06 a
Opera F1	--	0,39±0,03 a	0,63±0,20 a
Symphony F1	--	0,33±0,07 a	0,66±0,16 a
Vert de Provence	0,21±0,13 d	0,36±0,07 a	0,55±0,16 a
Transformation	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,144	0,200*	0,044
Shapiro-Wilk	0,047	0,855	0,004
ANOVA	0,000	0,686	--
Levene	0,094	--	--
Kruskal-Wallis	--	--	0,001
Post-Hoc-Test	Tukey	--	Mann-Whitney-U
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,825		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Tabelle 8.10 Antioxidativen Kapazität in Fe^+ mM kg^{-1} TM in den Jahren 2017, 2018 und 2019

TM Antioxidative Kapazität (mM kg^{-1})			
Sorte	2017	2018	2019
Amethyste F1	304,20±13,87 a	62,77±28,89 ab	123,28±34,45 a
Green Globe	101,23±46,26 a	90,13±10,22 a	90,06±18,58 a
Imperial Star F1	42,47±17,52 a	38,34±21,44 ab	67,16±12,20 a
Lancelot F1	--	52,30±8,44 b	81,46±9,62 a
Madrigal F1	--	102,74±30,92 ab	167,74±32,06 a
Olympus F1	117,19±42,16 a	61,42±8,76 ab	81,20±22,64 a
Opal F1	243,48±24,57 a	39,52±23,27 ab	134,61±29,75 a
Opera F1	--	42,42±27,48 ab	134,54±50,17 a
Symphony F1	--	58,53±23,09 ab	119,40±49,16 a
Vert de Provence	43,94±9,36 a	42,97±9,54 b	126,43±40,64 a
Transformation	--	--	--
Kolmogorov-Smirnov	0,011	0,200*	0,003
Shapiro-Wilk	0,005	0,030	0,003
ANOVA	--	0,001	--
Levene	--	0,000	--
Kruskal-Wallis	0,004	--	0,008
Post-Hoc-Test	Mann-Whitney-U	Dunnett's T3	Mann-Whitney-U
Kruskal-Wallis für Ranking mit 6 Sorten in 3 Jahren	0,553		

*Dies ist die untere Schranke der wahren Signifikanz des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

8.2 Ranking-Tabellen der Ergebnisse

Es wurde mittels des Kruskal-Wallis Tests geprüft, ob das in diesem Kapitel ermittelte Ranking für die in allen drei Jahren erfaßten Sorten signifikante Positionsunterschiede ergab. Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen des Rankings wurden schon in Kapitel 8.1 eingefügt.

Tabelle 8.11 Ranking der Nitrat-Gehalte 2017 in mg kg⁻¹ TM

Nitrat mg kg⁻¹ TM in 2017	
Imperial Star F1	250,7±99,5
Opal F1	100,02±20,41
Olympus F1	94,02±41,83
Amethyste F1	38,98±7,43
Vert de Provence	32,05±4,98
Green Globe	9,85±0,2

Tabelle 8.12 Ranking der Nitrat-Gehalte 2018 in mg kg⁻¹ TM

Nitrat mg kg⁻¹ TM in 2018	
Amethyste F1	119,23±180,39
Opera F1	76,29±58,49
Madrigal F1	41,7±32,2
Opal F1	41,55±24,36
Symphony F1	26,61±14,33
Green Globe	19,62±0,28
Olympus F1	17,22±9,48
Vert de Provence	14,57±5,68
Lancelot F1	12,27±4,86
Imperial Star F1	9,78±0,18

Tabelle 8.13 Ranking der Nitrat-Gehalte 2019 in mg kg⁻¹ TM

Nitrat mg kg⁻¹ TM in 2019	
Opal F1	29,19±11,56
Amethyste F1	17,23±5
Vert de Provence	12,37±12,48
Symphony F1	9,78±0,16
Lancelot F1	9,77±8,01
Opera F1	7,28±9,19
Imperial Star F1	4,98±5,75
Madrigal F1	4,88±5,64
Green Globe	4,84±5,59
Olympus F1	0±0

Tabelle 8.14 Ranking der Reduzierende Zucker -Gehalte 2017 in mg kg⁻¹ TM

Reduzierende Zucker in g kg⁻¹ TM in 2017	
Olympus F1	91,67±3,6
Imperial Star F1	81,37±10,63
Amethyste F1	64,1±10,01
Opal F1	62,72±1,79
Vert de Provence	57±21,04
Green Globe	41,7±9,24

Tabelle 8.15 Ranking der Reduzierende Zucker -Gehalte 2018 in mg kg⁻¹ TM

Reduzierende Zucker in g kg⁻¹ TM in 2018	
Madrigal F1	52,12±12,8
Green Globe	48,94±3,12
Olympus F1	43,47±4,64
Symphony F1	41,99±6,78
Opera F1	40,14±2,31
Amethyste F1	37,98±26,69
Opal F1	32,5±16,72
Imperial Star F1	31,28±3,59
Lancelot F1	27,33±9,82
Vert de Provence	24,56±11,01

Tabelle 8.16 Ranking der Reduzierende Zucker -Gehalte 2019 in mg kg⁻¹ TM

Reduzierende Zucker in g kg⁻¹ TM in 2019	
Olympus F1	59,63±8,01
Imperial Star F1	54,73±10,5
Opera F1	53,96±8,71
Green Globe	53,04±3,73
Vert de Provence	52,02±7,01
Lancelot F1	51,39±2,38
Symphony F1	50,77±15,08
Opal F1	49,61±18,6
Madrigal F1	49,27±7,26
Amethyste F1	47,25±9,78

Tabelle 8.17 Ranking der Chlorophyll a-Gehalte 2017 in mg kg⁻¹ TM

Chlorophyll a in mg kg⁻¹ TM in 2017	
Opal F1	1031,85±29,57
Green Globe	985,75±56,87
Amethyste F1	906,63±62,25
Vert de Provence	855,98±81,62
Olympus F1	685,63±216,78
Imperial Star F1	575,33±176,47

Tabelle 8.18 Ranking der Chlorophyll a-Gehalte 2018 in mg kg⁻¹ TM

Chlorophyll a in mg kg⁻¹ TM in 2018	
Green Globe	664,32±12,42
Vert de Provence	657,88±267,30
Madrigal F1	648,93±62,87
Lancelot F1	630,24±196,53
Opera F1	605,04±119,18
Amethyste F1	602,58±35,10
Symphony F1	564,66±162,62
Olympus F1	538,11±69,08
Imperial Star F1	425,88±97,39
Opal F1	421,32±27,90

Tabelle 8.19 Ranking der Chlorophyll a-Gehalte 2019 in mg kg⁻¹ TM

Chlorophyll a in mg kg⁻¹ TM in 2019	
Opal F1	1128,48±1050,06
Lancelot F1	784,22±119,90
Madrigal F1	722,91±63,59
Symphony F1	685,96±76,69
Opera F1	618,68±152,99
Olympus F1	601,22±113,22
Vert de Provence	577,43±8,86
Green Globe	572,34±32,92
Imperial Star F1	497,39±67,82
Amethyste F1	464,68±77,91

Tabelle 8.20 Ranking der Chlorophyll b-Gehalte 2017 in mg kg⁻¹ TM

Chlorophyll b in mg kg⁻¹ TM in 2017	
Green Globe	214,30±28,34
Opal F1	199,63±9,61
Amethyste F1	198,93±31,06
Vert de Provence	195,09±17,63
Olympus F1	121,91±40,94
Imperial Star F1	119,76±43,79

Tabelle 8.21 Ranking der Chlorophyll b-Gehalte 2018 in mg kg⁻¹ TM

Chlorophyll b in mg kg⁻¹ TM in 2018	
Vert de Provence	187,08±90,67
Green Globe	179,14±5,71
Lancelot F1	172,01±55,31
Amethyste F1	167,83±5,29
Madrigal F1	167,37±17,27
Opera F1	166,17±32,59
Imperial Star F1	156,77±72,83
Symphony F1	155,60±42,56
Olympus F1	150,11±20,56
Opal F1	120,92±6,87

Tabelle 8.22 Ranking der Chlorophyll b-Gehalte 2019 in mg kg⁻¹ TM

Chlorophyll b in mg kg⁻¹ TM in 2019	
Opal F1	591,26±876,54
Madrigal F1	180,69±36,56
Lancelot F1	176,19±29,02
Olympus F1	158,99±16,86
Symphony F1	158,67±16,63
Opera F1	138,21±43,33
Vert de Provence	127,29±5,18
Green Globe	126,81±4,25
Amethyste F1	116,98±26,68
Imperial Star F1	114,01±17

Tabelle 8.23 Ranking der Gesamtchlorophyll-Gehalte 2017 in mg kg⁻¹ TM

Gesamtchlorophyllgehalt mg kg⁻¹ TM in 2017	
Opal F1	1231,49±36,01
Green Globe	1200,06±79,35
Amethyste F1	1105,56±93,11
Vert de Provence	1051,07±96,93
Olympus F1	807,54±257,67
Imperial Star F1	695,1±219,59

Tabelle 8.24 Ranking der Gesamtchlorophyll-Gehalte 2018 in mg kg⁻¹ TM

Gesamtchlorophyllgehalt mg kg⁻¹ TM in 2018	
Vert de Provence	844,96±356,5
Green Globe	843,46±6,99
Madrigal F1	816,3±79,34
Lancelot F1	802,24±251,81
Opera F1	771,21±151,57
Amethyste F1	770,41±38,27
Symphony F1	720,26±205,07
Olympus F1	688,22±89,01
Imperial Star F1	582,64±167,67
Opal F1	542,24±32,75

Tabelle 8.25 Ranking der Gesamtchlorophyll-Gehalte 2019 in mg kg⁻¹ TM

Gesamtchlorophyllgehalt mg kg⁻¹ TM in 2019	
Opal F1	1719,74±1922,99
Lancelot F1	960,41±148,87
Madrigal F1	903,6±98,35
Symphony F1	844,63±92,27
Olympus F1	760,21±130,03
Opera F1	756,9±196,17
Vert de Provence	704,72±6,81
Green Globe	699,16±36,66
Imperial Star F1	611,39±83,84
Amethyste F1	581,66±103,52

Tabelle 8.26 Ranking der Gesamtcarotinoid-Gehalte 2017 in mg kg⁻¹ TM

Carotinoide in mg kg⁻¹ TM 2017	
Olympus F1	67,67±18,45
Green Globe	63,55±9,90
Opal F1	62,52±3,66
Vert de Provence	50,57±7,85
Imperial Star F1	43,77±7,26
Amethyste F1	43,4±6,22

Tabelle 8.27 Ranking der Gesamtcarotinoid-Gehalte 2018 in mg kg⁻¹ TM

Carotinoide in mg kg⁻¹ TM 2018	
Green Globe	42,7±5,02
Madrigal F1	37,97±7,02
Lancelot F1	34,41±7,45
Amethyste F1	34,19±4,10
Symphony F1	33,42±13,68
Opera F1	31,04±3,57
Vert de Provence	30,22±11,07
Olympus F1	28,67±2,68
Opal F1	27,43±7,27
Imperial Star F1	20,95±15,07

Tabelle 8.28 Ranking der Gesamtcarotinoid-Gehalte 2019 in mg kg⁻¹ TM

Carotinoide in mg kg⁻¹ TM 2019	
Lancelot F1	97,91±13,43
Madrigal F1	61,97±14,43
Vert de Provence	50,43±5,49
Green Globe	48,63±4,06
Imperial Star F1	42,66±8,07
Symphony F1	41,81±7,06
Opal F1	41,63±29,77
Opera F1	37,58±8,14
Olympus F1	37,18±14,15
Amethyste F1	24,21±3,85

Tabelle 8.29 Ranking der Chlorogensäure-Gehalte 2017 in g kg⁻¹ TM

Chlorogensäure in g kg⁻¹ TM in 2017	
Opal F1	2,01±0,11
Amethyste F1	1,94±0,04
Imperial Star F1	1,86±0,27
Vert de Provence	1,58±0,15
Green Globe	1,51±0,07
Olympus F1	1,27±0,32

Tabelle 8.30 Ranking der Chlorogensäure-Gehalte 2018 in g kg⁻¹ TM

Chlorogensäure in g kg⁻¹ TM in 2018	
Green Globe	1,57±0,03
Amethyste F1	1,48±0,58
Symphony F1	1,14±0,21
Vert de Provence	1,13±0,11
Olympus F1	1,13±0,09
Lancelot F1	0,99±0,11
Imperial Star F1	0,94±0,1
Opera F1	0,92±0,32
Madrigal F1	0,86±0,18
Opal F1	0,86±0,16

Tabelle 8.31 Ranking der Chlorogensäure-Gehalte 2019 in g kg⁻¹ TM

Chlorogensäure in g kg⁻¹ TM in 2019	
Lancelot F1	1,89±0,09
Madrigal F1	1,73±0,13
Green Globe	1,69±0,24
Vert de Provence	1,62±0,22
Symphony F1	1,59±0,2
Opera F1	1,56±0,18
Opal F1	1,45±0,14
Olympus F1	1,44±0,54
Amethyste F1	1,43±0,16
Imperial Star F1	1,2±0,2

Tabelle 8.32 Ranking der Gesamtflavonoid-Gehalte 2017 in g kg⁻¹ TM

Flavonoide in g kg⁻¹ TM in 2017	
Amethyste F1	83,74±16,32
Opal F1	75,79±12,99
Olympus F1	27,42±5,58
Imperial Star F1	25,02±30,76
Green Globe	24,05±7,39
Vert de Provence	12,61±2,31

Tabelle 8.33 Ranking der Gesamtflavonoid-Gehalte 2018 in g kg⁻¹ TM

Flavonoide in g kg⁻¹ TM in 2018	
Vert de Provence	49,18±6,2
Lancelot F1	48,4±7,03
Imperial Star F1	43,17±6,41
Opera F1	41,5±0,62
Madrigal F1	40,64±2,89
Symphony F1	35,21±1,65
Amethyste F1	34,87±10,64
Olympus F1	34,71±1,98
Green Globe	33,83±4,12
Opal F1	31,73±2,83

Tabelle 8.34 Ranking der Gesamtflavonoid-Gehalte 2019 in g kg⁻¹ TM

Flavonoide in g kg⁻¹ TM in 2019	
Lancelot F1	64,1±2,62
Symphony F1	51,28±13,51
Madrigal F1	48,05±12,39
Opera F1	44,76±17,51
Amethyste F1	43,97±3,15
Vert de Provence	39,21±13,2
Green Globe	38,7±4,93
Olympus F1	35,99±3,04
Opal F1	35,66±4,52
Imperial Star F1	30,75±1,84

Tabelle 8.35 Ranking der Gesamtphenol-Gehalte 2017 in g kg⁻¹ TM

Gesamtphenol in g kg⁻¹ TM in 2017	
Amethyste F1	1,01±0,02
Opal F1	0,87±0,06
Olympus F1	0,53±0,12
Green Globe	0,45±0,15
Imperial Star F1	0,26±0,04
Vert de Provence	0,21±0,13

Tabelle 8.36 Ranking der Gesamtphenol-Gehalte 2018 in g kg⁻¹ TM

Gesamtphenol in g kg⁻¹ TM in 2018	
Opal F1	0,44±0,09
Lancelot F1	0,4±0,11
Opera F1	0,39±0,03
Olympus F1	0,39±0,05
Madrigal F1	0,39±0,08
Imperial Star F1	0,38±0,04
Vert de Provence	0,36±0,07
Green Globe	0,36±0,03
Amethyste F1	0,35±0,12
Symphony F1	0,33±0,07

Tabelle 8.37 Ranking der Gesamtphenol-Gehalte 2019 in g kg⁻¹ TM

Gesamtphenol in g kg⁻¹ TM in 2019	
Lancelot F1	0,98±0,07
Madrigal F1	0,76±0,18
Symphony F1	0,66±0,16
Opera F1	0,63±0,2
Vert de Provence	0,55±0,16
Green Globe	0,51±0,11
Amethyste F1	0,51±0,05
Opal F1	0,51±0,06
Olympus F1	0,41±0,03
Imperial Star F1	0,34±0,01

Tabelle 8.38 Ranking der Antioxidativen Kapazität 2017 in Fe^+ mM kg^{-1} TM

TM Antioxidative Kapazität (mM kg^{-1}) in 2017	
Amethyste F1	304,2±13,87
Opal F1	243,48±24,57
Olympus F1	117,19±42,16
Green Globe	101,23±46,26
Vert de Provence	43,94±9,36
Imperial Star F1	42,47±17,52

Tabelle 8.39 Ranking der Antioxidativen Kapazität 2018 in Fe^+ mM kg^{-1} TM

TM Antioxidative Kapazität (mM kg^{-1}) in 2018	
Madrigal F1	102,74±30,92
Green Globe	90,13±10,22
Amethyste F1	62,77±28,89
Olympus F1	61,42±8,76
Symphony F1	58,53±23,09
Lancelot F1	52,3±8,44
Vert de Provence	42,97±9,54
Opera F1	42,42±27,48
Opal F1	39,52±23,27
Imperial Star F1	38,34±21,44

Tabelle 8.40 Ranking der Antioxidativen Kapazität 2019 in Fe^+ mM kg^{-1} TM

TM Antioxidative Kapazität (mM kg^{-1}) in 2019	
Madrigal F1	167,74±32,06
Opal F1	134,61±29,75
Opera F1	134,54±50,17
Vert de Provence	126,43±40,64
Amethyste F1	123,28±34,45
Symphony F1	119,4±49,16
Green Globe	90,06±18,58
Lancelot F1	81,46±9,62
Olympus F1	81,2±22,64
Imperial Star F1	67,16±12,2