



UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

Dissertation

Winter- versus Sommergemüseanbau als eine Funktion von Anbauzeit, Standort, Kulturdauer und Kulturart

verfasst von

DI Stefan Marxer, BSc

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Bodenkultur (Dr.nat.techn.)

Wien, August 2022

Betreut von:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. sc. agr. Dr. sc. agr. Dr. hab. Anna J. Keutgen
Institut für Gartenbau
Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Betreuungsteam:

Dipl.-Ing. Wolfgang Palme

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Hans Peter Kaul

Priv.-Doz. Dr. Keutgen, Norbert

Zusammenfassung:

Die vorliegende Doktorarbeit ist ein wesentlicher Teil eines österreichweiten Forschungsprojektes zur Implementierung des biologischen Wintergemüseanbaus, als neuartige landwirtschaftliche Anbauform. Hauptaugenmerk liegt auf dem Vergleich der Kulturen *Daucus carota* L. ('Nominator F1'), *Raphanus sativus* var. *sativus* L. ('Stamm P') und *Lactuca sativa* var. *crispa* L. ('Fortero') über zwei Sommer- und drei Wintersaisonen, bezogen auf deren Ertragsausbildung und vorwiegend deren Synthese qualitätsbestimmender Inhaltsstoffe. Die praxisbezogene Evaluierung kulturspezifischer Merkmale zeigt, dass sich die Ertragsausbildung im Sommer- und Winteranbau nicht grundsätzlich unterscheidet, jedoch die einflussnehmenden Faktoren. Unter Berücksichtigung abgestimmter Kulturmaßnahmen sind im Winteranbau ebenso ansprechende Erträge realisierbar wie im Sommer. Die durchgeführten Laboranalysen, ergeben klare Unterschiede zwischen Sommer- und Winteranbau, wobei Inhaltsstoffe wie Chlorophylle und Karotinoide im Sommer in allen Kulturen signifikant stärker ausgeprägt werden, wohingegen Phenole sowie die Zuckergehalte in Winterkulturen im Zuge der Frost und Stressakklimatisierung signifikant zunehmen.

Abstract:

The present dissertation cooperates with a nationwide research project aiming at the implementation of the upcoming agricultural approach of winter crop production. The focus lies on the comparison of *Daucus carota* L. ('Nominator F1'), *Raphanus sativus* var. *sativus* L. ('Stamm P') and *Lactuca sativa* var. *crispa* L. ('Fortero') - cultivated over two summer and three winter seasons, evaluating their ability to produce yield and quality-associated metabolites in each specific period. Evaluations on practical issues, especially on yield aspects, underline minor variations between summer and winter cultivation, but reveal the difference regarding their determining factors. The implemented laboratory trials showed more significant distinctions between summer and winter cultivation as expressed by the higher amounts of radiation-associated metabolites like chlorophylls and carotenoids in all crops during summer cultivation compared to significantly higher concentrations of phenolic compounds and sugar contents, which are linked to frost and stress adaption in winter-grown cultivars.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand des Wintergemüseanbaus	3
2.1 Ernteperioden im Wintergemüseanbau	4
2.2 Überblick Winterkulturen	5
2.3 Praktische Herausforderungen und Betriebliche Umstellungen	7
2.3.1 Einfluss der Witterung auf den Winteranbau	7
2.3.2 Einfluss der Anbaubedingungen auf den Winteranbau	9
2.3.3 Kulturmaßnahmen und Bewässerung	10
2.3.4 Einfluss der Sortenwahl	11
2.3.5 Auftreten von Schädlingen und Krankheiten	11
2.4. Projektbeschreibung – „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“	13
2.4.1 Praktische Anbauversuche	16
2.4.2 Ökologische und ökonomische Analyse des Wintergemüseanbaus	19
2.4.3 Arbeitswirtschaft – Optimierung der Arbeitsabläufe	20
2.4.4 Alternative Verpackungsmöglichkeiten für Wintergemüseprodukte	21
2.4.5 Sensorische Aspekte von Wintergemüsen	22
3. Stressphysiologische Aspekte des Wintergemüseanbaus	23
3.1 Einflussfaktoren auf Schadwirkungen durch Froststress	23
3.2 Physiologische Anpassungsmechanismen an Froststress	25
3.2.1 Rolle der Zellmembranen	26
3.2.2 Signaltransport und die Rolle von Ca^{2+}	28
3.2.3 Genexpression	29
3.2.4 Bedeutung der Osmolyte	31
3.2.5 Photoakklimation	33
3.2.6 Oxidativer Stress / ROS	34
4. Forschungsfragen	36
5. Material und Methoden	38
5.1 Feldversuche der Jahre 2016, 2017 und 2018	39
5.2 Beschreibung der Kernversuche	40
5.2.1 Standortbeschreibung der gartenbaulichen Versuchsanstalt der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn - Zinsenhof	40
5.2.2 Standortbeschreibung der Versuchsstation für Spezialkulturen - Wies	41
5.3 Versuchsaufbau	42
5.3.1 Versuchsanlage <i>Daucus carota</i> L. - 'Nominator F1'	43
5.3.2 Versuchsanlage <i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i> - 'Stamm P'	45
5.3.3 Versuchsanlage <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> - 'Fortero'	46

5.4 Wetterdaten der Versuchsjahre 2016 bis 2018.....	48
5.5 Interviews	49
5.6 Laboranalytik	50
5.6.1 Gefriertrocknung, weiterführende Probenaufbereitung und Spektrophotometrische Bestimmung	51
5.6.2 Messung der Chlorophylle und Karotinoide	51
5.6.3 Messung der antioxidativen Kapazität per FRAP (Ferric Reducing / Antioxidant Power Assay).....	52
5.6.4 Messung des Gesamtphenolgehaltes mittels Folin-Ciocalteu-Reagenz.....	52
5.6.5 Messung der reduzierenden Zucker und des Gesamtzuckergehalts.....	53
5.6.6 Messung des Nitratkonzentrationen	53
5.7 Statistische Auswertung	54
6. Ergebnisse der Feldversuche der Versuchskulturen <i>Daucus carota</i> (Nominator F1), <i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i> (Stamm P) und <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> (Fortero)	56
6.1 Ergebnisse des Kernversuchs mit <i>Daucus carota</i> ('Nominator F1')	56
6.1.1 Ergebnisse der ergänzenden Anbauversuche und Sortensichtungen	58
6.2 Ergebnisse des Kernversuchs mit <i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i> Sorte Stamm P	63
6.2.1 Ergebnisse der weiterführenden Anbauversuche und Sortensichtungen mit Radieschen	67
6.3 Ergebnisse des Kernversuchs mit <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> ('Fortero')	69
6.3.1 Ergebnisse der weiterführenden Anbauversuche und Sortensichtungen mit Wintersalaten.....	71
7. Laborergebnisse der Versuchskulturen <i>Daucus carota</i> (Nominator F1), <i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i> (Stamm P) und <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> (Fortero)	74
7.1 Laborergebnisse von <i>Daucus carota</i> ('Nominator F1')	74
7.2 Laborergebnisse von <i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i> ('Stamm P')	85
7.3 Laborergebnisse von <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> ('Fortero').....	95
8. Diskussion der Feldversuche.....	102
8.1 Eignung der Winterperiode für den Gemüseanbau	102
8.2 Feldversuche mit <i>Daucus carota</i> L.	105
8.2.1 Sortensichtungen von Karotten für den Winteranbau	106
8.2.2 Kulturmanagement für Winterkarotten	107
8.3 Feldversuche mit <i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i>	109
8.3.1 Anbauversuche mit Winterradieschen	109
8.3.2 Sortensichtungen von Radieschen für den Winteranbau.....	110
8.3.3 Kulturmanagement für Winterradieschen	111
8.4 Feldversuche mit <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i>	112
8.4.1 Anbauversuche mit Wintersalaten	112
8.4.2 Sorteneignung von 'Fortero' für den Winteranbau	113

8.4.3 Kulturmanagement im Wintersalatanbau	114
8.5 Standortunterschiede zwischen der Versuchsanlage Zinsenhof (NÖ) und Wies (Stmk)	115
9. Stressphysiologische Aspekte des Wintergemüseanbaus	116
9.1 Nitratgehalte in Winterkulturen	116
9.2 Zuckergehalte in Winterkulturen	119
9.3 Weitere Inhaltsstoffe in Wintergemüsekulturen	120
9.3.1 Chlorophylle und Karotinoide in Winterkulturen	121
9.3.2 Antioxidative Kapazität und Phenolgehalte von Winterkulturen	122
10. Schlussfolgerungen – Kulturmanagement	125
10.1 Winterkarottenanbau	127
10.2 Winterradieschenanbau	128
10.3 Wintersalatanbau	129
10.4 Qualitätsbestimmende Aspekte des Wintergemüseanbaus	131
11. Zusammenfassung und Ausblick	133
12. Quellenangaben	135
12.1 Literaturverzeichnis	135
12.2 Verzeichnis der geführten Interviews	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Mitglieder der Operationellen Gruppe Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau	15
Tabelle 2. Überblick aller Versuchskulturen und Sorten des Forschungsprojekts „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“ (zusammengestellt nach Depisch et al., 2019)	18
Tabelle 3. Kulturdaten der Karottensorte Nominator F1 am Versuchsstandort Zinsenhof	44
Tabelle 4. Kulturdaten der Karottensorte Nominator F1 am Versuchsstandort Wies	44
Tabelle 5. Kulturdaten der Radieschensorte Stamm P am Versuchsstandort Zinsenhof	45
Tabelle 6. Kulturdaten der Radieschensorte Stamm P am Versuchsstandort Wies	46
Tabelle 7. Kulturdaten der Salatsorte Fortero am Versuchsstandort Zinsenhof	47
Tabelle 8. Kulturdaten der Salatsorte Fortero am Versuchsstandort Wies	47
Tabelle 9. Auflistung der untersuchten Inhaltsstoffe	50
Tabelle 10. Durchschnittlichen Erträge und Ausfälle des Kernversuchs, sowie die dazugehörigen Stückzahlen	56
Tabelle 11. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Nominator F1 in den Winterversuchen ..	57
Tabelle 12. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Nominator F1 in den ergänzenden Sommerversuchen	57
Tabelle 13. Prozentuale Auswertung der Sommer und Winterversuche von Nominator F1 ...	57
Tabelle 14. Vergleich der erhobenen Untersuchungsparameter der Karottensorte Nominator F1 (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	58
Tabelle 15. Anbauergebnisse der Sorte Nominator F1 von weiteren Versuchsstandorten aus der Wintersaison 2016 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	59
Tabelle 16. Anbauergebnisse der Sorte Nominator F1 von weiteren Versuchsstandorten aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	59
Tabelle 17. Weitere Sorten- und Standortvergleiche aus der Wintersaison 2016 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	60
Tabelle 18. Weitere Sorten- und Standortvergleiche aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	61
Tabelle 19. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Langenlois (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	61
Tabelle 20. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Zinsenhof (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	61
Tabelle 21. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Langenlois (NÖ) aus der Wintersaison 2018 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	62
Tabelle 22. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Zinsenhof (NÖ) aus der Wintersaison 2018 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	62
Tabelle 23. Durchschnittlichen Erträge und Ausfälle des Kernversuchs der Sorte Stamm P, sowie die dazugehörigen Stückzahlen	65
Tabelle 24. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Stamm P in den Winterversuchen	65
Tabelle 25. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Stamm P in den ergänzenden Sommerversuchen	65
Tabelle 26. Prozentuale Auswertung der Sommer und Winterversuche von 'Stamm P'	66
Tabelle 27. Vergleich der erhobenen Untersuchungsparameter der Sorte Stamm P (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	66

Tabelle 28. Anbauergebnisse der Sorte 'Stamm P' von weiteren Versuchsstandorten außerhalb des Kernversuchs aus der Wintersaison 2016 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019).....	67
Tabelle 29. Weitere Sorten- und Standortvergleiche aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	67
Tabelle 30. Sortensichtungung der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Langenlois (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	68
Tabelle 31. Sortensichtungung der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Zinsenhof (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	68
Tabelle 32. Weitere Standortvergleiche aus der Wintersaison 2018 mit der Sorte Rosetta F1 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	69
Tabelle 33. Ergebnisse der Salatversuchsreihe der Standorte Zinsenhof und Wies	70
Tabelle 34. Auswertung der Sommer- und Winterversuche der Sorte Fortero.....	70
Tabelle 35. Anbauversuche mit 'Fortero' der Praxisbetriebe aus der Wintersaison 2016.....	71
Tabelle 36. Sortensichtungen der Praxisbetriebe aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	71
Tabelle 37. Sortenversuche der Versuchsstation Zinsenhof in der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	72
Tabelle 38. Ertragslagen der Sorte Ostralie aus der Wintersaison 2018 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)	72
Tabelle 39. Trockenmasse der Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	75
Tabelle 40. Trockenmasse der dazugehörigen Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	75
Tabelle 41. Gesamtzuckergehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	76
Tabelle 42. Gesamtzuckergehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	77
Tabelle 43. Gesamtzuckergehalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	77
Tabelle 44. Reduzierende Zucker in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	78
Tabelle 45. Nitratgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	79
Tabelle 46. Nitratgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	79
Tabelle 47. Gesamtchlorophyllgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	80
Tabelle 48. Gesamtchlorophyllgehalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	81
Tabelle 49. Karotinoidgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	81
Tabelle 50. Karotinoidgehalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	82
Tabelle 51. Gesamtphenolgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	83

Tabelle 52. Gesamtphenolgehalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	83
Tabelle 53. Antioxidative Kapazität in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	84
Tabelle 54. Antioxidative Kapazität in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	84
Tabelle 55. Knollentrockenmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	85
Tabelle 56. Laubtrockenmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	86
Tabelle 57. Gesamtzuckergerhalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	87
Tabelle 58. Gesamtzuckergerhalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	87
Tabelle 59. Gesamtzuckergerhalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	88
Tabelle 62. Nitratgerhalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	89
Tabelle 63. Gesamt-Chlorophyllgerhalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	90
Tabelle 64. Gesamt-Chlorophyllgerhalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	91
Tabelle 65. Karotinoidgerhalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	91
Tabelle 66. Karotinoidgerhalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	92
Tabelle 67. Gesamtphenolgehalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	92
Tabelle 68. Gesamtphenolgehalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	93
Tabelle 69. Antioxidative Kapazität der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	93
Tabelle 70. Antioxidative Kapazität der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	94
Tabelle 71. Auswertung der Trockenmasse der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	95
Tabelle 72. Gesamtzuckergerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	96
Tabelle 73. Gesamtzuckergerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	96
Tabelle 74. Reduzierende Zucker der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	97
Tabelle 75. Nitratgerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$).....	98
Tabelle 76. Nitratgerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	98
Tabelle 77. Gesamtchlorophyllgerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	99
Tabelle 78. Karotinoidgerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	100

Tabelle 79. Gesamtphenolgehalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	100
Tabelle 80. Antioxidative Kapazität der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Schematische Darstellung des Akklimatisationsprozess in Pflanzen an niedrige Temperaturen (verändert nach Ruelland und Collin, 2012).....	25
Abbildung 2. Radieschenbestand (Stamm P) vom.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 3. Radieschenbestand (Stamm P) vom 16.12.2016.....	103

Abkürzungsverzeichnis

COR = Cold related
ESK = Eskimo
FM = Frischmasse
KIN = Cold induced
KW = Kalenderwoche
LTI = Low temperature induced
n.n = nicht nachweisbar
NADH = Nitratreduktase
NÖ = Niederösterreich
OÖ = Oberösterreich
S = Salzburg
SFR = Sensitive to freezing
Stmk = Steiermark
TM = Trockenmasse

1. Einleitung

Die vorliegende Doktorarbeit baut auf einer Machbarkeitsstudie zum Thema „biologischer Wintergemüseanbau“ auf, die sich mit praktischen, als auch rein wissenschaftlichen Fragestellungen zur Etablierung dieser nachhaltigen Anbauweise im heimischen Gemüsebau beschäftigt. Während frühere Studien sich mit Themen des Kulturmanagements befassten, legt diese Arbeit ihren Fokus auf den direkten Vergleich derselben Gemüsekulturen und Sorten angebaut über die Wintermonate und in ihren herkömmlichen Anbauzeiträumen, um etwaige Unterschiede in der Ertragsbildung und vor allem im Bereich der inneren Qualitätsparameter festzustellen (Kupfer und Palme, 2016; Betz et al., 2015). Dazu wurden in Anlehnung an das österreichweite Forschungsvorhaben mit dem Titel „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau in den Wintersaisons 2016/17, 2017/18 und 2018/19 sowie in den Sommersaisons 2017 und 2018 über mehrere Standorte Ringversuche mit den Kulturen *Daucus carota* L. - Sorte Nominator F1, *Raphanus sativus* var. *sativus* L. - Sorte Stamm P und *Lactuca sativa* var. *crispa* L. - Sorte Fortero durchgeführt.

In der herkömmlichen gemüsebaulichen Praxis gibt es zweierlei Herangehensweisen an das ausgehende Jahr, respektive den Winter an sich. Entweder wird die Satzstaffelung so geplant, dass Kulturen wie beispielweise Karotten, Salate oder Kohlgemüse vor Beginn des meteorologischen Winters und der damit einhergehenden Verschlechterung der Anbaubedingungen im Freiland abreifen oder man verlagert die Produktion in den geschützten Bereich und beheizt die Kulturen um den Produktionszeitraum zu verlängern (Kupfer, 2019; Palme, 2019). Folglich werden die Gemüsekulturen vor dem Einsetzen von Frost und weiteren potentiell schädlichen Umwelteinflüssen abgeerntet oder aktiv davor geschützt. Im Gegensatz dazu steht der Ansatz des vorliegenden Wintergemüseprojekts, der bewusst auf zusätzlichen Ressourceninput verzichtet und durch eine Kombination aus richtiger Sortenwahl, angepassten Anbauzeitpunkten und entsprechendem Kulturmanagement den Gemüseanbau sowohl im Freiland, vorwiegend aber im geschützten Bereich bis in den Dezember hinein verlängert. Zusätzlich wird durch einen geschützten Überwinterungsanbau eine verfrühte Ernte in den Monaten Februar und März des darauffolgenden Jahres ermöglicht (Kupfer und Palme, 2016; Betz et al., 2015).

Die erschwerten Wachstumsbedingungen dieses Kultivierungsverfahrens konfrontieren die Wintergemüse mit multiplen abiotischen Stressfaktoren. Die Reduktion des verfügbaren Lichts in den Monaten Oktober, November und Dezember sowie das Auftreten von Frostereignissen bedingen eine Anpassung des pflanzlichen Stoffwechsels um den Winter zu überleben (Janska et al., 2010; Larcher, 2003). Daraus resultiert die Frage, wie sich die veränderten Anbaubedingungen auf die Qualität des produzierten Gemüses auswirken, die Gegenstand dieser Forschungsarbeit ist.

Eine diesem Forschungsvorhaben vorangegangene Studie, zu Wachstum und Ertrag von Wintergemüse zeigte keine auffälligen Unterschiede zwischen den im Dezember geernteten Winterkulturen und Angaben aus herkömmlichen Anbauperioden auf (Hampl, 2016). Daher setzt sich diese Arbeit zum Ziel, den direkten Einfluss von Frost und weiteren ungünstigen Witterungsbedingungen auf Gemüsekulturen aus dieser Jahreszeit zu untersuchen. Um mögliche Änderungen in der Konzentration von Metaboliten und um die Einflüsse der in Kalthäusern auftretenden Stressbedingungen besser zu verstehen, wurden die drei Kulturen *Daucus carota*, *Raphanus sativus* var. *sativus* und *Lactuca sativa* var. *crispa* über drei Wintersaisonen angebaut und auf ihre Gehalte von Trockenmasse, Chlorophyllen und Karotinoiden, Phenolen, Nitrat, Gesamtzucker und reduzierenden Zucker und auch der antioxidativen Kapazität hin analysiert. Zudem wurden die Kulturen an denselben Versuchsstandorten ergänzend während ihrer herkömmlichen Anbauzeiten angebaut, um etwaige Unterschiede aufzuzeigen und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

2. Stand des Wintergemüseanbaus

Bei dem extensiven Wintergemüseanbau handelt es sich um ein national wie international weitestgehend neuartiges Forschungsgebiet, also ein bis dato vorwiegend in Forschungsvorhaben umgesetztes landwirtschaftliche Anbaukonzept. In der gängigen landwirtschaftlichen Praxis wird der Winter im extensiven Gemüsebau bisher nicht als Ernte- und/oder Anbauperiode genutzt. Im intensiven Gemüsebau hingegen werden unter hohem energetischen Ressourceneinsatz auch in der kalten Jahreszeit heimisches Gemüse, wie Tomaten, Gurken und Paprika ganzjährig produziert (Theurl et al., 2017; Kupfer und Palme, 2016).

Das Konzept des extensiven Wintergemüseanbau verzichtet gänzlich auf den Einsatz fossiler oder anderweitiger Energiequellen zur Beheizung der Winterkulturen und setzt ausschließlich auf die Kombination aus der natürlichen Frostfestigkeit und Widerstandskraft bestimmter für den Anbau über den Winter geeigneter Gemüsekulturen (Kapitel 2.2) und einem an die Bedingungen dieser Jahreszeit angepassten Kulturmanagement (Kapitel 2.3.3) (Theurl und Bartel-Kratochvil, 2019; Palme, 2016).

In der Wintersaison 2020 griff die LGV Sonnengemüse, eine der größten Gemüseerzeugervereinigungen des Landes, erstmals das Konzept des Wintergemüseanbaus auf. In Zusammenarbeit mit Herrn D.I. Wolfgang Palme wurden auf mehreren wiener- und burgenländischen Partnerbetrieben der LGV, auf einer Gesamtfläche von rund 1,5 Hektar, mehrere Winterkulturen angebaut, mit dem dezidierten Ziel, regionales Frischgemüse zu Weihnachten in den österreichischen Handel zu bringen. Das neue geschaffene Sortiment an heimischen Frischgemüsen zur Winterzeit umfasste diverse Salatsorten, Asiasalate, Kohlgemüse, Karotten und Kräuter und wurde in 130 Filialen der REWE Gruppe angeboten. Der Anteil biologisch produzierter Produkte lag bei 50 % (BVZ, 2020; LGV, 2020).

2.1 Ernteperioden im Wintergemüseanbau

Aus den bisherigen Praxisversuchen ergaben sich für die meisten Winterkulturen zwei Haupterntefenster im Dezember und im Folgejahr wieder von Februar bis Mitte März. Diese Zeiträume sind auch aus betrieblich-ökonomischen Gesichtspunkten praktikabel, da das Angebot heimischer Frischware in diesen Zeiträumen sehr begrenzt ist und gerade das lukrativ Weihnachtsgeschäfts eine erhöhte Nachfrage generiert (Warschun et al., 2013). Folglich werden diese Ernteperioden durch kulturspezifisch angepasste Aussaat- bzw. Pflanztermine angestrebt, wobei mehrere umweltbezogene und anbautechnische Faktoren auf den letztendlichen Erntetermin Einfluss nehmen (Kupfer, 2019; Kupfer und Palme, 2016).

Die Kultur von Winterkarotten beispielsweise macht aus anbautechnischer Sicht nur bis in den Dezember hinein Sinn, da ein Überwinterungsanbau von Karotten bis in den Februar mit massiven Qualitäts- und damit Ertragseinbußen einhergeht. Durch den Neuaustrieb der Karottenwurzeln, dem vorangeschrittenen Abbau der Laubmasse und potentiell auftretenden Schäden durch die Möhrenfliege verlieren überwinternde Karotten weitestgehend ihre Vermarktbarkeit (Hampl, 2016).

Auf der anderen Seite eignet sich eine Vielzahl von Wintergemüsen für einen gestaffelten Überwinterungsanbau, also für beide Ernteperioden. Salate werden beispielsweise Mitte September als Jungpflanzen angebaut, um im Dezember erntefähige Stückgrößen zu erzielen. Ein zweiter Satz kann ebenfalls als Jungpflanze für eine planmäßige Ernte zwischen Ende Februar bis Anfang März im Oktober angebaut werden (Zoubek, 2019; Palme, 2016).

Besonders raschwüchsige Kulturen wie Radieschen oder Asiasalate werden bei günstigen Witterungsbedingungen, nach dem Jahreswechsel in den Monaten Januar bis Anfang Februar neu ausgesät, um eine Ernte in den KW 8 bis 11 zu erzielen. Pflück- und Babyleafsalate sowie Asiasalate erlauben durch den gestaffelten Anbau mehrfache, laufende Ernten zwischen den Haupterntefenstern und eine lückenlose Deckung der Kundennachfrage (Ambrosch, 2019; Lengauer, 2019). Insgesamt zeigt sich, dass der Winteranbau für Ernten im Februar/März volatil ist als der für Dezemberernten. Problemfaktoren sind vermehrt auftretende Forstereignisse, daraus folgende Frostschäden, Trockenstress durch die Immobilität gefrorenen Bodenwassers, mechanische Schäden durch die Ernte gefrorener Kulturen oder die Verzögerung der Aussaat durch anhaltende Bodenfröste (Ambrosch, 2019).

2.2 Überblick Winterkulturen

Der Wintergemüseanbau umfasst die Kultivierung verschiedenster Gemüsearten aus unterschiedlichsten botanischen Gattungen. Übergeordnetes Merkmal aller Winterkulturen ist deren Frostfestigkeit, also deren Toleranz mehrmaliges, komplettes Einfrieren und Auftauen, nicht nur zu überleben, sondern unter diesen Bedingungen auch gemüsebaulich relevante Erträge und Produktqualitäten zu realisieren. Dieser Punkt ist unter ungeheizten Rahmenbedingungen, wie sie im extensiven Wintergemüseanbau vorherrschen, zentral und stellt sowohl die Pflanzen selbst vor große physiologische Anpassungsprozesse (Kapitel 3) als auch die Gemüsebetriebe vor praktische Herausforderungen (Palme, 2016; Betz et al., 2015).

Erschwerend kommt hinzu, dass Angaben zur Frostfestigkeit einzelner Kulturen in der herkömmlichen gartenbaulichen Literatur nur unzureichend Auskunft über die tatsächlichen Temperaturgrenzen geben, die die jeweiligen Gemüsearten und -sorten tolerieren können. Nach rund einem Jahrzehnt praktischer Forschung, kann mittlerweile eine Vielfalt an Gemüsearten und eine noch größere Menge an dazugehörigen Sorten als wintertauglich deklariert werden (Kupfer und Palme; 2016; Coleman, 2014).

Die arten- und sortenreichste Familie für den Wintergemüseanbau ist die der Kreuzblütler (*Brassicaceae*), die aufgrund ihrer evolutionsbiologischen Geschichte gut mit Temperaturen unter 0°C umgehen kann. Die widerstandsfähigsten Arten finden sich in der Sektion *Brassica oleracea* L. und können auch ohne geschützte Bedingungen im Freiland über die gesamte Winterperiode kultiviert werden. Für den Anbau unter geschützten Verhältnissen finden sich zahlreiche weitere Sorten von *Raphanus sativus* und *Brassica rapa* L. Alle Vertreter aus der Familie der *Brassicaceae*, kennzeichnen sich durch eine sehr gute Frosttoleranz und gesunde Bestände (Palme, 2019; Kupfer und Palme; 2016; Coleman, 2014; Borrelli et al., 2013).

Verglichen damit ist die Gattung *Lactuca*, welche ebenfalls zahlreiche für den Winteranbau geeignete (Unter)Arten aufweist, anfälliger auf die Störfaktoren einer Spätkultivierung. Während die Frosttoleranz verschiedener *Lactuca sativa*-Sorten wesentlich besser erscheint, als in herkömmlicher Literatur angegeben, erweist sich das Auftreten von Pflanzenkrankheiten wie *Botrytis*, Echtem oder Falschem Mehltau, welche durch die oftmals anhaltend feuchten Bedingungen des Winteranbaus begünstigt werden, als problematisch und

erfordert von Seiten der Kulturmaßnahmen ein entsprechendes Gegenwirken (Kupfer, 2019; Zoubek, 2019; Betz et al., 2015).

Weitere gängige Winterkulturen finden sich mit der Karotte und dem Fenchel in der Familie der Doldenblütler (*Apiaceae*), dem Vogerlsalat in der Familie der Geißblattgewächse (*Caprifoliaceae*), den Winterhecken- und Jungzwiebeln in der Familie der Lauchgewächse (*Allieae*) und den Endivien und Radicchio in der Familie der Korbblütler (*Asteraceae*) (Lengauer, 2019; Depisch et al., 2019; Palme, 2016).

Aus der Reihe der (Salat)Kräuter eignen sich unter anderem Sauerampfer- und Blutampfer (*Rumex acetosa* L. & *R. sanguineus* L.), Winterportulak (*Claytonia perfoliata* DONN ex WILLD), Winterkresse (*Barbarea vulgaris* W.T. AITON), Hirschhornwegerich (*Plantago coronopus* L.), Koriander (*Coriandrum sativum* L.), Petersilie (*Petroselinum crispum* (MILL.) FUSS) und Kerbel (*Anthriscus cerefolium* (L.) HOFFM.) für den Wintergemüseanbau unter geschützten Bedingungen, welche für deren Qualitätssicherung besonders wichtig sind (Ambrosch, 2019; Depisch et al., 2019; Zoubek, 2019; Palme, 2016).

Insgesamt ergibt sich somit ein breites Bild an Gemüsearten, dass unter extensiven Anbaubedingungen auch über die Winterperiode aus heimischer Landwirtschaft produziert werden kann (Depisch et al., 2019; Betz et al., 2015).

2.3 Praktische Herausforderungen und Betriebliche Umstellungen

Die Liste der praktischen An- beziehungsweise Herausforderungen für erfolgreiche Winterkulturen beginnt bereits vor der Aussaat / Pflanzung der jeweiligen Winterkultur mit der ganzjährigen Anbauplanung. Für viele Betriebe stellt dieser Punkt von Beginn an eine Umstellung dar, da bereits existierende und erfolgreich praktizierte Staffellungen um den Aspekt der Winterkultivierung angepasst und dementsprechend erweitert werden müssen (Palme, 2019; Lengauer, 2019). Dies trifft insbesondere für den Winteranbau von Karotten und diversen Kohlgemüsen mit einer langen Kulturdauer von 120-140 Tagen, zu. Kulturen wie Schnittsalate (der Gattung *Lactuca*), Asiasalate (*Brassica rapa*) oder Winterportulak, die in mehreren Sätzen angebaut werden, um eine durchgängige Ernte über die gesamte Winterperiode zu gewährleisten, benötigen ebenfalls erhöhten Planungs- und letztendlich auch Arbeitskräftebedarf (Lengauer, 2019; Ambrosch, 2019). Neben der vorausgegangenen Anbauplanung ist die frühzeitige Räumung von Sommerkulturen Anfang bis Mitte September, zum zeitgerechten Anbau von Wintergemüsen wie Salaten, Radieschen, Kohlrabi oder diversen Kräutern, ein kritischer Punkt, mit der zentralen Frage der Abwägung der Gewinnaussichten mit den Restbeständen der Sommerkulturen *versus* den noch nicht abschätzbaren Erträgen aus den neuartigen Winterkulturen (Theurl M.C. und Bartel-Kratochvil, 2019; Zoubek, 2019).

2.3.1 Einfluss der Witterung auf den Winteranbau

Ein wenig zu beeinflussender, aber elementarer Faktor für den Winteranbau ist die Witterungen während der Anbauphase. Am Beispiel verschiedener Winterkulturen, wie Karotten, Radieschen und Salaten, die schon in vorangegangenen Forschungsprojekten auf ihre Wintertauglichkeit untersucht wurden, werden im folgenden Abschnitt unterschiedliche Witterungsverhältnisse und ihre Folgen festgehalten.

Beginnend mit dem Winterkarottenanbau Ende Juli, der durch anhaltende Hitzeperioden in dieser Zeit, sowie auftretenden Starkregenereignissen maßgeblich negativ beeinträchtigt werden kann. Da Karotten durch eine langsame Keimung sowie Jungendentwicklung gekennzeichnet sind, ist deren Kultur gerade in der ersten Anbauphase besonders anfällig für Wetterextreme (Felber, 2016). Zudem ist aufgrund der vergleichsweise langen Kulturdauer die Wahl des richtigen Anbauzeitpunkts maßgeblich für den Kulturerfolg entscheidend. Anfang Juli ausgesäte Bestände sind deutlich vor einer geplanten Ernte

Mitte/Ende Dezember erntefähig, wohingegen Bestände, die Anfang August ausgesät werden, oft nur sehr geringe Stückgewichte und Erträge produzieren (Depisch et al., 2019; Hampl, 2016; Betz et al., 2015).

Später ausgesäte oder gepflanzte Winterkulturen wie Radieschen, Salate (*Lactuca*), Asiasalate (*Brassica* sp.), die üblicherweise Mitte bis Ende September unter geschützten Bedingungen angebaut werden, sehen sich mit anderen Witterungsverhältnissen konfrontiert. Sind die ersten Anbaumonate September und Oktober überdurchschnittlich warm, ergeben sich Probleme. Einerseits entwickeln sich beispielsweise Radieschen, Salate und Asiasalate zu rasch, um für eine geplante Ernte Mitte Dezember erntefähig zu sein. Verringerte Planbarkeit, Qualitätsverluste durch überständige Ware oder eine frühzeitige Blüte bei Asiasalaten gehen oftmals damit einher (Depisch et al., 2019; Lengauer, 2019; Derndorfer, 2018). Auf der anderen Seite kommt es unter feucht-warmen Bedingungen vermehrt zum Auftreten verschiedener Blattkrankheiten wie dem Echten & Falschen Mehltau (*Rhizoctonia* und *Botrytis*), insbesondere bei Kulturen aus der Gattung *Lactuca*. Massive Ertragsverluste bis hin zu Komplettausfällen ganzer Bestände konnten beobachtet werden. Die Problematik zu feuchter Winterkulturen nimmt folglich großen Einfluss auf das Kulturmanagement, insbesondere auf den Punkt der Bewässerung (Depisch et al., 2019; Zoubek, 2019; Hampl, 2016; Betz et al., 2015).

Die im Kulturerlauf zuletzt auftretenden, umweltbedingten Stressfaktoren sind anhaltende und/oder wiederkehrende Frostereignisse, mit Temperaturen von bis zu unter minus 10°C, die unter ungeheizten Anbaubedingungen unvermeidbar sind (Coleman, 2014). Deren Einfluss auf den pflanzlichen Organismus, sowie daraus folgende physiologische Anpassungsprozesse werden in Kapitel 3 näher diskutiert. Aus praktischen Gesichtspunkten werden beispielsweise durch anhaltende (Boden-)Fröste Aussaaten verzögert. Dies gilt insbesondere für den Anbau von Radieschen für eine geplante Ernte in Februar und März, deren Anbau sich durch längerdauernde Januar-Fröste um mehrere Wochen verschieben kann (Zoubek, 2019). Auf der anderen Seite erschweren Dauerfröste die Ernte verschiedener Winterkulturen, insbesondere die verschiedener Salatgewächse, da diese im gefrorenen Zustand schon durch geringe Berührungen mechanischen Schaden nehmen und damit an Qualität verlieren. Mit einer Ernte muss folglich auf das Auftauen der Pflanzen gewartet werden (Ambrosch, 2019; Palme, 2019).

2.3.2 Einfluss der Anbaubedingungen auf den Winteranbau

Der geschützte Anbau ist für die Kultivierung der meisten Wintergemüse eine Grundvoraussetzung. Die Ausnahme bilden besonders widerstandsfähige Kulturen wie Karotten, Blatt-, Zier-, Plamen- und Sprosskohle, die auch im Freiland bis in den Dezember hinein und im Fall der gerade erwähnten Kohlgewächse auch über den Jahreswechsell hinaus kultiviert werden können. Für alle weiteren Wintergemüse sind geschützte Anbaubedingungen essentiell, um den negativen Einflüssen dieser aus gemüsebaulicher Sicht extremen Anbauperiode entgegenzuwirken (Kupfer und Palme, 2016; Coleman, 2014). Gerade der Schutz vor anhaltend feuchten Winterbeständen, im Freilandanbau unvermeidbar, ist aus pflanzengesundheitlicher Sicht Voraussetzung für gesunde und ertragreiche Winterkulturen (Kupfer, 2019).

Die Form der Überdachung variiert im Wintergemüseanbau mit den Gegebenheiten der praktizierenden Betriebe, von einfachen, flexibel aufstellbaren Vliesabdeckungen, Folientunneln und Kalthäusern mit und ohne steuerbaren Belüftungsmöglichkeiten bis hin zu mobilen Rolltunneln. Folientunnel mit einer Doppelfolie, zur besseren Wärmeentwicklung und Isolierung, in Kombination mit durchgängigen Seitenlüftungen bieten die günstigsten Voraussetzungen für den Winteranbau, wobei bereits einfache Abdeckungen mit Vliesen zu deutlichen besseren Winterbeständen als komplett ungeschützte Kulturen führen. Unabhängig von den letztendlichen Anbaubedingungen werden alle Wintergemüsekulturen mit (mehrfachen) Frostereignissen konfrontiert (Ambrosch, 2019; Lengauer, 2019; Zoubek, 2019).

2.3.3 Kulturmaßnahmen und Bewässerung

Neben den unbeeinflussbaren äußeren Witterungsbedingungen, sind im geschützten Wintergemüseanbau die getroffenen Kulturmaßnahmen von zentraler Bedeutung für den Kulturerfolg. Wesentlich sind die Faktoren Belüftungsmanagement und Bewässerung. Beginnend mit dem Belüftungsmanagement zeigt sich, dass kühl und trocken geführte Bestände etwas wärmeren und damit einhergehend feuchteren klar vorzuziehen sind. Die Vorteile rascher Bestandsentwicklung unter weniger belüfteten und damit etwas wärmeren Anbaubedingungen wurden in vielen Versuchen durch das damit verbundene vermehrte Auftreten diverser Pilzkrankheiten gerade in Salatkulturen negiert. Ausreichende Belüftung (und Belüftungsmöglichkeiten) sind somit eine der wesentlichsten Kulturmaßnahmen (Lengauer, 2019; Kupfer, 2019; Palme, 2019).

Neben der ausreichenden Belüftung der Gewächshäuser ist eine angepasste Bewässerung von Wintergemüsekulturen eine der zentralen Faktoren im Winteranbau, gerade in Bezug auf die Pflanzengesundheit. Dieser Punkt ist vor allem für verschiedene Salatkulturen aus der Gattung *Lactuca* entscheidend, da diese besonders anfällig für diverse pilzliche Blattkrankheiten sind. Über die Versuchsreihen der letzten zehn Jahre kam es in besonders feuchten Perioden bzw. Beständen zu massiven Ausfällen, wobei hier der Einfluss der Sortenwahl nicht außer Acht gelassen werden darf (Lengauer, 2019; Hampl, 2016; Betz et al., 2015).

Verglichen mit dem Sommeranbau, in dem die wärmebedingte Verdunstung weitaus relevanter ist als im Wintergemüseanbau, wird die Bewässerung für alle Winterkulturen deutlich reduziert. Eine trockene Kulturführung wird sowohl von Seiten der Theoretiker als auch der gemüsebaulichen Praktiker als unbedingt notwendig erachtet (Depisch et al., 2019; Palme, 2019; Zoubek, 2019). Über alle Winterkulturen hinweg führen kühl und trocken geführte Bestände zu einer besseren Produktqualität und gesünderen Beständen. Am Beispiel von Wintersalaten und weiteren gepflanzten Kulturen wie Kohlrabi oder Jungzwiebeln betrachtet, reduzieren sich die Bewässerungsmaßnahmen auf ein starkes eingießen nach der Pflanzung, ein- bis zweimalige Wässerungen in den Wachstumsmonaten September, Oktober und November, maximal einmalige Wässerung in den Monaten Dezember und Januar (im Falle eines Überwinterungsanbaus) sowie erneut ein- bis zweimalige Wässerungen im Februar, wo durch neues Wurzelwachstum ein vermehrter Wasserbedarf besteht. Vorteile einer Bewässerung an sonnenreichen Wintertagen und der damit einhergehenden besseren

Abtrocknung der Kulturen ergeben sich aus pflanzengesundheitlicher Sicht (Ambrosch, 2019; Lengauer, 2019; Kupfer, 2019; Zoubek, 2019).

2.3.4 Einfluss der Sortenwahl

Die Frage der richtigen Sortenwahl ist über alle Wintergemüsekulturen hinweg entscheidend, kann aber aufgrund der Neuartigkeit des Forschungsgebiets des Wintergemüseanbaus oftmals nicht eindeutig beantwortet werden. Die bisherigen Versuchsreihen wurden somit mit Sorten durchgeführt, denen eine potentielle Eignung für den Anbau unter Wetterbedingungen attestiert wurde, da von Seiten der Pflanzenzüchtung keine Sorten vorliegen, die auf ihre spezielle Tauglichkeit für und Performance im Winteranbau selektiert wurden (Depisch et al., 2019; Betz et al., 2015).

Unter den über die Versuchsjahre gesichteten Winterkulturen kam es zwischen den Sorten, aber auch unter denselben Sorten zwischen unterschiedlichen Standorten, zu stark abweichenden Ergebnissen. Dieser Punkt korreliert eng mit den Witterungsverhältnissen der jeweiligen Standorte, die wesentlichen Einfluss auf den Kulturerfolg haben können (Depisch et al., 2019; Kupfer, 2019; Betz et al., 2015).

2.3.5 Auftreten von Schädlingen und Krankheiten

Verglichen mit dem Auftreten diverser Pilzkrankheiten, ist die Rolle tierischer Schädlinge im Wintergemüseanbau klar untergeordnet. Wintergemüsebetriebe ohne abgezäunte Anbauflächen müssen mit Fraßschäden durch Rotwild, Mäusen und Hasen, welche durch das bis dato neuartige „Angebot“ in der kargen Winterzeit angelockt werden, rechnen, ebenso mit dem vereinzelt Auftreten von Wühlmäusen (Ambrosch, 2019; Zoubek, 2019). Durchaus problematischere und aus dem Sommeranbau gefürchtete Schädlinge wie Schnecken oder Blattläuse treten im Winteranbau kaum, wenn doch, dann nur in besonders warmen Winterperioden und da auch nur in sehr geringer, kaum qualitäts- und ertragsmindernder Anzahl auf. Durch die Vielzahl von winterauglichen Kohlgewächsen, in Kombination mit zunehmend wärmer werdenden Herbst- und Winterperioden, muss auf typische Kohlschädlinge

wie Kohlerdfloh, Kohlwanze und Rübsenblattwespe vermehrt geachtet werden (Depisch et al., 2019; Ambrosch, 2019; Lengauer, 2019).

Als bis dato gravierendster Schädling im Winteranbau von Karotten entpuppte sich die Möhrenfliege, deren Larven durch die lange Kulturdauer von Winterkarotten ausreichend Zeit fanden, sich in den Wurzeln auszubreiten. Der daraus resultierende Schaden kann massive Qualitäts- und dadurch Ertragseinbußen verursachen und muss durch eine frühzeitige Abdeckung der Karottenbestände mit Vliesen, die das Eindringen der Möhrenfliege verhindern, vermieden werden (Depisch et al., 2019; Hampl, 2016).

2.4. Projektbeschreibung – „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“

Das österreichweite Kooperationsprojekt „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“, war von 2016 bis Anfang 2019 Teil des Programms zur ländlichen Entwicklung 2014-2020 und wurde durch den europäischen Landwirtschaftsfond zur Entwicklung des ländlichen Raumes mitfinanziert. Die übergeordnete Zielsetzung orientierte sich an den Schwerpunkten des Programms LE 2014-2020 mit dem Hauptaugenmerk auf der Verbesserung der Wirtschaftsleistung heimischer Landwirtschaftsbetriebe, der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Primärerzeuger sowie der Effizienzsteigerung der landwirtschaftlichen Erzeugung (Depisch, 2016).

Im Rahmen des Projekts wurde versucht, ein Bewusstsein für den heizungsfreien Gemüseanbau als praxistaugliches Anbaukonzept in der heimischen Landwirtschaft zu schaffen und diesen als neue Anbaumethode in der Betriebsplanung von Produzent*innen zu etablieren. Hierzu wurden in insgesamt fünf verschiedenen Arbeitspaketen Themenbereiche wie Kulturmanagement, Arbeitswirtschaft, Verpackungsalternativen, Sensorik bis hin zur ökonomischen Analyse des Winteranbaus aufgearbeitet, um dieses neuartige Anbaukonzept so ganzheitlich wie möglich zu erforschen (Depisch et al., 2019).

Die bisherigen Versuchsreihen zur Wintergemüseproduktion aus den Saisonen 2014/15 und 2015/16 dienten als Ausgangslage und Orientierungspunkt dieses Kooperationsprojektes, da mehrfach das Potential dieser Anbauweise unterlegt werden konnte. Umfangreiche Sortensichtungen von den verschiedensten Gemüsekulturen, die von Natur aus über eine gewisse Frostfestigkeit verfügen, zeigten, dass deren Anbau und Ernte bis weit in den Dezember unter geschützten Bedingungen oder im Freiland mit zumindest temporären Schutzmaßnahmen nicht nur möglich, sondern auch mit ansprechenden Erträgen und Qualitäten realisierbar ist (Kupfer und Palme, 2016; Betz et al., 2015; Coleman, 2014; Hauser, 2002).

Unter der Leitung von BIO AUSTRIA, dem Verein zur Förderung des Biologischen Landbaus, arbeiteten die in Tabelle 1. aufgelisteten Organisationen, Versuchsstationen, Gemüsebetriebe und Einzelpersonen über die Jahre 2016 bis 2019 eng zusammen, um die konkreten Chancen und Schwachstellen dieser Produktionsweise zu evaluieren, sowie die natürlichen Grenzen des Wintergemüseanbaus auszuloten (Depisch, 2016; Betz et al., 2015).

In Zusammenarbeit mit den Versuchsstationen Zinsenhof unter der Leitung von Herrn. Dipl. Ing. Wolfgang Palme und der Versuchsstation für Spezialkulturen Wies unter der Leitung von Dipl. Ing. Doris Lengauer konnten die mehrjährigen Versuchsreihen der vorliegenden Doktorarbeit umgesetzt werden und erweiterten somit das gesamte Projekt „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau“ sowohl um die Aspekte der inneren Qualitätsparameter der produzierten Wintergemüse, als auch um den direkten Anbauvergleich der getesteten Sorten im Winter- und Sommeranbau.

Verglichen mit dem Auftreten diverser Pilzkrankheiten, ist die Rolle tierischer Schädlinge im Wintergemüseanbau klar untergeordnet. Wintergemüsebetriebe ohne abgezaunte Anbauflächen müssen mit Fraßschäden durch Rotwild, Mäusen und Hasen, welche durch das bis dato neuartige „Angebot“ in der kargen Winterzeit angelockt werden, rechnen, ebenso mit dem vereinzelt auftretenden Wühlmäusen (Ambrosch, 2019; Zoubek, 2019). Durchaus problematischere und aus dem Sommeranbau gefürchtete Schädlinge wie Schnecken oder Blattläuse treten im Winteranbau kaum, wenn doch, dann nur in besonders warmen Winterperioden und da auch nur in sehr geringer, kaum qualitäts- und ertragsmindernder Anzahl auf. Durch die Vielzahl von winterauglichen Kohlgewächsen,

in Kombination mit zunehmend wärmer werdenden Herbst- und Winterperioden, muss auf typische Kohlschädlinge wie Kohlerdfloh, Kohlwanze und Rübsenblattwespe vermehrt geachtet werden (Depisch et al., 2019; Ambrosch, 2019; Lengauer, 2019).

Diese Dissertation spannt damit einen Bogen sowohl über praktische als auch rein wissenschaftliche Thematiken und setzt sich mit der Auslegung der Forschungsfragen das Ziel, einen Mehrwert für real wirtschaftende Betriebe als auch für den aktuellen Stand der Forschung zu generieren. Die erwarteten Ergebnisse sollen Betriebsleiterinnen als Beleg für die Qualität des erzeugten Wintergemüses, als Grundlage für ein besseres Verständnis der Kulturverläufe und daraus abgeleiteten Kulturmaßnahmen, als marketingrelevantes Asset und damit einhergehend als zusätzliches Alleinstellungsmerkmal in einem zunehmend kompetitiven Lebensmittelmarkt dienen (Schraick und Mayerl, 2018). Aus wissenschaftlicher Sicht sollen Rückschlüsse für ein besseres Verständnis der pflanzenphysiologischen Anpassungsstrategien der Versuchskulturen an die auftretenden Stressbedingungen des Winteranbaus gezogen werden.

Die folgenden Unterkapitel dienen als Kurzfassung der bisherigen Forschungsarbeit aus den einzelnen Arbeitspaketen der in Tabelle 1. Aufgelisteten Projektteilnehmer*innen und informieren über den aktuellen Stand der Forschungsarbeit im Bereich Wintergemüseanbau, sowie dessen Bedeutung und Einfluss für die Versuchsanlage der vorliegenden Arbeit. Neben den Punkten Ökonomie, Arbeitswirtschaft und Verpackungsstrategien sind insbesondere die Kapitel 2.4.1 ‚Praktische Anbauversuche‘ und 2.4.5 ‚Sensorik‘ für die Nachvollziehbarkeit der gestellten Forschungsfragen dieser Dissertation relevant und schließen den inhaltlichen Bogen zu dem in Kapitel 6.2 bis 6.3 detailliert erläuterten Versuchsaufbau.

Tabelle 1. Mitglieder der Operationellen Gruppe Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau

Organisation / Name	Aufgabenbereich
➤ Gartenbauschule – Langenlois, NÖ	Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Versuchsstation für Spezialkulturen – Wies, Stmk	Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Versuchsanlage der HBLFA Schönbrunn – Zinsenhof, NÖ	Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Dr. Ruth Bartel-Kratochvil	Ökologisch/Ökonomische Analyse einzelner Wintergemüsekulturen
➤ Dr. Michaela C. Theurl	Ökologisch/Ökonomische Analyse einzelner Wintergemüsekulturen
➤ Dr. Renate Spraul	Optimierung der Arbeitsabläufe
➤ Dr. Eva Derndorfer	Sensorik / Verkostungen mit Wintergemüse
➤ Ing. Michael Krainz	Analyse Verpackungsstrategien
➤ Biohof Achleitner, OÖ	Praxistest, Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Biohof Adamah, NÖ	Praxistest, Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Bio-Betrieb Ambrosch / Jaklhof, Stmk	Praxistest, Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Biohof Bubenicek Meiberger, NÖ	Praxistest, Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Bio-Betrieb Feldinger, S	Praxistest, Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Bio-Betrieb Haitzmann, S	Praxistest, Anbauversuche, Sortensichtung
➤ Bio-Betrieb Stockenhuber, OÖ	Praxistest, Anbauversuche, Sortensichtung

2.4.1 Praktische Anbauversuche

Das zentrale Element des kooperativen Wintergemüseprojekts waren mehrjährige Versuchsreihen, welche auf allen beteiligten Betrieben und Versuchsstationen in den Wintersaisons 2016/17, 2017/18 und 2018/19 unter der Koordination von BIO AUSTRIA in Zusammenarbeit mit Dipl. Ing. Wolfgang Palme, dem ursprünglichen Begründer der Wintergemüseforschung in Österreich und Forschungsleiter der Abteilung Gartenbau der HBLFA Schönbrunn, durchgeführt wurden. Die Versuchsplanung wurde konzipiert, um die heimische Produktion diverser Blatt- und Wurzelgemüse sowie Kräuter über die Winterperiode zu ermöglichen. Aufbauend auf den Ergebnissen vorangegangener Anbauversuche konnte für die Kulturen *Daucus carota*, *Raphanus sativus* var. *sativus* und *Lactuca sativa* eine besondere Eignung für den Winteranbau nachgewiesen werden (Kupfer und Palme, 2016; Coleman, 2014). Daher lag das Hauptaugenmerk auf verschiedenen Karotten-, Radieschen- sowie Salatsorten und deren Eignung, beziehungsweise deren Ertragsleistung im Winteranbau gelegt. Weitere im Winter getestete Gemüsekulturen mit durchaus vielversprechenden Ertragsleistungen waren u.a. diverse *Brassica rapa*-Varietäten (Asiasalat), *Brassica oleracea* var. *gongylodes* L. (Kohlrabi), *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L. (Mangold), *Petroselinum crispum* (Petersilie), *Eruca vesicaria* subsp. *sativa* (MILL.) THELL. (Rucola) und *Claytonia perfoliata* (Portulak), die jedoch nicht im Rahmen der Ringversuchsreihe näher untersucht wurden (Palme, 2016; Betz et al., 2015).

In enger Zusammenarbeit mit Herrn Dipl. Ing. Wolfgang Palme und nach intensiver Recherche bezüglich Frostfestigkeit und Anbaueignung potentieller Versuchssorten für eine Späternte, wurden für das erste Versuchsjahr 2016/17 der Dissertation die Sorten Nominator F1 (Karotte), Stamm P (Radieschen) und Fortero (Eichblattsalat) ausgewählt und an allen Standorten zu denselben Zeitpunkten angebaut. Ziel war es, erntefähige und qualitativ hochwertige Gemüseerzeugnisse für eine Ernte in den Dezemberwochen, rund um die Kalenderwoche (KW) 50, aus regionalem, heimischem Anbau zu produzieren, da das Handelsangebot zu dieser Jahreszeit fast ausschließlich von internationalen Waren dominiert wird (Palme, 2019). Als übergeordnetes Leitziel dieser Dissertation und der gesamten operationellen Gruppe steht die Etablierung des Wintergemüseanbaus in der heimischen Landwirtschaft, die damit verbundene Steigerung der heimischen Produktion sowie der Selbstersorgungsquote (Depisch et al., 2019).

Nach der abgehaltenen Evaluierung der Wintersaison 2016/2017 wurde der weitere Versuchsaufbau für die kommenden Winterversuche der Saisonen 2017/2018 und 2018/2019 anhand der gewonnenen Erkenntnisse abgeändert. Kultur- und Sortenwahl, Anbauzeit und Kulturverfahren wurden adaptiert. Im weiteren Projektverlauf wurden von Seiten der Projektleitung Empfehlungen zu Sortenwahl und Kulturmaßnahmen abgegeben, die Betriebe und Versuchsstationen konnten jedoch selbstständig entscheiden und weitere Kulturen und Sorten sichten. Folglich wurden zahlreiche weitere Kulturen und Sorten abseits der für diese Arbeit zentralen Versuchskulturen *Daucus carota* (Nominator F1), *Raphanus sativus* var. *sativus* (Stamm P) und *Lactuca sativa* var. *crispa* (Fortero) angebaut und auf deren Eignung für den Winteranbau hinsichtlich - Wuchs, Gesundheit und Ertrag gesichtet (Ambrosch, 2019; Depisch et al., 2019; Lengauer, 2019; Zoubek, 2019).

Für die Kontinuität der Laboranalysen und Ertragsversuche dieser Dissertation wurden die drei ursprünglichen Sorten beibehalten und in allen drei Wintern sowie ergänzend in den beiden Sommersaisonen untersucht. Die gewonnenen Daten aus den weiteren Feldversuchen der Projektpartner werden in den Kapiteln 7.1.1, 7.2.1 und 7.3.1 mit den Ergebnissen der ausgewählten Sorten verglichen, um das Abschneiden der Versuchssorten Nominator F1, Stamm P und Fortero besser einzuordnen, da national wie international kaum Vergleichsstudien zu Wintergemüseversuchen vorliegen.

Abseits der richtigen Sortenwahl kristallisierten sich bereits in der Studie von Betz et al. (2015) die Faktoren Anbauzeitpunkt sowie Belüftungs- und Bewässerungsmanagement als entscheidend für den erfolgreichen Gemüseanbau in den Wintermonaten heraus. Anhand der österreichweit durchgeführten Anbauversuche konnten deutliche Unterschiede bezüglich der Kulturdauer je nach Anbauregion nachgewiesen werden, wobei sich mitunter mehrere Wochen Unterschied im idealen Anbauzeitpunkt, beispielsweise zwischen der licht- und wärmebegünstigten Südsteiermark und dem zu dieser Jahreszeit kühlen, feuchten Marchfeld ergaben (Depisch et al., 2019; Palme, 2019; Betz et al., 2015).

Ein Überblick über weitere Versuchskulturen und Sorten, die im Rahmen des Kooperationsprojekts zwischen 2016 und 2018 angebaut wurden und im weiteren Verlauf mit den Ergebnissen der Dissertation verglichen werden, findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2. Überblick aller Versuchskulturen und Sorten des Forschungsprojekts „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“ (zusammengestellt nach Depisch et al., 2019)

Kultur	Sorte und Versuchsstandorte
<i>Daucus carota</i> L.	'Jerada F1' (NÖ); 'Lince F1' (NÖ); 'Mercurio F1' (S); 'Milan' (NÖ); 'Nantaise 2' (NÖ); 'Nantaise Fanal' (NÖ); 'Napoli F1' (NÖ, Stmk); 'RS-Mö-10.181' (NÖ); 'Purple Haze' (NÖ); 'Saturno F1' (NÖ, Stmk);
<i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i>	'Autella' (NÖ); 'Brava' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Donar' (NÖ); 'Escala' (NÖ); 'Ladenbeet' (NÖ); 'Marike' (Stmk); 'Prelito' (NÖ); 'Rosetta' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Rudi' (NÖ, Stmk); 'Sora' (NÖ, Stmk); 'Topsi' (NÖ); 'Vienna' (NÖ)
<i>Lactuca sativa</i> ssp.	'Colbiana' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Figaro' (NÖ); 'Forellenschluss' (NÖ, OÖ, Stmk); 'Greenet' (NÖ, S); 'Jara' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Jeluna' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Melina' (Stmk); 'Neusiedler' (NÖ); 'Ostralie' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Patrona' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Redial' (Stmk); 'Skye' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Solasia' (NÖ, OÖ, S, Stmk); 'Winterkönig' (NÖ); 'Wunder Stuttgart' (NÖ); 'Victorinus' (NÖ, OÖ, S, Stmk)

2.4.2 Ökologische und ökonomische Analyse des Wintergemüseanbaus

Die zugrundeliegenden Fragestellungen dieses Arbeitspaketes waren erstens die Frage nach der CO₂-Bilanz der extensiv produzierten Wintergemüse verglichen mit herkömmlicher zu dieser Jahreszeit im Handel angebotener Ware und zweitens die Frage nach der betriebswirtschaftlichen Sinnhaftigkeit des Wintergemüseanbaus an sich.

Zur Beurteilung des ökologischen Fußabdrucks oder Carbon Footprints wurden verschiedene Sorten von Salaten, Spinat, Frühlingszwiebeln und Radieschen nach dem Konzept der biologischen Wintergemüseproduktion angebaut und anhand eines Life Cycle Assessments mit konventionell angebauten Kulturen verglichen. Die miteinberechneten Faktoren betrachten die gesamte Supply Chain der Produkte und umfassen die notwendigen Inputs und Bearbeitungsgänge für die Produktion, Beheizungsstrategien, Verpackungslösungen, Lagerung importbedingte Emissionen und Emissionen durch die Warenverteilung an den Endabnehmer. Die Ergebnisse zeigten ein Einsparungspotential von Treibhausgasen von bis zu 90 % bei der Produktion von ungeheizten Winterkulturen, verglichen mit konventionellen, geheizten Beständen. Über den gesamten Produktzyklus konnte daraus jedoch keine allgemeine Reduktion des ökologischen Fußabdrucks abgeleitet werden, insbesondere weil schwankende Ertragslagen, (alternative) Verpackungslösungen sowie die durch die individuelle Anreise der Konsumenten zu den meist ab Hof verkaufenden Betrieben verursachten Emissionen den Carbon Footprint einzelner Wintergemüsekulturen erheblich erhöhten und an die Werte konventioneller Produkte annäherten (Theurl et al., 2017; Theurl et al., 2014).

Die betriebswirtschaftliche Analyse des Winteranbaukonzepts gestaltete sich als überaus komplex. Die verschiedenen Betriebsstrukturen sowie unterschiedliche Datengrundlagen der zu beurteilenden Unternehmen ebenso wie signifikante Ertragsschwankungen derselben Kulturen zwischen den Standorten erschwerten die ökonomische Beurteilung des Wintergemüseanbaus und liessen in diesem Stadium keine allgemeingültige Aussage zu dessen Wirtschaftlichkeit zu. Anhand des DAKfL (Direkt- und arbeitserledigungskosten-freie Leistung) Indikatorensystems, welches in € pro m², € pro kg Produkt bzw. € pro Arbeitskraftstunde dargestellt wird, wurden die einzelnen Sommer- und Winterkulturen der Betriebe analysiert. Als zentrales Ergebnis hat sich gezeigt, dass die Kosten der klassischen Hauptkulturen wie Gurke, Paprika und Tomate die der Wintergemüse

übersteigen, wobei sich die Produktion von Wintergemüse im Freiland als kosteneffizienteste Anbauform aller getesteten Produktionsverfahren herausstellte. In Kombination mit den jeweiligen Vertriebsstrukturen ergab sich ein durchweg positives ökonomisches Gesamtbild der Winterkulturen, die nach diesem Beurteilungssystem mit herkömmlichen Hauptkulturen eindeutig konkurrieren konnten und diese auf den untersuchten Betrieben teilweise übertrafen (Theurl und Bartel-Kratochvil, 2019).

Abschließend konnte festgehalten werden, dass die Wintergemüseproduktion durch den geringen Ressourceneinsatz, dass damit einhergehende geringe betriebswirtschaftliche Risiko, die gesteigerte Flächennutzung und den zu erzielenden Einnahmen in der Lage ist, die gesamtbetriebliche Jahresbilanz eines Gemüsebetriebs positiv zu beeinflussen (Ambrosch, 2019; Theurl und Bartel-Kratochvil, 2019; Zoubek 2019).

2.4.3 Arbeitswirtschaft – Optimierung der Arbeitsabläufe

Die aktuelle Interpretation eines extensiven, kleinstrukturierten Wintergemüseanbaus, bedingt, dass mit Ausnahme der Kulturaussaat der Großteil der Arbeitsschritte von Pflanzung, Ernte, Säuberung bis hin zur Verpackung per Handarbeit erledigt wird. Ein besonders schonender Umgang mit den teilweise im Tagesverlauf durchgefrorenen Kulturen (beispielsweise mehrfach bei Salaten und Radieschen beobachtet) ist zudem notwendig, um die Qualität des Ernteguts sicherzustellen. Folglich ist eine möglichst effiziente Gestaltung der einzelnen Arbeitsgänge förderlich, um die Arbeitsbelastung so gering wie möglich zu gestalten und damit die Betriebs- und Produktionskosten zu senken. Im Rahmen des Kooperationsprojekts wurde Frau Dr. Renate Spraul, eine anerkannte Expertin im Bereich Arbeitswirtschaft, engagiert und konnte in Zusammenarbeit mit den beteiligten Betrieben die einzelnen Arbeitsabläufe analysieren. Als Resultat wurde ein Leitfaden entwickelt, der ideale Arbeitspraktiken darstellt, häufige Fehler, wie redundante Mehrgriffe, Zwischenschritte oder Fehlhaltungen aufzeigt und letztendlich die Arbeitsweise erleichtern und die Produktivität steigern konnte (Depisch et al., 2019; Spraul, 2019).

2.4.4 Alternative Verpackungsmöglichkeiten für Wintergemüseprodukte

Wie bereits in Abschnitt 2.4.2 von Theurl et al. (2017) festgehalten, spielt die Verpackung für den CO₂ Abdruck eines Produkts und insbesondere für den von Wintergemüse, bei denen sie bis zu 90% des gesamten Emissionsausstoßes verursachen kann, eine wesentliche Rolle. Darüber hinaus steigt die Nachfrage nach biologischen Verpackungsmöglichkeiten im Zuge der öffentlichen Diskussion aufgrund der globalen Plastikverschmutzung und nicht zuletzt auch aufgrund der steigenden Ansprüche zunehmend kritischer Konsumentinnen (Krainz, 2019). Daher stellte sich von Projektbeginn an die Frage nach alternativen, biologischen Verpackungsmöglichkeiten für Winterprodukte, die in Form von Herrn Ing. Michael Kainz von der Technologie & Innovation GmbH behandelt wurde.

Die verschiedenen Vertriebsstrukturen der beteiligten Bio-Betriebe – von Marktverkauf, über Ab-Hof-Vermarktung, zugestellten Gemüseboxen bis hin zum Vertrieb an den Großhandel - stellten von Beginn an unterschiedliche Herausforderungen an etwaige Verpackungsmöglichkeiten und zeigten, dass eine einzelne, allgemeine Verpackungsstrategie nicht allen gestellten Anforderungen entsprechen kann. Die durchgeführten Versuche mit Papierbeuteln mit zusätzlichem Feuchteschutz, Stärkebeuteln, Cellulose-basierten Beuteln, feuchten Stoffbeuteln oder mit Kombibeuteln mit OPP-Folie & Vlies wiesen durchaus positive Ergebnisse hinsichtlich ihrer Haltbarkeit und Kundenakzeptanz auf, konnten in Bezug auf ihre ressourcenintensive Herstellung im Vergleich zu konventionellen, plastikbasierenden Verpackungen und damit in ihrer Gesamtheit nicht überzeugen, womit die Frage nach einer ökologischen Verpackungsalternative weiterhin ungeklärt bleibt (Krainz, 2019, Theurl et al., 2017).

2.4.5 Sensorische Aspekte von Wintergemüsen

Zu Projektbeginn stellte sich die Frage, ob sich die Gemüse, die unter Winterbedingungen produziert werden, von Gemüseprodukten aus herkömmlichen Anbausaisonen hinsichtlich der Konzentrationen an qualitäts- und geschmacksbestimmenden Inhaltsstoffen unterscheiden und wie diese Winterkulturen von Konsument*innen wahrgenommen werden.

Aus dieser Ausgangslage resultierten einige zentrale Forschungshypothesen dieser Dissertation. Zusätzlich wurde von Frau Dr. Eva Derndorfer eine Sensorik Studie durchgeführt. Hierzu wurden unter den Betriebsleiter*innen und weiteren Interessierten mehrere Verkostungen mit verschiedenen Winterkulturen, wie Radieschen, Karotten, (Asia)Salaten und Kohlgemüsen durchgeführt. Die getesteten Wintergemüse wurden mit Ausnahme einiger überständiger Radieschen durchgehend positiv angenommen und beurteilt, wobei ein geschmackliches Attribut annähernd allen verkosteten Gemüseproben zugesprochen wurde – eine gewisse Süße. Dieses Resultat war in von Natur aus zuckerreichen Kulturen wie Karotten, bei denen ein gewisser Zuckergehalt ein entscheidendes Qualitätsmerkmal für die Kundenakzeptanz ist, weniger überraschend als in Kulturen wie Radieschen, Salaten, Butterkohl, Palmkohl, Zierkohl, Schnittsellerie, Winterportulak, Petersilie und Kerbel, die in ihren konventionellen Anbauzeiträumen nicht durch einen süßen Geschmack auffallen (Derndorfer, 2018). Bei einem Großteil der genannten Wintergemüse wurde der süße Geschmack als zentrales Geschmacksmerkmal sowohl in der Erstwahrnehmung als auch im Nachgeschmack angegeben. Diese durchaus überraschende Erkenntnis deckt sich mit der Erfahrung weiterer Wintergemüsepraktiker und Pioniere, konnte aber bis dato nicht wissenschaftlich unterlegt werden (Coleman, 2014; Baranski et al., 2012; Höhn et al., 2004).

Somit schließt diese Sensorik Studie thematisch den Kreis zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, die sich intensiv mit den Konzentrationen der geschmacksbestimmenden Inhaltsstoffe wie verschiedenen Zuckergehalten, Phenolen und weiteren qualitätsbestimmenden Faktoren auseinandersetzt.

3. Stressphysiologische Aspekte des Wintergemüseanbaus

Der Winter als gemüsebauliche Anbauperiode konfrontiert sämtliche Kulturen mit multiplen Stressfaktoren. Obwohl alle potentiellen Wintergemüsekulturen durch ihre evolutionsbiologische Geschichte an Temperaturen unter 0°C angepasst sind, stellt das Zusammenwirken mehrfacher Stressereignisse den pflanzlichen Organismus vor überlebenswichtige Herausforderungen. Durch die Abnahme der Temperatur und des verfügbaren Lichts, vor allem in den späten Anbaumonaten November und Dezember, verlangsamt sich die pflanzliche Stoffwechselrate, was nicht nur auf die Wachstumsrate und folglich die Ertragsausbildung, sondern auch auf die Resilienz der gesamten Pflanze Einfluss nimmt (Nagarajan und Nagarajan, 2010; Trischuk et al., 2006). Das Auftreten von wiederkehrenden bzw. anhaltenden Frostereignissen, dem damit verbundenen Wassermangel, da gefrorenes Wasser für Pflanzen nicht verfügbar ist, sowie die Bildung von Sauerstoffradikalen (im englischen als ROS – Reaktive Oxygen Species abgekürzt) in Chloroplasten, welche durch eine Kombination von strahlungsreichen Tagen und niedrigen Temperaturen begünstigt wird, bedingt grundlegende Umstrukturierungen im gesamten pflanzlichen Stoffwechsel, um sich an diese (Stress-)Bedingungen zu adaptieren (Arora und Rowland, 2011; Brosche et al., 2010; Trischuk et al., 2006). Die genauen Anpassungsstrategien und deren mögliche Auswirkung auf die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Inhaltsstoffe werden auf den nächsten Seiten diskutiert.

3.1 Einflussfaktoren auf Schadwirkungen durch Froststress

Abiotische Stressfaktoren wie Nährstoffmangel, Wassermangel, Mangel oder Überschuss an Strahlung sowie Temperatur sind limitierende Faktoren in der Landwirtschaft und mitverantwortlich dafür, dass Kulturpflanzen nicht den genetisch möglichen maximalen Ertrag erreichen. Das Auftreten abiotischer Stressereignisse und die damit einhergehende Schwächung der gesamten Pflanze kann des Weiteren das Auftreten von biotischen Stressfaktoren wie Pilzkrankheiten oder tierischen Schädlingen begünstigen, da die geschwächte Pflanze weniger in der Lage ist, sich gegen Störfaktoren jeglicher Art durch physiologische Anpassungsprozesse zur Wehr zu setzen (Kawamura und Uemura, 2014; Nagarajan und Nagarajan, 2010).

Die beiden wesentlichen abiotischen Stressfaktoren im Wintergemüseanbau sind in erster Linie das Auftreten von Kältestress, der bei kältetoleranten in einem Temperaturbereich zwischen null und sechs Grad Celsius auftritt, was die Rate von chemischen Reaktionen und damit den gesamten pflanzlichen Stoffwechsel herabsetzt, sowie Froststress bei Temperaturen unter null Grad Celsius und der damit verbundenen Bildung von Eiskristallen in der Pflanze (Kawamura und Uemura, 2014; Arora und Rowland, 2011; Janska et al., 2010). Hier unterscheidet man zwischen inter- und intrazellulärer Eisbildung. Das Entstehen von Eiskristallen im Zellinneren, also intrazellulär, ist auch für frosttolerante Pflanzen letal. Daher versuchen sie im Zuge eines komplexen Akklimatisationsprozesses, der eine Umstellung des Stoffwechsels bewirkt, diesem Prozess entgegenzuwirken. Frost-Akklimatisation ist somit ein komplexer Prozess, der physiologische und biochemische Umstrukturierungen in Pflanzen bedingt (Wang und Yamauchi, 2006; Vezina et al., 1997; Nilon und Orcutt, 1996).

Das Ausmaß an Frosttoleranz, also der Fähigkeit intrazelluläre Schäden durch die Ausdehnung von Eiskristallen, Dehydration von Zellen und erhöhten intrazellulären Salzkonzentrationen vorzubeugen, variiert nicht nur zwischen den Wintergemüsekulturen, sondern wird auch von anderen Faktoren beeinflusst. Der Grad der Akklimatisation, Wasser- und Nährstoffhaushalt, das betroffene Gewebe, sowie das Alter beziehungsweise der Entwicklungsstatus der Pflanze und auch die Geschwindigkeit des Gefrierprozesses, haben Einfluss auf potentielle Frostschäden. Auch die vorhandene Feuchtigkeit stellt einen wesentlichen Faktor für das Gefrieren von Pflanzen(teilen) dar. Trockene Pflanzen haben einen niedrigeren Gefrierpunkt als feuchte Pflanzen, da diese mehr Kristallisationskeime aufweisen, die die Ausbreitung von Eiskristallen begünstigen. Hinzu kommt, dass sogenannte eisbildende Agenten wie beispielsweise, Ice Nucleating Active (INA) Bakterien nur in wässriger Lösung aktiv sind (Wang und Yamauchi, 2006; Wisniewski et al., 2002).

Auch die Geschwindigkeit des Auf- und Abtauens hat Einfluss auf eventuelle Frostschäden. Beispielsweise sinken unter advektiven Wetterbedingungen, wenn polare extrem kalte Luftmassen kurzfristig auftreten, die Temperaturen um mehrere Grad pro Stunde, was eine langsame Anpassung, wie unter Witterungsverhältnissen, wo die Temperaturen um rund 1 bis 2 °C pro Stunde sinken und der Pflanze somit etwas Zeit geben, sich an die neuen Temperaturverhältnisse zu akklimatisieren, verhindert. Die Folge können vermehrte Schäden an betroffenen Stellen sein, da dem Gefrieren des Zellinneren so kurzfristig nicht

entgegengewirkt werden kann. Schlussfolgernd kann keine eindeutige, allgemeingültige Zahl bezüglich der Frostfestigkeit einer Kultur festgemacht werden (Rock et al., 2010; Wang und Yamauchi, 2006; Nilon und Orcutt, 1996).

3.2 Physiologische Anpassungsmechanismen an Froststress

Die Frostakklimatisation ist grundsätzlich ein langwieriger Prozess, der über mehrere Tage bis Wochen abläuft. Abbildung 1. stellt ein vereinfachtes Schema des Anpassungsprozesses dar, wobei die einzelnen Schritte auf den nächsten Seiten genauer beschrieben werden.

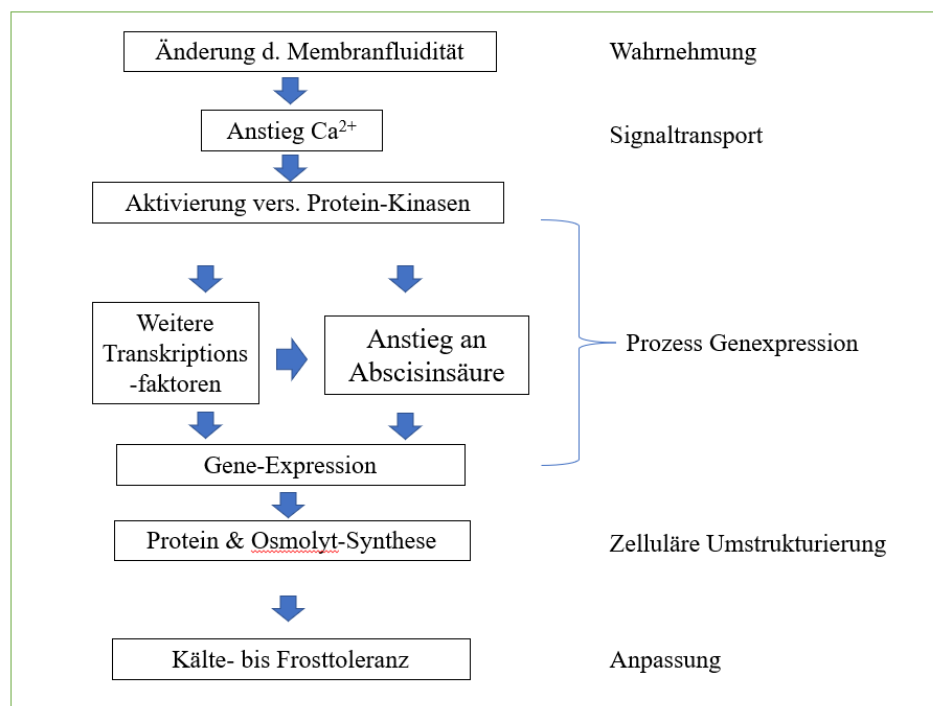


Abbildung 1. Schematische Darstellung des Akklimationsprozesses in Pflanzen an niedrige Temperaturen (verändert nach Ruelland und Collin, 2012)

Als Ausgangspunkte gelten eine für den Winter typische, verkürzte Photoperiode sowie anhaltend niedrige Temperaturen unter 10°C. Dabei durchläuft der gesamte pflanzliche Organismus einen Wandel bis auf die zelluläre Ebene hinunter, um sich den Umweltbedingungen der kalten Jahreszeit anzupassen. Die Aktivierung bestimmter Gene, Umstrukturierungen in der Membranfluidität und den Lipidzusammensetzung, Reduktion des

Wassergehalts im Zellinneren, vorübergehender Konzentrationsanstieg an Kalzium und Abscisinsäure (ABA), verlangsamtes Wachstum, bis hin zum kompletten Einstellen des Wachstums, sowie die Akkumulierung von Osmolyten sind einige Schritte auf dem Weg zur Frostaklimatisation (Rock et al., 2010; Rajashekar, 2006; Wang und Yamauchi, 2006; Xin, 2002).

Versuche mit Kulturpflanzen, die über eine gewisse Frosttoleranz verfügen, aber im Sommer Temperaturen von unter 0°C ausgesetzt wurden, haben gezeigt, dass diese unmittelbar Schäden davontrugen. Somit ist klar, dass Kulturpflanzen erst einen Anpassungsmechanismus durchlaufen, um schädlichen Auswirkungen auf den Stoffwechsel und die Zellmembranen bis zu einem gewissen Grad vorzubeugen (Wang und Yamauchi, 2006; Rajashekar, 2006).

3.2.1 Rolle der Zellmembranen

Unabhängig von der Form des abiotischen Stressfaktors spielen Zellmembranen eine zentrale Rolle in der Wahrnehmung, dem weiteren Signaltransport und dem damit einhergehenden Beginn der Anpassungsmechanismen. Im Fall deren Versagens sind Zellmembranen einer der ersten Orte wo Schäden auftreten. Plasmamembranen sind integrale Komponenten der wichtigsten funktionalen Bestandteile innerhalb von Zellen, wie Chloroplasten, Nuclei, Endoplasmatische Retikulum, Mitochondrien, und Vakuolen. Sie setzen sich hauptsächlich aus (Phospho-)Lipiden und Proteinen zusammen, integrieren zudem Sterole und Kohlehydrate, wobei die jeweilige genau Zusammensetzung von der Art der Membran abhängt (Huang, 2006). Die Membranfluidität, welche für die Stressadaption entscheidend ist, entsteht durch den Aufbau von Phospholipiden. Sie verfügen über hydrophile und hydrophobe Strukturen. Letztere setzen sich aus langkettigen Fettsäuren zusammen. Diese Fettsäuren sind entweder gesättigt oder ungesättigt und bestimmen gemeinsam mit der Art der Lipide den fluiden Charakter von Membranen (Rock et al., 2010; Huang, 2006).

Durch den temperatursensitiven Charakter von Lipiden kommt es bei Temperaturschwankungen (Hitze, Kälte, Frost) je nach Pflanze unterschiedlich schnell zu Veränderungen in der Membranfluidität und -permeabilität. Bei hohen Temperaturen, wobei die jeweilige Schadgrenze bei Hitzestress von vielerlei Faktoren abhängig ist, kommt es zu einer Art „schmelzen“ der Lipid-Doppelschicht, was einen unkontrollierten Stofffluss und (permanente) Schäden zur Folge hat. Unter Froststress kommt es zur Erhärtung der

Zellmembranen, was ebenfalls zu Beeinträchtigungen führt. Unter Kältestress durchlaufen Membranen eine Umstrukturierung von der ursprünglich fluiden Phase hin zu einer kristallinen Phase und letztendlich zu einer rigiden, gelartigen Phase, in der die Lipide dichter als zuvor angeordnet sind und damit die normale Funktionsweise der Membranen reduzieren. Als Anpassung kommt es zu einer Verschiebung hin zu ungesättigten Lipiden und Fettsäuren in den Membranen und weniger zu gesättigten, was letztendlich die Membranfluidität auch unter niedrigen Temperaturen aufrechterhält. Der Anstieg an ungesättigten Lipiden in den Plasmamembranen wird durch die Hochregulierung von Desaturase-Genen im Zuge der Kälte-Akklimatisierung bewirkt. Versuche mit Pflanzen, bei denen dieses Gen verstärkt ausgebildet wurde, zeigten eine verbesserte Frosthärte der Mutanten (Lee et al., 2002). Die Aufrechterhaltung der Membranfluidität, die Auswirkungen auf die Funktion von integralen Membranproteinen und folglich dem Metabolismus an sich hat, ist daher unabdingbar. Ohne evolutionäre Anpassungsmechanismen, einen unzureichenden Anpassungszeitraum, oder zu extreme bzw. anhaltend starke Stressbedingungen kommt es unabhängig vom jeweiligen Stressfaktor zu einer chemischen und physiologischen Änderung der Membranen, deren Oxidation, und letztendlich zum Verlust der Integrität. Das Austreten von Ionen, Proteinen, löslichen Zuckern und Aminosäuren ist ein Indikator des Stresslevels und kann bis zum Zelltod führen (Huang, 2006; Sangwan et al., 2002; Kawamura und Uemura, 2002; Lee et al., 2002).

Versuche zur Auswirkung von Kälte- und Froststress mit *Arabidopsis* haben rasche Änderungen in Gewebe, Organen und Zellen aufgezeigt, wobei sich die Schädigung der Plasmamembranen als eine der ersten und wesentlichsten Folgen, mitunter mit letaler Wirkung, herausstellte. Tolerantere Exemplare wiesen ein Anstieg an ungesättigten Fettsäuren in den Thylakoid-Membranen auf, der zu einer verstärkten Regeneration des Photosystem II Komplexes nach einer Schädigung durch Kältestress führte, und somit zu einer Verbesserung der Photosynthese nach dieser Stresseinwirkung. Das Enzym Linoleoyl-Desaturase scheint eine zentrale Rolle in der Umstrukturierung zu ungesättigten Lipiden und damit zu einer verbesserten Kältetoleranz auszuüben (Huang, 2006).

3.2.2 Signaltransport und die Rolle von Ca^{2+}

Die temperaturbedingte Änderung der Membranfluidität gilt als Ausgangspunkt des internen Signaltransport von Pflanzen, um sich an die veränderten Bedingungen anzupassen. Die Wahrnehmung von Stressbedingungen und die damit einhergehende Signalkaskade kann innerhalb von wenigen Minuten in Pflanzen stattfinden und eine entsprechende Aktivierung stressinduzierter Gene bewirken. Die vollständige (und je nach Art variierende) Akklimatisation ist jedoch ein mehrwöchiger Prozess. Im Zuge des Signaltransport, als Reaktion auf die Umstrukturierung der Plasmamembranen, nimmt die Kalzium-Konzentration eine zentrale Rolle in mehreren pflanzlichen Signalkaskaden ein. Eine Kopplung der mechanosensitiven Kalzium-Kanäle und eine Versteifung der Membranen wurde nachgewiesen (Sangwan et al., 2002). Diese Kanäle sind durch die im Normalzustand herrschende Spannung geschlossen. Diese wird durch Kältestress vorübergehend aufgehoben, was die Öffnung der Ca^{2+} Kanäle bewirkt. Die über die Plasmamembranen wahrgenommenen Temperaturwechsel verändern die Organisation des Cytoskeletts und bewirken einen kurzfristigen cytosolischen Anstieg der Kalzium-Konzentration. Im Zuge der verstärkten Öffnung von Kalzium-Kanälen durch Kältestress kommt es zur Umstrukturierung von Mikrotubuli, die unter anderem für die mechanische Stabilisierung von Zellen und deren Stoffhaushalt mitverantwortlich sind (Boudsocq und Sheen, 2010; Huang, 2006; Rajashekar, 2006; Sangwan et al., 2002).

In Versuchsreihen konnte diese sprunghafte Erhöhung der Kalzium-Konzentration im Cytosol bei künstlich herbeigeführter Kälte-Exposition nachgewiesen werden (Sangwan et al., 2002). Weitere Versuche, bei denen die Ca^{2+} -Kanäle durch Chemikalien blockiert wurden, zeigten, dass gewissen Kälte-assoziierte Gene nicht exprimiert wurden. Auf der anderen Seite bewirkte ein chemisch verursachter Ca^{2+} -Anstieg auch ohne das Vorhandensein von Kältestress genau den umgekehrten Prozess und unterstreicht somit die elementare Bedeutung des Ca^{2+} -getriebenen Signaltransports für eine Frostakklimatisation (Boudsocq und Sheen, 2010; Sangwan et al., 2002).

Der Signaltransport führt über veränderte Ca^{2+} -Ströme und sogenannte CDPKs (Calcium dependent protein kinases) zur Aktivierung von MAPKs (Mitogen-activated protein kinases)-Kaskaden, die im weiteren Verlauf der Frostakklimatisation zur Expression verschiedener Kälte regulierter Gene (COR = Cold regulated) führen. Kalzium-Signale sind in

weitere Folge in die Änderung der Proteinphosphorylierung involviert. Die Anzahl- und Vielfalt von Phosphorproteinen in Zellkernen nimmt von warm kultivierten Exemplaren hin zu kälteexponierten bis hin zu frostexponierten Individuen zu. Sie wirken als Transkriptionsfaktoren zur Expression von kälteinduzierten Genen. Versuche, bei denen Ca^{2+} -Blocker und CDPK-Inhibitoren angewendet wurden, zeigten, dass die kälteinduzierte Proteinphosphorylierung, Genexpression und auch die gesamte Frosttoleranz dadurch negativ beeinflusst wurden (Rock et al., 2010; Huang, 2006; Rajashekar, 2006; Lee et al., 2002; Sangwan et al., 2002).

3.2.3 Genexpression

Ein wesentlicher Bestandteil der Signalkaskade im Zuge der Frostakklimatisation sind bestimmte Transkriptionsfaktoren, die letztendlich die Modifizierung des pflanzlichen Genoms bewirken und zur Expression der Kälte regulierten Gene, die für das Überleben verantwortlich sind, führen. Bereits in der frühen Einwirkungsphase von Kältestress wirken sogenannte C-Repeat Binding Factors (CBF) und Dehydration-responsive element-binding (DREB)-Proteine als Transkriptionsfaktoren und induzieren die DRE (dehydration responsive)- und CRT (C repeat)-Klassen der COR-Gene, welche nachweislich für erhöhte Trockenheitstoleranz, aber vor allem Frosttoleranz mitverantwortlich sind (Majumder et al., 2010; Lee et al., 2002).

Bezüglich der Breite an beteiligten Genen konnten in den letzten Jahren interessante Ergebnisse erzielt werden, doch wie unter den Transkriptionsfaktoren sind nur wenige im Detail erforscht. Zu den meist untersuchten Transkriptionsfaktoren zählen die CBF's. Zu den bekanntesten und meist erforschten zählen CBF1, CBF2 und CBF3, beziehungsweise DREB1A, DREB1B und DREB1C, die sich an die CRT/DRE-Domäne der COR-Gene binden, sie dadurch aktivieren und zudem zur Expression weiterer Gene, wie beispielsweise KIN1, COR66, COR15a, COR47 oder COR78 führen, deren Einfluss auf die Kältetoleranz in *Arabidopsis* nachgewiesen wurde (Rajashekar, 2006; Xin, 2002).

Durch die neu aktivierten Gene kommt es zu einer generellen Umstellung des pflanzlichen Stoffwechsels, um dessen Funktion unter den auftretenden Stressbedingungen aufrecht zu erhalten. Insgesamt werden schätzungsweise bis zu 400 verschiedene Metabolite neu synthetisiert, was das Ausmaß der Umstrukturierungen in dieser Phase verdeutlicht.

Direkte Folgen dieses Anpassungsprozesses sind unter anderem die vermehrte Synthese von phenolischen Verbindungen, die Akkumulierung weiterer antioxidativer Stoffe, Änderungen im Zitronensäurezyklus und im Pentosephosphatweg, mit der Folge einer verstärkten Synthese von Osmolyten. Auf die besondere Bedeutung der osmotisch aktiven Substanzen, wie verschiedenen Aminosäuren und Zuckerverbindungen für die Frostanpassung wird im nächsten Abschnitt genauer eingegangen (Koricheva und Barton, 2012; Majumder et al., 2010; Jung und Niyogi, 2006; Rajashekar, 2006; Xin, 2002).

Kälteinduzierte Gene wie COR6, COR15A, RAB18, COR47 und COR78, deren genaue Funktionsweisen Gegenstand laufender Forschungsarbeiten sind, werden nachweislich durch die Kombination von niedrigen Temperaturen und Trockenheit sowie dem daraus resultierenden Anstieg von Abscisinsäure (ABA) induziert. Dies untermauert die enge Verbindung zwischen Kälte-, Frost- und Trockenstress, der vor allem durch die Dehydration des Zellkerns unter Frost schädlich wirkt (Verslues et al., 2014; Rajashekar, 2006; Xin, 2002).

An *Arabidopsis* wurden zahlreiche Studien zum Einfluss bestimmter Frost-assoziiierter Gene durchgeführt. Versuche mit frosttoleranten ESK1-Mutaten unterstrichen die Notwendigkeit einer vollständigen Akklimatisation. Mit Fortschreiten der Akklimatisationsdauer stieg beispielsweise die Toleranzgrenze bis auf unter -10°C an, wobei bei den Exemplaren mit einer verkürzten Anpassungsphase bei diesen Temperaturen nur 50 % der Population den Versuch überlebten (Xin, 2002).

Versuchsexemplare, bei denen eine Überexpression von DREB1A induziert wurde, zeigten neben einer verbesserten Toleranz gegen Frost und Trockenheit eine zunehmende, teilweise um das Doppelte erhöhte Konzentration von Saccharose, Glucose, Fructose, Raffinose, Prolin, und Trehalose. Dies unterstreicht die Bedeutung einer erhöhten Zuckerakkumulation, da die behandelten Pflanzen bessere Stressresistenz und Frostfestigkeit aufzeigten. Versuche, bei denen die Expression von COR-Genen unterdrückt und lediglich lösliche Zucker externe appliziert wurden, zeigten, dass auch ohne die eigentliche Änderung der Genexpression lediglich durch die zugeführten Zucker eine Frostfestigkeit gewährleistet wurde. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass die Synthese von Saccharose und Prolin, die ebenfalls per CBF reguliert werden, als Reaktion auf kühle Bedingungen, also durch Stresseinwirkung, induziert werden (Verslues et al., 2014; Rajashekar, 2006; Lee et al., 2002).

Diese Versuche verdeutlichen die Komplexität der Frostakklimatisation und zeigen, dass nur über das Zusammenspiel von mehreren Faktoren in Form von funktionierenden Signalketten, exprimierten Genen sowie der Synthese diverser Metabolite eine entsprechende Anpassung erreicht werden kann (Warren et al., 2002).

3.2.4 Bedeutung der Osmolyte

Das gesamte Pflanzenreich verfügt über die Fähigkeit, unter diversen Stressbedingungen wie Versalzung, Trockenheit oder Kältestress sogenannte kompatible Osmolyte zu synthetisieren. Ihr Aufgabenbereich reicht vom Schutz von Makromolekülen und Zellorganellen über die Stabilisierung von Membranen bis hin zur allgemeinen Aufrechterhaltung von Stoffwechselprozessen. Im Zuge von Frostereignissen beispielsweise, wenn der intrazelluläre Raum gefriert, etabliert sich ein Wasserpotential-Gradient entlang der Plasmamembranen, mit höherem Wasserpotential innerhalb der Membranen und niedrigerem außerhalb. Durch diesen osmotischen Gradienten fließt Wasser aus den Zellen in den interzellulären Raum. Die Konzentration an Osmolyten im Zellinneren steigt und senkt durch die hohe Konzentration an gelösten Stoffen den Gefrierpunkt der intrazellulären Flüssigkeit. Das Wasser fließt in den Apoplast und das Xylem, wo die Entstehung von Eiskristallen in frostharten Pflanzen keine Schäden anrichtet. Dieser Prozess, der auch als „Supercooling“ bezeichnet wird, trägt wesentlich zur verbesserten Frosttoleranz bei (Majumder et al., 2010).

Osmolyte können allgemein als organische Komponenten mit geringem molekularem Gewicht definiert werden, die von Zellen zur Aufrechterhaltung der Turgordrucks und des Zellvolumens unter Stressbedingungen, insbesondere Wasserstress verwendet werden. Die wichtigsten Osmolyte sind Polyole, Methylamine sowie diverse Aminosäuren und Zuckerverbindungen. Die Bezeichnung kompatibel rührt daher, dass diese Substanzen selbst in höheren Konzentrationen die Zellabläufe nicht negativ beeinträchtigen, im Gegensatz zu Salzionen beispielsweise, die den zellulären Metabolismus stören. Auf der anderen Seite können kompatible Osmolyte durch ihre hydrophilen Eigenschaften anstelle von Wasser unter Dehydration an der Oberfläche von Proteinen, Proteinkomplexen und Membranen substituiert werden und so die Eiskristallbildung unterbinden. Die meisten osmotisch wirksamen Komponenten sind im Zytosol und in den Chloroplasten lokalisiert. An ihren Wirkungsstellen

entfalten sie zudem eine schützende Wirkung auf Enzyme, Membranen und andere zelluläre Komponenten während Stressereignissen (Majumder et al., 2010; Xin, 2002).

Während Frostereignissen entsteht ein zumindest kurzfristiger Turgorverlust in den Zellen, da das Auftreten von Frost zu einem zumindest kurzfristigen Wasser- und damit Druckverlust in Zellen führt. Symptome von Wassermangel können folgen, insbesondere bei kältesensitiven Pflanzen. Froststress geht oft mit einem gewissen Grad an Dehydration einher. Bei Pflanzen, die Temperaturen bis minus 40°C tolerieren, wird nahezu das gesamte verfügbare Wasser aus ihren Zellen gezogen. Sie sind somit in der Lage, sehr starke Grade an Dehydration zu tolerieren. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass kaum ein einzelner Stressfaktor alleine auftritt und dass die Anpassungsstrategien oft miteinander einhergehen. Frosttolerante Pflanzen können diesen zwischenzeitlichen Effekt insbesondere durch die Synthese und Einlagerung der beschriebenen osmotisch aktiven Stoffe ausgleichen (Rajashekar, 2006).

Zusätzlich kommt es auch unter Trockenstress zur verstärkten Einlagerung von Osmolyten, vor allem im Bereich der Hauptwurzeln und an den Spitzen von Nodalwurzeln. Der osmotische Ausgleich dient zur Aufrechterhaltung des Wurzelwachstums. In Maispflanzen konnte nachgewiesen werden, dass im Zuge von Wassermangel verstärkt Zucker in den Seitenwurzeln akkumuliert werden, um ein verstärktes Wachstum zu erzielen und somit in der Lage zu sein, größere Volumina zur Wasseraufnahme zu erschließen (Wang and Yamauchi, 2006). Die Anpassung an Frost- beziehungsweise Wasserstress läuft zwar über unterschiedliche physiologische Pfade, weist aber auf molekularer Ebene Ähnlichkeiten auf. Beispielsweise bewirken beide Stressformen die Expression von COR-Genen mit sogenannten DRE (dehydration responsive elements) und induzieren trotz unterschiedlicher Stoffwechselwege dieselben Zielgene (Rock et al., 2010; Wang und Yamauchi, 2006; Tähtiharju et al., 2002).

Aus der Reihe der Osmolyte übernehmen Zuckerverbindungen eine zentrale Rolle. Versuche an Weizen (*Triticum aestivum* L.) zeigten unter kontrollierten Bedingungen einen starken Anstieg an wasserlöslichen Zuckern, Saccharose, Glukose und Fructose im Zeitraum von drei bis elf Tagen nach Beginn der Kältebehandlung. Die Gehalte blieben im weiteren Verlauf auf annähernd hohem Level und über denen der Kontrollgruppe, die nicht kältebehandelt wurde. Eine verringerte Frosttoleranz konnte beobachtet werden, wenn der Fruktan-Pool schrumpfte und damit einfache Zucker nicht mehr in das Cytosol und die intrazelluläre Flüssigkeit transportiert wurden (Galiba et al., 2002).

3.2.5 Photoakklimation

Lichteinstrahlung ist der wesentlichste Faktor für den Energiehaushalt der Pflanzen. Wenn zu wenig Strahlungsenergie zur Verfügung steht, kommt es zur Verlangsamung des gesamten Stoffwechsels, ein Übermaß, das je nach Jahreszeit variiert, kann zu oxidativem Stress bis hin zu direkten Gewebeschäden führen. Photoakklimation bezeichnet die Fähigkeit einer Pflanze, sich an (kurz- oder langfristig) wechselnde Strahlungsbedingungen anzupassen, um das Wachstum aufrecht zu erhalten und Schäden abzuwenden. Pflanzen sind in der Lage, sich unter für sie ungünstigen Strahlungsverhältnissen neu auszurichten, indem unter Lichtarmut Blätter und Chloroplasten so ausgerichtet werden, dass die Strahlungsausbeute erhöht wird, beziehungsweise unter hoher Strahlungsbelastung Blätter sich selbst beschatten und die sonnenexponierte Blattfläche verringern (Solovchenko, 2010; Humby und Durnford, 2006).

Unter Lichtmangel und anhaltend kühlen Temperaturen muss sich der pflanzliche Stoffwechsel neu organisieren, um trotz der ungünstigen Bedingungen die Photosynthese aufrechtzuerhalten, um einerseits weiter, wenn auch verlangsamt, wachsen zu können und um die notwendige Energie zur Kälte- bzw. Frostakklimation aufzubringen. Dieser Anpassungsprozess umfasst drei wesentliche Schritte zur Restrukturierung des Kohlenstoffwechsels. Anfänglich kommt es zu einer Änderung der Aktivität von Enzymen entlang des Calvinzyklus. So wird die Aktivität von Enzymen erhöht, die an der Bildung von Vorläufersubstanzen für die Zucker- und Stärkesynthese und auch der Regeneration von Ribulose-1,5-Biphosphat (RuBP) beteiligt sind. Eine verstärkte Aktivität dieses Teils des Calvinzyklus begünstigt die Fixierung von Kohlendioxid (CO₂) sowie die Konversion von fixiertem CO₂ zu Zuckern und Stärke. Dieser Schritt ist notwendig, um die CO₂-Fixierung unter niedrigen Temperaturen aufrecht zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Als nächster Schritt folgt die Umschichtung von anorganischen Phosphaten (Pi). Im Zuge der Kälteanpassung erhöht sich die Menge von metabolisch verfügbarem Phosphat (Pi) im Cytosol. Die Änderung der Phosphat-Verteilung in der Zelle stellt einen wesentlichen Anpassungsmechanismus dar und dient als Initiator für die Umstellung des Kohlenstoffwechsels. Im dritten Schritt kommt es zur Stimulation der Zuckersynthese. Diese Umstellung ist, wie in Studien an Winterroggen aufgezeigt, an die erhöhte Aktivität von Fructose-1,6-bisphosphatase, Rubisco und Saccharosephosphat-Synthase gekoppelt. Die Enzyme Fructose-1,6-bisphosphatase und Saccharosephosphat-Synthase kontrollieren die grundlegenden Schritte in der Saccharose-

Synthese. Beide sind kältesensitiv. Überführt man beispielsweise Versuchspflanzen in eine kältere Umgebung, ist ein rascher und starker Anstieg in deren Aktivität zu beobachten. Somit ist die Wiederherstellung / Aufrechterhaltung der Photosynthese und des Kohlenstoffwechsels ein zentraler, jahreszeitlich geprägter Prozess und die Grundlage für die verstärkte Akkumulation von Zuckern. Sie wirken als Kryoprotektoren, stellen aber auch die Grundlage für basale Stoffwechselprozess und letztlich fürs Überleben von Pflanzen unter kalten Bedingungen dar (Humby und Durnford, 2006; Nilon und Orcutt, 1996).

Ein weiterer Faktor im Zuge der Anpassung an unterschiedliche Strahlungsregime sind sogenannte „Light Harvesting Complexes“ (LHCs). Hierbei handelt es sich um Proteinkomplexen, die sowohl Chlorophylle als auch Karotinoide binden und eine duale Rolle für die Energiegewinnung und die Photoprotektion einnehmen. Der LHC des PS II umfasst beispielsweise 8 Chlorophyll *a*, sechs Chlorophyll *b*, zwei Lutein- und Xanthophyll-Karotinoide. Je nach Lichtintensität kommt es zu Änderungen im Chl *a/b*-Verhältnis und auch zu Änderungen in der Synthese von LHCs. Ein Überangebot von Strahlungsenergie führt zu einer Herabregulierung des LHC-Levels, wohingegen bei Lichtarmut LHCs verstärkt synthetisiert werden, um die Licht- bzw. Energieausbeute zu erhöhen. Dieser Prozess ist jedoch auch an die Gehalte an Chlorophyllen und Karotinoiden gekoppelt (Humby und Durnford, 2006).

3.2.6 Oxidativer Stress / ROS

Ein weiterer effektiver Anpassungsmechanismus ist die Synthese von lichtreflektierenden oder lichtabsorbierenden Stoffen. Das sogenannte antioxidative System besteht aus einer Reihe von Enzymen und nicht enzymatischen „Radikalfängern“ wie beispielsweise Karotinoiden, diversen phenolischen Verbindungen, Anthocyanen, Vitamin C & E und Glutathion. Es wirkt dem bei Strahlungsüberschuss auftretenden oxidativen Stress entgegen, der durch die Bildung von freien Sauerstoffradikalen wie Singulett Sauerstoff ($^1\text{O}_2$), Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Hyperoxid (O_2^-), oder Hydroxyl-Radikal ($\text{OH}\cdot$) zu schwerwiegenden Schädigungen an Nucleinsäuren, Proteinen, Membranlipiden und Pigmenten führen kann (Lisko et al., 2014; Brosche et al., 2010; Jung und Niyogi, 2006; Galiba et al., 2002). In grünen Pflanzengewebe ist der photosynthetische Elektronentransfer unter

intensiven Strahlungsbedingungen eine signifikante Quelle für die Entstehung von ROS. Diese entstehen vor allem, wenn die vorhandene Lichtenergie die Kapazität zur CO₂-Bindung übersteigt. Im Reaktionszentrum von PS II entstehen unter diesen Bedingungen Zwischenprodukte, wie Singulett Sauerstoff (¹O₂), das durch den Energietransfer zwischen angeregten Triplet-Chlorophyllen und O₂ entsteht. Molekularer Sauerstoff agiert als alternativer Elektronenakzeptor in den PS I & II, was in der Bildung von Hydroperoxid (O₂⁻) und Wasserstoffperoxid (H₂O₂) in den Thylakoidmembranen endet. Aufgrund ihrer hoch reaktiven Eigenschaften werden ROS – mit der Ausnahme von H₂O₂ – kaum in der Pflanze transportiert, sondern wirken meist in unmittelbarer Nähe des Entstehungsortes. Wasserstoffperoxid (H₂O₂) ist durch eine stabilere Form in der Lage, über Aquaporine sogar Zellmembranen zu queren. Es fungiert somit als (Warn-)Signal im pflanzlichen Stoffwechsel und induziert in Zusammenarbeit mit weiteren stressinduzierten Kalzium-Signalen, die beschriebenen Anpassungsprozesse (Huang, 2006; Humby und Durnford, 2006; Kawamura und Uemura, 2002).

Ein wesentlicher Bestandteil des antioxidativen Systems ist der Glutathion-Ascorbat-Kreislauf. In diesem Zyklus überführt Glutathion, einer der wichtigsten antioxidativen Komponenten, Wasserstoffperoxid in weniger schädigende Formen. In diesem Prozess wird Glutathion oxidiert und in seiner oxidierten Form von dem Enzym Glutathionreduktase unter Verwendung von NAD(P)H⁺ weiter reduziert. Anstiege des Glutathiongehalts sowie erhöhte Aktivität von Glutathionreduktase konnten sowohl unter Laborbedingungen als auch in Feldversuchen in verschiedenen Kulturen als Reaktion auf verringerte Temperaturen nachgewiesen werden (Galiba et al., 2002).

Bei Strahlungsüberschuss, versucht die Pflanze via Photoinhibition und State-Transition die angeregten Elektronen weg vom PS II zu führen, um dessen Oxidation durch die entstehenden freien Radikale zu verhindern. Eine besondere Rolle nehmen hier Karotinoide ein, da sie den Überschuss an Energie im Lichtsammelkomplex in Form von Wärmeenergie ableiten (Hurry et al., 2002; Galiba et al., 2002).

Über alle auftretenden Stressfaktoren hinweg besitzen Pflanzen somit ein breites Spektrum an Abwehrmechanismen, die allesamt grundsätzliche genetische, physiologische und biochemische Umstrukturierungen bewirken, um letztendlich das Überleben unter Stressbedingungen zu sichern (Nilon und Orcutt, 1996).

4. Forschungsfragen

Die Forschungsthemen vorangegangener Projekte fokussierten hauptsächlich auf der Erhebung von Daten zu Ertragslagen, Stückzahlen & Größen, Ausfallquoten und Schadbildern sowie zu physiologisch und auch ernährungsphysiologisch bedeutenden Inhaltsstoffen von Kulturen, die ausschließlich im Winter angebaut und untersucht wurden. Diese Untersuchungen zeichneten ein erstes positives Bild des Winteranbaus im Allgemeinen, unterlegt durch Ertragslagen vergleichbar mit denen aus herkömmlichen Anbauversuchen, ebenso wie durch den Nachweis qualitätsbestimmender Inhaltsstoffe in vergleichbaren Quantitäten (Hampl, 2016). Aufgrund der Ausnahmestellung, die das gesamte Wintergemüseprojekt auf nationaler wie internationaler Ebene einnimmt, und dem Fakt, dass der Winteranbau in Österreich ein gänzlich neuartiges Anbauverfahren darstellt, ist die Aussagekraft der bisherigen Ergebnisse aufgrund mangelnder Vergleichsmöglichkeiten jedoch eingeschränkt. Um belegbare und wissenschaftlich nachvollziehbare Ergebnisse zu produzieren, war deshalb ein direkter Vergleich derselben Kulturen und Sorten, getestet im Sommer- und im Winteranbau über mehrere Versuchssaisonen notwendig, um Aussagen zu praxisrelevanten Fragestellungen, wie beispielsweise der Kulturdauer, Ertragsleistung und wertgebende Inhaltsstoffe, hauptsächlich jedoch zur Reaktion des pflanzlichen Stoffwechsels, auf die stark abweichenden Witterungsverhältnisse dieser konträren Anbauzeiträume generieren zu können.

Die Ausrichtung der Forschungsfragen der vorliegenden Doktorarbeit zielt darauf ab, den vorhandenen Kenntnisstand zur Synthese von diversen Stoffwechselmetaboliten in Wintergemüsekulturen zu erweitern sowie ein besseres Verständnis für pflanzliche Anpassungsmechanismen und Strategien als Reaktion auf die Stressbedingungen der Wintermonate zu ermöglichen. Die abiotischen Stressfaktoren Frost, anhaltende Feuchtigkeit und Strahlungsstress stehen hier explizit im Fokus. Es wurde untersucht, welchen Einfluss die reduzierte Tageslänge in Kombination mit anhaltend niedrigen Temperaturen auf verschiedenen Stoffwechselprozesse hat und ob statistisch nachweisbare Änderungen verglichen mit den durchgeführten Sommersversuchen auftreten.

Aus den in Kapitel 3 diskutierten pflanzenphysiologischen Hintergründen und dem in den Kapiteln 6.2 & 6.3 detailliert erläuterten Versuchsaufbau dieser Arbeit ergeben sich die folgenden Forschungsfragen.

- ❖ Sind aufgrund der konträren Wachstumsbedingungen zwischen Sommer- und Winteranbau Unterschiede bei den analysierten Stoffwechselmetaboliten nachweisbar?
- ❖ Produzieren die Winterkulturen unter Berücksichtigung von Standort und Sortenwahl sowie angepassten Kulturmaßnahmen Erträge die dem Sommeranbau quantitativ und qualitativ gleichwertig sind?

Vertiefende Fragestellungen beziehen sich sowohl auf praxisrelevante Aspekte wie dem Abschneiden der gewählten Sorten im Vergleich zu weiteren Sorten, der Ertragsausbildung in strahlungs- und temperaturarmen Monaten, sowie dem spezifischen Kulturmanagement. Bezüglich der Laboranalytik stellen sich weitere ins Detail der einzelnen Stoffwechselprozesse gehende Fragestellungen, die sich mit der Synthese von antioxidativen Komponenten, Zuckern und Nitrat befassen und wie folgt lauten:

- ❖ Wie schneiden die ausgewählten Sorten *Daucus carota L.* (Nominator F1), *Raphanus sativus* var. *sativus* (Stamm P) und *Lactuca sativa* var. *crispa* (Fortero) im Vergleich zu weiteren getesteten Sorten in Bezug auf praxisrelevante Fragestellungen wie Ertragsleistung, Ausfallquoten, Stückzahl/Größe und Krankheitsanfälligkeit ab?
- ❖ Wirkt sich die Frostakklimatisierung der Winterkulturen verstärkt auf die Synthese von osmotisch aktiven Substanzen, verglichen mit Werten aus dem Sommeranbau aus?
- ❖ Werden durch die multiplen Stressbedingungen der Winterperiode stressgekoppelten Inhaltsstoffe wie Phenole und die antioxidative Komponenten verstärkt akkumuliert?
- ❖ Bedingt der durch die reduzierte Strahlungsenergie in Kombination mit anhaltend niedrigen Temperaturen herabgesetzte Stoffwechselmetabolismus in von Natur aus verstärkt nitratakkumulierenden Kulturen wie *Raphanus sativus* var. *sativus* und *Lactuca sativa* var. *crispa* eine verringerte Umwandlung von Nitrat und infolgedessen eine unerwünschte Nitratakkumulierung?
- ❖ Ist durch die signifikant verlängerte Anbaudauer im Winteranbau und der gezielt gering gehaltenen Bewässerung ein Anstieg der Trockenmassegehalte in Winterkulturen nachweisbar?

5. Material und Methoden

In Anbetracht der Diversität der untersuchten Fragestellungen, mit der sich die vorliegende Doktorarbeit auseinandersetzt, ergibt sich ein breites Spektrum an angewandter Methodik, die auf folgenden vier Säulen aufgebaut ist.

- 1) Anlage, Umsetzung und Auswertung der Feldversuche, die in Kooperation mit dem österreichweiten Forschungsprojekt „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau“ in den Wintersaisons 2016 bis 2018 und in den Sommersaisons 2017 und 2018 durchgeführt wurden.
- 2) Ergänzende Interviews mit beteiligten Betriebs- und Versuchsleitern, für eine vertiefende Auseinandersetzung mit praxisbezogenen Fragestellungen des Wintergemüseanbaus.
- 3) Chemische Analyse der inneren Qualitätsparameter der Versuchskulturen *Daucus carota* (Nominator F1), *Raphanus sativus* var. *sativus* (Stamm P) und *Lactuca sativa* var. *crispa* (Fortero) über die genannten fünf Versuchssaisons.
- 4) Fortlaufende statistische Auswertung der erhobenen Feld- und Labordaten, um etwaige Unterschiede hinsichtlich der Synthese diverser Stoffwechselmetabolite, Abweichungen zwischen Versuchsstandorten, Jahren und Saisons zu unterlegen und um mögliche Korrelationen zwischen den bestimmenden Einflussfaktoren nachzuweisen.

5.1 Feldversuche der Jahre 2016, 2017 und 2018

Die für dieses Forschungsvorhaben angelegten Feldversuche wurden als mehrjährige Versuchsreihe, über drei Winter- und zwei Sommersaisonen angelegt. Hierfür wurden die Kulturen *Daucus carota*, *Raphanus sativus* var. *sativus* und *Lactuca sativa* ssp., ausgewählt, um deren Anbau über die Wintermonate in einem größeren Maßstab zu testen. Zudem sollten etwaige Unterschiede zum Sommeranbau hinsichtlich Kulturverlauf & -dauer, Krankheitsbefall und Ertragsleistung der drei konkreten Sorten - Nominator F1 (Karotte), Stamm P (Radieschen) und Fortero (Eichblattsalat) evaluiert werden. Dazu wurden die Kulturen an allen beteiligten Standorten zu denselben Zeitpunkten, ersichtlich in den folgenden Kapiteln zu den einzelnen Versuchsaufbauten, angebaut und ausgewertet. Die Anbaubedingungen glichen in Parzellengröße, Düngemaßnahmen, Reihenabstand und Anbaudaten in den jeweiligen Jahren denen des im folgenden Abschnitt beschriebenen Kernversuchs dieser Arbeit, um eine bessere Vergleichbarkeit der erhobenen Ergebnisse zu gewährleisten.

Wie in Kapitel 2 beschrieben orientiert sich das gesamte Konzept des Wintergemüseanbaus am Prinzip der Nachhaltigkeit. Für die vorliegende Versuchsreihe wurden folglich die nach biologischen Richtlinien umgestellten Flächen der Versuchsstationen Zinsenhof und Wies für die Anlage der Feldversuche herangezogen. Dies galt sowohl für die Versuche über die Wintersaisonen 2016 bis 2018, als auch für die ergänzenden Sommersversuche der Jahre 2017 und 2018 und ermöglichte eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse, da die Kulturen am selben Standort über mehrere Jahre angebaut wurden. Zudem konnten die praxisbezogenen Fragestellungen unter ähnlichen Bedingungen, wie die der ebenfalls nach biologischen Richtlinien wirtschaftenden Betriebe des Kooperationsprojekts, untersucht werden.

5.2 Beschreibung der Kernversuche

Über die gesamte Versuchsdauer der vorliegenden Dissertation wurde der Versuchsaufbau, betreffend Anbauzeitpunkt und Sortenwahl an den Versuchsstationen Zinsenhof (NÖ) und Wies (Stmk) beibehalten. Ergänzend zu den Winter-Versuchsreihen wurden in den Sommersaisonen 2017 und 2018 an beiden Standorten Versuche mit denselben Kulturen und Sorten angelegt, um Unterschiede hinsichtlich Kulturverlauf & Dauer, Krankheitsbefall und Ertragsleistung, aber vorwiegend in Bezug auf die im weiteren Verlauf analysierten Inhaltsstoffe und Qualitätsparameter zu untersuchen. Der Vergleich der Sorten Nominator F1, Stamm P und Fortero an den genannten Standorten über drei Winter- und zwei Sommersaisonen stellt somit den Schwerpunkt dieser Arbeit dar und wird im weiteren Verlauf als Kernversuch bezeichnet. Die weiterführenden Versuchsreihen im Rahmen des Kooperationsprojekts werden zur Einordnung und Diskussion der erhobenen Ergebnisse herangezogen und lassen Rückschlüsse auf die Eignung der getesteten Sorten für den Winteranbau zu.

5.2.1 Standortbeschreibung der gartenbaulichen Versuchsanstalt der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn - Zinsenhof

Die Versuchsstation der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau und Österreichische Bundesgärten (HBLFA) Schönbrunn befindet sich, angesiedelt auf einer Seehöhe von 250 Meter, im niederösterreichischen Bezirk Melk. Das Aufgabenspektrum der Versuchsanlage umfasst Sortenwertprüfungen und Sortensichtungen, Erhaltung und Förderung von Gemüsevielfalt, Abhaltung von Informations- und Fachtagen ebenso wie die Entwicklung von neuartigen Kulturverfahren und Anbausystemen für den biologischen und konventionellen Gemüsebau (Versuchsanlage ZINSENHOF, 2019). Gelegen in der voralpinen Zone ist diese Region durch gemittelte Niederschlagsmengen von 850 mm / m² pro Jahr und einer Jahresdurchschnittstemperatur von ~11°C gekennzeichnet (HBLFA für Gartenbau Schönbrunn, 2019; Versuchsanlage ZINSENHOF, 2019).

Bezüglich der Bodenart zeichnet sich der Versuchsstandort durch einen sehr tiefgründigen, lehmhaltigen Pseudogley bei mittlerem Schluffanteil aus. Ein 30 cm starker A-Horizont, ein 75 cm starker AB-Horizont und ein über 125 cm umfassender B-Horizont macht das Bodenprofil dieses Standorts aus. Der pH-Wert liegt bei 7,0, der Humusanteil bei 3,2 Prozent. Der vorliegende Stundeboden erschwert die Bodenbearbeitung bei feuchten

Wetterbedingungen maßgeblich, was mitunter zu Verzögerungen bei Versuchsanlagen führte. Starkregen und / oder anhaltende Niederschläge oder die am Standort vorkommenden kurzfristigen Überschwemmungen bedingen Reduktionsschichten und erschweren bzw. verhindern maschinelle Bearbeitungsgänge. Unter trockenen Wetterbedingungen in Kombination mit hohen Verdunstungsraten neigt der Boden zu Verklumpungen, welche sich ebenfalls negativ auswirken (Hasinger, 2009). Seit 2007 wird ein Drittel der gesamten Versuchsfläche von insgesamt 1,5 ha nach biologischen Richtlinien bewirtschaftet. Diese Flächen werden für das ebenfalls nach biologischen Anbauprinzipien ausgerichtete Wintergemüseprojekt herangezogen und unterteilen sich in einen insgesamt 1200 m² großen Abschnitt, welcher mit einem mobilen Rolltunnel ausgestattet ist, rund einem Hektar Freilandfläche und zwei Folienhäusern (HBLFA für Gartenbau Schönbrunn, 2019; Versuchsanlage ZINSENHOF, 2019; Kupfer und Palme, 2016).

5.2.2 Standortbeschreibung der Versuchsstation für Spezialkulturen - Wies

Auf einer Seehöhe von 341 Metern gelegen in der südlichen Steiermark im Bezirk Deutschlandsberg befindet sich die gemüsebauliche Versuchsanstalt für Spezialkulturen Wies, die Teil der Abteilung 10 – Land- und Forstwirtschaft des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung ist. Ihr ausgewiesener Tätigkeitsbereich orientiert sich an der praxisnahen Versuchsarbeit für Erwerbsgärtner, Zierpflanzen sowie Kräuterproduzenten und Gemüsebauern. Schwerpunkte sind neben Sortensichtungen von nationalen wie internationalen Neuzüchtung, Versuche mit neuartigen Kulturen und Anbauverfahren um langfristig die sich verändernden Bedürfnisse des Gemüsemarkts und die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Produzenten aufrechtzuerhalten und zu fördern. Der Betrieb teilt sich auf 1,4 ha Freiland und rund 9000 m² geschützte Versuchsflächen auf und ist wie der Zinsenhof bio-teilzertifiziert, was eine Untersuchung biologischer und konventioneller Fragestellungen ermöglicht (Land Steiermark, 2019).

Klimatisch betrachtet, kennzeichnet sich die Region durch eine Jahresmitteltemperatur von 9,7 °C und eine gemittelte Niederschlagsmenge von 997 mm/m² über einen Zeitraum der letzten 15 Jahre gerechnet (Land Steiermark, 2019; ZAMG, 2019; Land Steiermark, 2017).

5.3 Versuchsaufbau

Die beschriebenen Versuchsstandorte wurden ausgewählt, um den Wintergemüseanbau in klimatisch unterschiedlichen Gemüsebauregionen Österreichs zu untersuchen. Die unterschiedlichen Witterungsverhältnisse der beiden Versuchsstationen ließen abweichende Ergebnisse hinsichtlich praxisrelevanter Fragestellungen, zu Kulturdauer, Krankheitsbildern und Ertragsleistung und hinsichtlich der Synthese der analysierten Qualitätsparameter erwarten. Zudem ergaben sich für die Versuchsanlage an den Versuchsstationen Zinsenhof und Wies immanente Vorteile, verglichen mit real wirtschaftenden Betrieben, durch deren wissenschaftlichen Zugang und die durchgehende, intensive Kulturbetreuung. Folglich wurden die in den nächsten Abschnitten beschriebenen Versuchsreihen mit freundlicher Unterstützung der Versuchsleiter, Herrn Dipl. Ing. Wolfgang Palme und Herrn Harald Streimelweger (Zinsenhof) sowie Frau Dipl. Ing. Doris Lengauer (Wies) angelegt.

Pro Versuchssaison und Kultur wurden an den Standorten Zinsenhof und Wies jeweils zwei 4*1 m große Versuchspartellen angelegt und sowohl für die spätere Auswertung der anbaubezogenen Fragestellungen als auch zur Probenahme für die anschließenden Laboruntersuchungen herangezogen. Der Versuchsaufbau teilte sich im Fall der Versuchskultur *Daucus carota* (Nominator F1) auf Freilandversuche und im Falle von *Raphanus sativus* var. *sativus* - Stamm P und von *Lactuca sativa* var. *crispa* - Fortero auf Versuche unter durchgängig geschützten Bedingungen auf. Im Rahmen der Datenerhebung wurden die einzelnen Versuchspartellen weiter halbiert, um so insgesamt vier Wiederholungen pro Kultur, Sorte und Saison zu erhalten. Aus jeder dieser Partellen wurde eine Fläche von 1*1 Meter abgesteckt. Für jede der drei Versuchskulturen wurde eine eigenes, in den nächsten Abschnitten näher portraitiertes Datenpaket erhoben. Aus der jeweiligen Erntemenge wurden pro Partelle Mischproben im Umfang von rund 100 g für die weiteren Laboranalysen entnommen.

Die durchgeführten Erhebungen liefen über alle Sommer- und alle Wintersaisonen, über alle Versuchsstandorte hinweg, nach demselben Schema ab und gestaltete sich wie folgt. Im Rahmen der Auswertung der Karottenversuche wurden an den Versuchsstandorten Wies und Zinsenhof, ebenso wie auf den praktischen Betrieben jeweils zwei 1 m² große Partellen abgesteckt. Diese wurden komplett abgeerntet und hinsichtlich ihrer Eignung für eine Direktvermarktung unterteilt. Die Begutachtung hinsichtlich der Vermarktbarkeit wurde

einheitlich unter der Aufsicht von Dipl. Ing. Wolfgang Palme von der HBLFA Schönbrunn durchgeführt. Von dem vorhandenen Ausschuss wurden Stückzahlen, Gesamtgewicht und Ausfallursachen – zu geringe Stückgröße, Verformungen, (a)biotische Schadbilder, erhoben. Von der vermarktbaren Ware wurden ebenfalls Stückzahlen und Gesamtgewicht dokumentiert. Zusätzlich wurden an insgesamt 20 Einzelstücken weitere physiologische Parameter erhoben, um ein detaillierteres Abbild der Kultur zu erhalten. Neben Wurzelgewicht, -länge und -durchmesser wurden ebenfalls laubbezogenen Parameter (Länge und Gewicht) gemessen, da die Laubmasse ein zusätzliches Qualitätskriterium zur Direktvermarktung darstellt. Die Auswertung der Radieschenversuche gestaltete sich nach demselben Prozedere.

5.3.1 Versuchsanlage *Daucus carota* L. - 'Nominator F1'

Die Anlage der Karottenversuche erfolgte in Anlehnung an vorangegangene Versuchsreihen zu dieser Kultur (Hampl, 2016; Betz et al., 2015). Konkret wurden die Anbauzeitpunkte, die im Karottenanbau für die Wintersaison den zentralen Faktor für den Erfolg der Kultur darstellen, so gewählt, dass eine planmäßige Ernte für die Kalenderwochen 49 – 51 ermöglicht werden sollte. Bisherige Versuchsreihen zeigten, dass spätere Erntetermine zu starken Qualitätseinbußen führen. Ein „Überwinterungsanbau“, also eine Ernte nach Jahreswechsel, wie bei den Versuchskulturen *Raphanus sativus* var. *sativus* und *Lactuca sativa* ssp., ist somit ausgeschlossen (Hampl, 2016).

Zudem wurden die Versuche an die Verkaufspraxis der beteiligten Betriebe angepasst. Somit wurden die Karotten für eine Vermarktung als Bundware, also mit Laub produziert. Aus der gesamten Reihe der Winterkulturen sind Karotten die zeitintensivste, bezogen auf die Kulturdauer. Aufgrund der langen Keimdauer und der langsamen Entwicklung wurden die Anbautermine der drei Versuchsjahre auf Anfang August festgelegt. Einzige Ausnahme bildete die Wintersaison 2017 auf der Versuchsstation Wies, wo aufgrund der überaus guten Kulturentwicklung der Wintersaison 2016 der Anbautermin auf Anfang September verschoben wurde. Die schlechte Entwicklung dieser Kulturreihe bedingte allerdings im Folgejahr die Rückkehr zu einem Anbautermin Anfang August. Die Anbautermine der ergänzenden Sommersversuche wurden mit Ende April/Anfang Mai so gewählt, um eine Ernte zwischen KW 29 und 31 zu erzielen. Die genauen Anbaudaten der beiden Versuchsstandorte finden sich in den Tabellen 3 und 4 wieder.

Tabelle 3. Kulturdaten der Karottensorte Nominator F1 am Versuchsstandort Zinsenhof

Faktor	Direktsaat	Reihenabstand	Erntewoche	Auswertung / Probenahme
Saison				
Winter 2016	10.8.2016	15 * 0,25 cm	KW 50	14.12.2016
Winter 2017	7.8.2017	10 * 0,5 cm	KW 51	18.12.2017
Winter 2018	7.8.2018 °	10 * 0,5 cm	KW 50	10.12.2018
Sommer 2017	3.5.2017	10 * 0,5 cm	KW 30	28.7.2017
Sommer 2018	23.4.2018	10 * 0,5 cm	KW 31	2.8.2018

° Aufgrund der anhaltenden Hitzeperiode zu diesem Anbauzeitpunkt und der verminderten Keimung der Karottensamen, wurde die Parzelle am 29.8.2018 erneut besät.

Tabelle 4. Kulturdaten der Karottensorte Nominator F1 am Versuchsstandort Wies

Faktor	Direktsaat	Reihenabstand	Erntewoche	Auswertung / Probenahme
Saison				
Winter 2016	3.8.2016	15 * 0,25 cm	KW 50	15.12.2016
Winter 2017	5.9.2017	10 * 0,5 cm	KW 50	15.12.2016
Winter 2018	6.8.2018	10 * 0,5 cm	KW 50	16.12.2018
Sommer 2017	1.5.2017	10 * 0,5 cm	KW 29	21.7.2017
Sommer 2018	3.5.2018	10 * 0,5 cm	KW 31	31.7.2018

Im Rahmen des Kooperationsprojekts fanden in jeder Wintersaison umfassende Auswertungsreihen über alle Versuchsstandorte und Kulturen statt. Im Zuge dessen wurde an den Karottenversuchen folgendes Datenpaket erhoben. An jeder Parzelle wurden zwei 1 m² große Flächen abgesteckt und der Ertrag pro m² sowie die Ausfälle pro m², angegeben in kg, erhoben. Zudem wurden abiotische und biotische Schadbilder dokumentiert. An insgesamt 20 repräsentativen Einzelstücken wurden zusätzlich folgende Parameter erhoben: Wurzelgewicht (in g), Wurzellänge (in cm), Wurzeldurchmesser (in cm), Laubgewicht in (g) und Laublänge (in cm). Nach diesem Auswertungsschema wurden auch die Sommersversuche der Jahre 2017 und 2018 analysiert.

5.3.2 Versuchsanlage *Raphanus sativus* var. *sativus* - 'Stamm P'

Verglichen mit der Versuchskultur *Daucus carota* (Nominator F1) handelt es sich bei Radieschen um rasch wachsende, anspruchslose Winterkulturen. Die rasche Keimfähigkeit sowie eine zügige Bestandsentwicklung resultieren in einer vergleichsweise geringen Kulturdauer von durchschnittlich acht bis zehn Wochen für den Winteranbau (Palme, 2019; Craker et al., 1983). Im Rahmen des Kooperationsprojekts wurden zusätzlich, zu den in den Tabellen 5 und 6 festgehaltenen Versuchen, weitere Sätze zu späteren Terminen angesetzt, um diese zu „überwintern“ – also über den Jahreswechsel hinaus in eine verfrühte Ernte in den Monaten Februar und März zu führen. Diese zusätzlichen Versuchsreihen wurden für die Auswertungsreihe der vorliegenden Forschungsarbeit nicht herangezogen. Einzige Ausnahme stellte die Wintersaison 2018 dar, in der es an beiden Versuchsstandorten aufgrund der anhaltend überdurchschnittlichen Temperaturen zu einer verfrühten Erntereife der Radieschenkulturen kam. Dies war insofern problematisch, da zu lange auf dem Feld belassene, nicht rechtzeitig abgeerntete Radieschen rasch an Qualität einbüßen. Umgangssprachlich wird hierfür der Begriff „überständig“ verwendet (Derndorfer, 2018). Daher wurde für die Auswertung und die Probenahme für die anstehenden Laboranalysen der zweite Satz, der um zwei Wochen später – also in der zweiten Oktoberwoche 2018 angebaut wurde, herangezogen. Dieser war aufgrund der Wetterverhältnisse in der KW 50 ernte- und damit auswertungsfähig.

Tabelle 5. Kulturdaten der Radieschensorte Stamm P am Versuchsstandort Zinsenhof

Faktor Saison	Direktsaat	Reihenabstand	Erntewoche	Auswertung / Probenahme
Winter 2016	27.9.2016	10*6 cm	KW 50	14.12.2016
Winter 2017	25.9.2017	11*5 cm	KW 51	18.12.2017
Winter 2018	27.9.2018	11*5cm	KW 50	10.12.2018
Sommer 2017	24.5.2017	11*5 cm	KW 25	22.6.2017
Sommer 2018	23.5.2018	11*5cm	KW 24	13.6.2018

Tabelle 6. Kulturdaten der Radieschensorte Stamm P am Versuchsstandort Wies

Faktor	Direktsaat	Reihenabstand	Erntewoche	Auswertung / Probenahme
Saison				
Winter 2016	19.10.2016	10*6 cm	KW 50	15.12.2016
Winter 2017	4.10.2017	11*5 cm	KW 50	15.12.2017
Winter 2018	16.10.2018	11*5cm	KW 50	16.12.2018
Sommer 2017	17.5.2017	11*5 cm	KW 26	28.6.2017
Sommer 2018	30.5.2018	11*5cm	KW 27	5.7.2018

Wie bei den Karottenversuchen wurden die Radieschenkulturen im Rahmen der Auswertungsreihen des Kooperationsprojekts ausgewertet. An jeder Parzelle wurden zwei 1 m² große Flächen abgesteckt und der Ertrag pro m² sowie die Ausfälle pro m², angegeben in kg, erhoben. Zudem wurden abiotische und biotische Schadbilder dokumentiert. An insgesamt 20 Einzelstücken wurden zusätzlich folgende Parameter erhoben: Knollengewicht (in g), Laubgewicht (in g), maximaler Knollendurchmesser (in cm) und Laublänge (in cm).

5.3.3 Versuchsanlage *Lactuca sativa* var. *crispa* - 'Fortero'

Ebenso wie bei den Radieschenversuchen kam es in der Wintersaison 2018 bei den Salatversuchen zu wetterbedingten Problemen. Während die Radieschen zu rasch in ein erntefähiges Entwicklungsstadium gelangten und „überständig“ wurden, war in den Salatbeständen vorwiegend das Auftreten diverser Pilzkrankheiten problematisch. Ein Großteil der zu in den Tabellen 7 und 8 ersichtlichen Daten angebauten Salatsätze erreichte bis zur geplanten Ernte in KW 50 kein erntefähiges Gewicht und wies massive Qualitätsmängel auf. Daher wurde wie bei den Radieschen auf den zweiten, ebenfalls um zwei Wochen später angebauten Satz für die Auswertung und Probenahme zurückgegriffen.

Für die Versuchsauswertung wurden über alle angelegten Parzellen insgesamt 20 Einzelexemplare entnommen. Diese wurden auf Stückgewicht (geputzt), etwaige Krankheitsbilder und Schädlingsbefall sowie auf die Blattzahl hin untersucht.

Tabelle 7. Kulturdaten der Salatsorte Fortero am Versuchsstandort Zinsenhof

Faktor Saison	Aussaat / Anbau	Reihenabstand	Erntewoche	Auswertung / Probenahme
Winter 2016	5.9. / 30.9.2016	30 * 20 cm	KW 50	14.12.2016
Winter 2017	1.9. / 25.9.2017	30 * 20 cm	KW 51	18.12.2017
Winter 2018	30.8 / 25.9.2018	30 * 20 cm	KW 50	10.12.2018
Sommer 2017	22.4 / 13.5. 2017	30 * 30 cm	KW 25	22.6.2017
Sommer 2018	23.4 / 23.5. 2018	30 * 30 cm	KW 24	13.6.2018

Tabelle 8. Kulturdaten der Salatsorte Fortero am Versuchsstandort Wies

Faktor Saison	Aussaat / Anbau	Reihenabstand	Erntewoche	Auswertung / Probenahme
Winter 2016	5.9. / 29.9.2016	30 * 20 cm	KW 50	15.12.2016
Winter 2017	5.9. / 29.9.2017	30 * 20 cm	KW 50	15.12.2017
Winter 2018	28.8 / 25.9.2018	30 * 20 cm	KW 50	16.12.2018
Sommer 2017	9.5 / 26.5.2017	30 * 30 cm	KW 26	28.6.2017
Sommer 2018	28.4 / 30.5.2018	30 * 30 cm	KW 27	5.7.2018

5.4 Wetterdaten der Versuchsjahre 2016 bis 2018

Für eine möglichst umfangreiche Dokumentation der Wetterdaten wurden zweierlei Datenpakete an den Versuchsstandorten erhoben. Einerseits die automatisiert an den Versuchsstationen Wies und Zinsenhof erhobenen Wetterdaten zu Maximaltemperatur pro Tag, Minimaltemperatur pro Tag, Niederschlagsmenge in mm / m² und durchschnittliche Bodentemperatur. Um den Temperaturverlauf über einen Tag hinweg zu dokumentieren, wurden pro Tag drei Messungen (07.00; 14.00; 17.00) durchgeführt. Die dazugehörigen Wetterdaten und Grafiken finden sich im Anhang dieser Arbeit.

Zudem wurden über die Versuchssaisonen- und Standorte hinweg, im Rahmen des Kooperationsprojekts verschiedene Datenlogger direkt in den Beständen der jeweiligen Versuchskulturen installiert. Gemessen wurden: Boden und Luftfeuchtigkeit, Temperaturwerten von Boden und Luft, Anzahl der Sonnenstunden sowie der eintreffenden PAR (Photosynthetically Active Radiation). Folgende Modelle der Firma UMS AG kamen zum Einsatz: MPS-2 Matrix Potential und MPS-6 Matrix Potential Sensor zur Bestimmung des Matrixpotentials und der Temperatur, mit einem Messbereich von -9 und -100,000 kPa (pF 1.96 bis pF 6.01), beziehungsweise von minus 40 °C bis plus 60 °C und einer Genauigkeit von 5 kPa bzw. +/-1 °C.; 10HS Bodenfeuchte Sonde und einem Messvolumen von 1 Liter; QSO-S PAR Sensor, der den photosynthetischen Photonfluss (PPF) in 2 µmol m⁻² s⁻¹ aus einem Sichtfeld von 180 Grad misst, Pyranometer Sensor zur Messung der eintreffenden Globalstrahlung sowie ein VP-4 Sensor zur Messung der Luftfeuchte und der Lufttemperatur.

Aufgrund mehrfacher Fehlfunktionen der beschriebenen Datenlogger, bis hin zum Totalausfall einiger Messinstrumente konnten über alle Versuchssaisonen hinweg nur lückenhafte Datensätze zu Boden- und Luftfeuchtigkeit, von Boden- und Lufttemperatur, Anzahl der Sonnenstunden sowie der eintreffenden PAR generiert werden. Für die weitere Auswertung wurden folglich die Wetterdaten der Versuchsstationen und die der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG, 2019) als Auswertungsgrundlage verstärkt herangezogen.

5.5 Interviews

Die durchgeführten Interviews zielten vorwiegend auf die Vertiefung und die Beantwortung von Forschungsfragen zu den praxisrelevanten Aspekten dieser Arbeit ab. Als Interviewpartner wurden am Wintergemüseprojekt beteiligte Agrarwissenschaftler*innen sowie Betriebsleiter*innen ausgewählt. Folgende Interviewpartner nahmen an der Befragungsreihe teil:

- Herr Dipl. Ing. Wolfgang Palme, Leiter der Abteilung Gemüsebau der HBLFA Schönbrunn und Mitbegründer der Wintergemüseforschung in Österreich.
- Herr Ing. Johann Kupfer, stellvertretender Leiter der Abteilung Gemüsebau der HBLFA Schönbrunn und Mitbegründer der Wintergemüseforschung in Österreich.
- Frau Dipl. Ing. Doris Lengauer, Bereichsleiterin der Versuchsstation für Spezialkulturen Wies (Stmk).
- Frau Dipl. Ing. Anna Ambrosch, Betriebsleiterin des Bio-Bauerhofs „Jaklhof“ (Stmk) und Pionierin im Bereich der biologischen Wintergemüseproduktion.
- Herr Stefan Zoubek, Geschäftsführer des Bio-Hofs „ADAMAH“ (NÖ) und Pionier im Bereich der biologischen Wintergemüseproduktion.

Der ausgearbeitete Fragebogen findet sich im Anhang wieder. Die erarbeitete Fragestellung befasst sich mit der Thematik der Kulturführung der gesichteten Winterkulturen, praktischen Umsetzungsproblemen, besonders für den Winteranbau geeigneten Sorten und konkreten Maßnahmen wie Bewässerungsstrategien. Die Diskussion der jeweiligen, standortspezifischen Anbaubedingungen – Art/Modell von Tunnel/Folien/Kalthaus, stellt ebenfalls einen zentralen Punkt der Interviews dar, da im Projektverlauf hinsichtlich des Kulturerfolgs signifikante Unterschiede zwischen den Anbauformen aufgetreten sind. Zusätzlich wurden Thematiken zur Integration der Winterkulturen in ganzjährige Fruchtfolgen, zur Satzstaffelung der jeweiligen Kulturen, zum optimalen Erntefenster sowie zum Auftreten von tierischen Schädlingen erörtert.

5.6 Laboranalytik

Die durchgeführten Laboranalysen bildeten neben den Ertragsversuchen den zweiten Schwerpunkt des vorliegenden Forschungsprojekts und wurden im unmittelbaren zeitlichen Anschluss an die im vorherigen Abschnitt erläuterten Feldversuche umgesetzt. Der gesamte Versuchsrahmen erstreckte sich ebenso wie die Feldversuche auf fünf Saisonen und folgte einem einheitlichen Prozedere. Pro Saison wurden für jede der Kulturen *Daucus carota* (Nominator F1), *Raphanus sativus* var. *sativus* (Stamm P) und *Lactuca sativa* var. *crispa* (Fortero) jeweils zwölf Mischproben für die späteren Laboranalysen entnommen. Dies ergibt sich aus den geviertelten Parzellen je Kultur und jeweils drei entnommene Proben je Parzelle. Über fünf Saisonen summiert ergibt sich somit ein Stichprobenumfang von sechzig Proben je Kultur. Die entnommene Menge Karottenwurzeln, Radieschenknollen beziehungsweise Salatmasse pro Einzelprobe umfassten im Durchschnitt rund 100 g Frischmasse. Um die weiteren Analyseschritte zu erleichtern, wurde sämtliches Probematerial vor Ort von Verunreinigungen gesäubert, zerkleinert, durchmischt, luftdicht verpackt, eingekühlt und am Ernte Tag in den Laborräumlichkeiten des Instituts für Gartenbau bei -18 °C bis zur weiteren Verarbeitung eingefroren.

Die entnommenen Proben wurden auf die in Tabelle 9 aufgelisteten Untersuchungsparameter hin analysiert. Die breite Auswahl an untersuchten Inhaltsstoffen dient einer möglichst tiefgreifenden Auseinandersetzung der einwirkenden Umwelteinflüsse auf verschiedene pflanzliche Stoffwechsel Metabolite und deren Synthesewege.

Tabelle 9. Auflistung der untersuchten Inhaltsstoffe

Trockenmasse	Chlorophylle	Karotinoide	Antioxidative Kapazität
Gesamtphenole	Reduzierende Zucker	Gesamtzucker	Nitrat

Bei den Kulturen *Daucus carota* (Nominator F1), *Raphanus sativus* var. *sativus* (Stamm P) wurden ebenfalls über drei Winter- und zwei Sommersaisonen ergänzende Proben der dazugehörigen Laubmasse entnommen und auf dieselben Inhaltsstoffe hin analysiert, einerseits, um Rückschlüsse auf physiologische Prozessabläufe sowie den Energiehaushalt der Kulturen ziehen zu können, und andererseits, um deren ernährungsphysiologischen Wert zu bestimmen, da diese Pflanzenteile ebenfalls für den Verzehr, beispielsweise in Form von Salaten oder Smoothies, immer häufiger verwendet werden (Gershenzon et al., 2012).

5.6.1 Gefriertrocknung, weiterführende Probenaufbereitung und Spektrophotometrische Bestimmung

Die Erhebung der Trockenmasse erfolgte im Rahmen einer Gefriertrocknung und wurde mit der Trocknungsanlage (Alpha 1-2LDplus, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, 37520 Osterode am Harz, Deutschland) durchgeführt. Der Prozess der Gefriertrocknung gewährleistet eine möglichst schonende Trocknung des Materials, da im Vergleich zu wärmebasierten Trocknungsmethoden weitaus weniger Stoffverbindungen und damit Metabolite zerstört werden.

Im nächsten Schritt wurden die getrockneten Proben per Mühle (IKA Analysenmühle ‚Tube Mill control‘, IKA[®]-Werke GmbH & Co. KG, 79219 Staufen, Deutschland) zerkleinert. Aus der vermahlenden Probenmasse wurde für die anschließende Herstellung der Messextrakte je Einzelprobe rund 1 g in ein Szintillationsgefäße eingewogen. Für die Bestimmung der Chlorophylle, Karotinoide, der antioxidativen Kapazität sowie des Gesamtphenolgehalt wurden jeweils 10 ml vergälltest Ethanol (96%) als Extraktionslösung zugefügt. Im Rahmen der Zucker- und der Nitratmessungen wurden den getrockneten Proben jeweils 10 ml Reinstwasser (Ultrapure Water System Type 1 Direct-Q 3 UV Kit GE, Merck Millipore, Darmstadt, Deutschland) zur Extraktion zugegeben. Aufgrund der erhöhten Volumina der Salatproben und der Laubproben von Karotten und Radieschen wurden diese mit 20 bis 40 ml vergälltem Ethanol (96%) beziehungsweise Reinstwasser weiter verdünnt. Die gewonnenen Extrakte wurden zentrifugiert um etwaige Trübstoffe zu entfernen.

Für die Durchführung der ausstehenden Messungen wurde das computerkontrollierte Spektrophotometer Metertech SP8001 mit Mehrzellenhalter (Firma Mettertech Inc., Nankang, Taipei, Taiwan, R.O.C.) herangezogen.

5.6.2 Messung der Chlorophylle und Karotinoide

Die Bestimmung der Chlorophyll- und Karotinoidgehalt nach Wellburn (1994) erfordert im Gegensatz zu den Analysen der weiteren Untersuchungsparameter nicht die Erstellung einer Verdünnungsreihe sowie einer Standardgeraden. Voraussetzung der Methode nach Wellburn (1994) ist die exakte Festlegung der Absorptionsspitzen der zu untersuchenden Stoffe Chlorophyll *a*, Chlorophyll *b* und der Karotinoide. Die entsprechenden Wellenlängen wurden

durch eine Spektralanalyse ermittelt. Die erhobenen Absorptionsspitzen unterscheiden sich je nach Versuchskultur geringfügig und rangieren in einem Wellenlängenbereich um 470 nm für Karotinoide, 653 nm für Chlorophyll *a* und 670 nm für Chlorophyll *b* (Yahia und Ornelas-Paz, 2010).

5.6.3 Messung der antioxidativen Kapazität per FRAP (Ferric Reducing / Antioxidant Power Assay)

Die für diese Methode vorausgesetzte Ermittlung des Extinktionskoeffizient E_{λ} erfordert die Erstellung einer Verdünnungsreihe und einer Standardgeraden, für die eine Eisensulfatstammlösung bestehend aus Eisen(II)sulfat Heptahydrat (> 99%) und deionisiertem Wasser verwendet wurde. Für die Bestimmung der antioxidativen Kapazität wurde ein FRAP-Reagenz bestehend aus einem Acetatpuffer aus wasserfreiem Natriumacetat (>99%), einhundertprozentiger Essigsäure und deionisiertem Wasser, einer Eisenchloridlösung aus Eisen(III)chlorid-Hexahydrat (>99%) und deionisiertem Wasser sowie einer TPTZ (Tripyridyl-Triazine)-Lösung aus 2,4,6-Tripyridyl-s-triazine (>98%) und einer Salzsäurelösung (40 mM) hergestellt (Keutgen und Pawelzik, 2007). Diese Methode basiert, im Gegensatz zu weiteren zur Messung der antioxidativen Kapazität verwendeten Tests wie TRAP (Tetrapropylammoniumperuthenat), ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) oder TEAC (Trolox Equivalent Antioxidative Capacity), auf den eisenreduzierenden Eigenschaften der antioxidativen Komponenten. Diese können bei niedrigem pH-Wert den Eisen(III)-Tripyridyl-Triazine-Komplex zur Eisen(II)-Form reduzieren. Die daraus resultierende Reduktion bedingt einen blauen Farbumschlag der Lösung. Die spektralphotometrische Messung erfolgt bei einer Wellenlänge von 593 nm (Paschke, 2012, Stracke et al., 2008; Keutgen und Pawelzik, 2007; Benzie und Strain, 1996).

5.6.4 Messung des Gesamtphenolgehaltes mittels Folin-Ciocalteu-Reagenz

Wie bei der Messung der antioxidativen Kapazität wurden für die Bestimmung des Gesamtphenolgehaltes mehrere Standards zur Kalibrierung festgelegt. Die Standardgerade wurde anhand einer Gallussäurelösung, bestehend aus Gallussäure-Monohydrat (>98%) und deionisiertem Wasser, einem Folin-Ciocalteu Phenolreagenz (>99%), einer Natronlauge (0,5 mol L⁻¹) sowie deionisiertem Wasser hergestellt. Durch die Zugabe der Reagenzlösung und einer fünfzehnminütigen Inkubation bei 37 °C wurden die in der ursprünglichen Probe

enthaltenen Phenole blau eingefärbt und konnten somit in einem Wellenlängenbereich von 735,8 nm nachgewiesen werden (Keutgen und Pawelzik, 2007; Singleton and Rossi, 1965).

5.6.5 Messung der reduzierenden Zucker und des Gesamtzuckergehalts

Im Vorfeld der Messungen wurden eine Glukosestammlösung und eine Dinitrophenol-Lösung (DNP), welche als Farbreagenz fungierte, zur Erstellung der notwendigen Standardgeraden aufbereitet. Die Glukosestammlösung wurde aus wasserfreier D-Glukose und deionisiertem Wasser hergestellt. Das DNP-Farbreagenz wurde aus 2,4 Dinitrophenol (>99%), einer 5%igen Natronlauge, Kaliumnatriumtartrat-Tetrahydrat (>99%) und kristallischem Phenol (>99,5) hergestellt. Für die Bestimmung der reduzierenden Zuckeranteile, die sich vorwiegend aus Glukose, Fruktose und Mannose zusammensetzten, wurden die Proben mit dem DNP – Farbreagenz vermischt und bei 81 °C für insgesamt 10 Minuten inkubiert. Die anschließende Messung erfolgte bei einer Wellenlänge von 600 nm. Für die Messung des Gesamtzuckergehalts wurden die Proben mit deionisiertem Wasser verdünnt, mit 1-2 Tropfen konzentrierter Salzsäure (37%) vermischt, bei 81 °C für 10 Minuten inkubiert und abschließend mit konzentrierter Natronlauge (40%) zurück in einen basischen Bereich überführt. Nach einer entsprechenden Abkühlungsphase wurden die Proben ebenfalls bei einer Wellenlänge von 600 nm gemessen. Die Differenz der beiden reduzierenden Zuckergehalte und der Gesamtzuckergehalte ergibt die jeweilige Saccharosemenge, korrigiert um die Umsetzungseffizienz der Hydrolyse von 95% (Talbert und Smith, 1987).

5.6.6 Messung des Nitratkonzentrationen

Wie bei den vorherigen Methoden war auch für die Nitratmessung die Erstellung einer Standardgeraden zur Berechnung der Konzentrationen der untersuchten Gemüseproben notwendig. Hierfür wurden eine Nitratstammlösung, bestehend aus Kaliumnitrat (>99%) und deionisiertem Wasser, eine Vanadium(III)chloridlösung aus Vanadium(III)chlorid (>99%) und konzentrierter Salzsäure (32%) sowie einem Mischreagenz, welche sich aus einer Sulfanilsäurelösung und einer N-(1-Naphthyl)etylendiamin-dihydrochlorid – kurz NNED Lösung – zusammensetzt, hergestellt. Zur Probenmessung wurden diese mit dem Mischreagenz versetzt, für 30 Minuten bei 37 °C inkubiert und anschließend bei einer Wellenlänge von 540 nm gemessen (Böhringer, 2020; Arneith und Herold, 1988).

5.7 Statistische Auswertung

Zur Analyse der Messwerte werden zunächst Methoden der deskriptiven Statistik und in der Folge Methoden der schließenden Statistik angewandt. Die deskriptiven Statistiken dienen der Veranschaulichung der Messreihen. Der Fokus liegt hier auf dem Vergleich zwischen Messwerten zu allen erhobenen Parametern zwischen Sommer- und Wintersaison. Die schließende Statistik wird eingesetzt um die Signifikanz der festgestellten Unterschiede zu überprüfen und um weitere statistische Zusammenhänge zu erkennen. Die deskriptive Statistik wurde in Microsoft Excel erstellt. Für die schließende Analyse wurden SPSS und R benutzt.

Im Zuge der deskriptiven Aufbereitung der Messwerte wurden zunächst Mittelwert und Median über alle Messungen für jeden Standort und jede Saison berechnet. Des Weiteren wurden die Standardabweichungen als Streuungsmaß berechnet. Mit Hilfe von Mittelwert und Standardabweichung konnten 95%-Konfidenzintervalle berechnet werden, welche den Bereich anzeigen, in welchem der gemessene Mittelwert bei wiederholter Messung mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit fallen würde. Die Ergebnisse werden in Boxplots veranschaulicht. In den Boxplots werden außerdem das 1. und 3. Quartil eingezeichnet um Ausreißer identifizieren zu können.

Um die statistische Signifikanz der deskriptiven Analysen zu untersuchen, wurden Verfahren der schließenden Statistik eingesetzt. Für jede gemessene Variable wurde eine ANOVA durchgeführt. Wie oben wurden Mittelwerte nach Standort und Saison gebildet. Die statistische Signifikanz der Differenz zweier Mittelwerte wurde mit Hilfe eines t-Tests festgestellt. Dabei ergibt sich ein p-Wert, welcher die Wahrscheinlichkeit angibt mit der eine gleich große oder größere Differenz zufällig gemessen würde. Liegt der p-Wert unterhalb des Signifikanzniveaus von $p \leq 0,05$, ist die Differenz statistisch signifikant. Zudem wird die statistische Signifikanz der Differenz zwischen den Mittelwerten einzelner Messungen untersucht. Da in diesem Fall mehrere Mittelwerte gleichzeitig auf paarweise signifikante Differenzen untersucht werden, wären die p-Werte der t-Tests auf Grund der multiplen Tests nach unten verzerrt. Daher wurden Tukey-HSD-Tests eingesetzt, welche es erlauben, mehrere Mittelwerte zu vergleichen. Der Test sortiert dabei die verschiedenen Mittelwerte in homogene Gruppen, welche sich signifikant unterscheiden. Alle Mittelwerte, die nicht der gleichen Gruppe zugeordnet werden, sind paarweise signifikant voneinander verschieden

Da homogene Varianz zwischen den einzelnen Gruppen eine Annahme für die Validität des Tukey-Tests ist, wurden außerdem ein Levene-Test durchgeführt. In diesem Fall zeigt ein p-Wert über dem gewählten Signifikanzniveau an, dass die Null-Hypothese der gleichen Varianzen nicht verworfen werden kann, die Annahme des Tukey-Tests also erfüllt ist.

6. Ergebnisse der Feldversuche der Versuchskulturen *Daucus carota* (Nominator F1), *Raphanus sativus* var. *sativus* (Stamm P) und *Lactuca sativa* var. *crispa* (Fortero)

Die folgenden Abschnitte bilden die Ergebnisse der praktischen Anbauversuche der drei Wintersaisonen 2016 bis 2018, sowie die der ergänzenden Sommersaisonen 2017 und 2018 ab. Hauptaugenmerk liegt auf den Versuchskulturen *Daucus carota*, *Raphanus sativus* var. *sativus*, *Lactuca sativa* var. *crispa* und deren Ertragsperformance unter realen Anbaubedingungen. Zusätzlich werden die Ergebnisse weiterer im Rahmen des übergeordneten Forschungsprojekts angebaute Sorten derselben Gemüsekulturen angeführt. Dies dient als Grundlage für die Diskussion der Tauglichkeit der untersuchten Sorten Nominator F1, Stamm P und Fortero für den Winteranbau und zeigt über verschiedene Standorte und Versuchsjahre ein breites Abbild dieser Wintergemüsekulturen.

6.1 Ergebnisse des Kernversuchs mit *Daucus carota* ('Nominator F1')

Die in den Tabellen 10-13 aufgelisteten Vergleiche zwischen den durchschnittlichen Erträgen aus Winter- und Sommeranbau zeigen, sofern alle Versuchssaisonen mit eingerechnet werden, nur geringe Ertragsunterschiede zwischen den Jahreszeiten. Klammert man die Winterversuche der Station Wies aus dem Jahr 2017 aus, die aufgrund einer schlechten Bestandsentwicklung als Totalausfall zu betrachten waren, ergibt sich ein wesentlich höherer Winterertrag für diese Versuchsstation, sowie ein allgemein höherer Ertrag aus dem Winteranbau. Die Ausfälle sind in den Wintersaisonen ebenfalls höher, was vor allem auf die erhöhte Stückzahl fehlerhafter, beschädigter oder zu kleingewachsener zurückzuführen ist.

Tabelle 10. Durchschnittlichen Erträge und Ausfälle des Kernversuchs, sowie die dazugehörigen Stückzahlen

Versuchssaison und Standort	Winter		Sommer	
	Zinsenhof	Wies	Zinsenhof	Wies
Ø Ertrag in kg m ⁻²	3,56	3,08 (4,62)	3,25	2,89
Ø Ausschuss in kg m ⁻²	1,19	1,399	0,98	0,93
Ø Stückzahl Ertrag	108	65 (71)	117	80
Ø Stückzahl Ausschuss	71	100	78	59
Ø Stückgewicht Ertrag in g	32,98	47,36 (65,05)	27,83	36,19
Ø Stückgewicht Ausschuss in g	16,8	13,99	12,68	15,79

Tabelle 11. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Nominator F1 in den Winterversuchen

Versuchsstandort & Versuchsjahr	Gesamtgewicht Ernte in kg m ⁻²	Stückzahl Ertrag	Gesamtgewicht Ausschuss in kg m ⁻²	Stückzahl Ausschuss
Zinsenhof 2016	3,04	75	0,65	40
Zinsenhof 2017	5,16	138	2,04	92
Zinsenhof 2018	2,52	112	0,87	80
Wies 2016	6,33	76	1,97	34
Wies 2017	0	0	1,64	232
Wies 2018	2,90	54	0,58	35

Tabelle 12. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Nominator F1 in den ergänzenden Sommerversuchen

Versuchsstandort & Versuchsjahr	Gesamtgewicht Ernte in kg m ⁻²	Stückzahl Ertrag	Gesamtgewicht Ausschuss in kg m ⁻²	Stückzahl Ausschuss
Zinsenhof 2017	3,07	91	0,51	28
Zinsenhof 2018	3,46	144	1,46	128
Wies 2017	3,35	94	0,92	44
Wies 2018	2,44	65	0,95	74

Tabelle 13. Prozentuale Auswertung der Sommer und Winterversuche von Nominator F1

Versuchsstandort & Versuchsjahr	Winter		Sommer	
	Ertrag in %	Ausfall in %	Ertrag in %	Ausfall in %
Zinsenhof 2016	82,31	17,69	-	-
Zinsenhof 2017	71,62	28,38	85,74	14,26
Zinsenhof 2018	74,23	25,77	70,25	29,75
Wies 2016	76,21	23,79	-	-
Wies 2017	0	100	78,42	21,58
Wies 2018	83,19	16,81	71,97	28,03

Daraus ergeben sich über alle Saisonen und Standorte gerechnet kaum Unterschiede bezüglich der Ausfallquoten der Sommersaison mit einem Durchschnittswert von 23,39 % und den Wintersaisonen mit einem Durchschnittswert von 22,48 % kaum. Der Komplettausfall aus der Wintersaison vom Standort Wies, wurde nicht miteingerechnet.

Tabelle 14. Vergleich der erhobenen Untersuchungsparameter der Karottensorte Nominator F1 (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Untersuchungsparameter	Φ Winterversuche (n=100)	Φ Sommerversuche (n=80)
Wurzelgewicht in g	40,07 \pm 18,1 a	28,56 \pm 10,88 b
Wurzellänge in cm	12,39 \pm 1,98 a	10,94 \pm 1,49 b
Wurzeldurchmesser in cm	2,13 \pm 0,36 a	1,05 \pm 0,27 b
Laubgewicht in g	5,44 \pm 3,31 a	6,99 \pm 2,83 a
Laublänge in cm	28,12 \pm 7,35 b	41,23 \pm 4,08 a

Die statistische Auswertung der Untersuchungsparameter, zeigt mit Ausnahme des Laubgewichts signifikante Unterschiede zwischen Sommer und Winteranbau. Während die Laublänge der untersuchten Karotten im Sommer signifikant höher war als im Winter, wiesen die Untersuchungsparameter „Wurzelgewicht“, „Wurzellänge“ und „Wurzeldurchmesser“ jeweils im Winter signifikant höhere Werte auf. Daraus resultieren signifikant schwerere Karotten, als Summe aus Wurzel- und Laubgewicht, aus dem Winteranbau. Diese Ergebnisse spiegeln sich auch in den etwas höheren Erträgen der Winterversuche, ersichtlich in Tabelle 10, wieder.

6.1.1 Ergebnisse der ergänzenden Anbauversuche und Sortensichtungen

An den Praxisbetrieben Achleitner, Adamah, Ambrosch und Feldinger wurden in den Wintersaisonen 2016-2018 zusätzliche Anbauversuche mit der Sorte Nominator F1 und mit weiteren Karottensorten durchgeführt. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die jeweiligen Versuchsergebnisse und dienen zur Einordnung der Ertragsleistung der Versuchssorte Nominator F1 und einem allgemeinen Überblick zur Ertragsleistung von im Winter angebauten Karottenkulturen.

Tabelle 15. Anbauergebnisse der Sorte Nominator F1 von weiteren Versuchsstandorten aus der Wintersaison 2016 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Betrieb	Achleitner (OÖ)	Adamah (NÖ)	Ambrosch (Stmk)	Feldinger (S)
Ertrag in kg m ⁻²	2,03	1,33	3,86	1,14
Stückzahl	52	49	56	21
Ausschuss in kg m ⁻²	0,96	0,39	0,78	0,21
Stückzahl	40	32	38	6

Tabelle 16. Anbauergebnisse der Sorte Nominator F1 von weiteren Versuchsstandorten aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Betrieb	Achleitner (OÖ)	Adamah (NÖ)	Ambrosch (Stmk)	Bubenicek (NÖ)	Langenlois (NÖ)
Ertrag in kg m ⁻²	0,18	1,81	0	1,56	0,58
Stückzahl	9	49	0	20	11
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	1,72	0,69	2,26	0,53	1,82
Stückzahl	61	35	141	10	41

Die in den Tabellen 15 und 16 angeführten Anbauversuche von unterschiedlichen Standorten unterlegen die hohe Schwankungsbreite der Sorte Nominator F1, sowohl über verschiedene Jahre und Regionen betrachtet als auch hinsichtlich des Einflusses bestimmter Kulturmaßnahmen. Über die beiden Saisonen gerechnet liegt der durchschnittliche Ertrag von 'Nominator F1' bei 1,95 kg m⁻². Die Ergebnisse aus der Versuchsstation Langenlois sowie die der Betriebe Ambrosch (Totalausfall) und Achleitner (Totalausfall) wurden nicht in diesen Durchschnittswert eingerechnet. Auffallend war das unterdurchschnittliche Abschneiden der Kernversuchssorte Nominator F1 am Standort Langenlois (NÖ). Während alle weiteren untersuchten Sorten hohe Erträge von durchschnittlich 2,92 kg m⁻² lieferten (Tabelle 19), kam es durch einen starken Möhrenfliegenbefall in Kombination mit einem geringen Feldaufgang zu keiner nennenswerten Ertragsbildung und hohen Ausfällen. Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen Zinsenhof (NÖ) und Wies (Stmk) wiesen mit Werten von 4,84 kg m⁻² im

Vergleichszeitraum 2016 und 2017 deutlich höhere Erträge als die beteiligten Praxis-Betriebe auf.

Neben dem Einfluss des Versuchsstandorts geht auch der des Anbauzeitpunkts aus den Ergebnissen deutlich hervor. Am Beispiel des Praxisbetriebs Ambrosch (Stmk) zeigt sich wie auch an der Versuchsstation Wies (Stmk) der elementare Einfluss des Saatzeitpunkt auf die Kulturentwicklung. Nach den mit $3,86 \text{ kg m}^{-2}$ überdurchschnittlich hohen Erträgen verglichen mit weiteren Betrieben aus der Wintersaison 2016, kam es aufgrund der um rund 4 Wochen späteren Anbauzeit aufgrund kaum entwickelter Karotten ebenfalls zu einem Totalausfall.

Auch bei der Sorte Nominator F1 blieben die Erträge in der gesamten Wintersaison hinter den Erwartungen zurück. Dies ist insbesondere auf die kürzere Kulturdauer zurückzuführen, da nach der raschen Bestandsentwicklung des Vorjahres 2016, welche auf einen frühen Aussattermin Anfang August und warme Herbstbedingungen zurückzuführen war, die Anbauermine über alle Versuchsstation für die Wintersaison 2017 um drei bis vier Wochen nach hinten korrigiert wurden. Die kürzere Kulturdauer, verbunden mit den insgesamt kühleren Temperaturen dieses Versuchsjahres verglichen mit 2016 resultierte über alle Sorten hinweg in niedrigeren Erträgen.

Tabelle 17. Weitere Sorten- und Standortvergleiche aus der Wintersaison 2016 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Betrieb	Achleitner (OÖ)		Ambrosch (Stmk)	
Sorte	Dordogna F1	Dolcevita	Milan	Napoli F1
Ertrag in kg m^{-2}	1,13	0,11	2,58	1,22
Stückzahl	28	3	36	16
Ausschussgewicht in kg m^{-2}	0,66	1,91	2,44	2,59
Stückzahl	38	122	84	40

Verglichen mit den in Tabelle 17 dargestellten Sortenergebnissen, wies die Versuchssorte Nominator F1, mit einem durchschnittlichen Ertrag von $3,32 \text{ kg m}^{-2}$ an den Standorte Wies (Stmk) und Zinsenhof (NÖ) deutlich höhere Werte auf, als an den Praxisbetrieben. Am Versuchsstandort Achleitner (OÖ) resultierten die teilweise massiven Ertragseinbußen aus dem Befall mit der Möhrenfliege. Ebenso wie am Betrieb Ambrosch (Stmk), wo alle angebauten Karottensorten durch die Möhrenfliege befallen wurden. Als

Konsequenz mussten bei der Sorte Milan rund 50%, bei der Sorte Napoli F1 sogar zwei Drittel der gesamten Ernte aufgrund mangelnder Qualität als Ausschuss gewertet werden.

Tabelle 18. Weitere Sorten- und Standortvergleiche aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Betrieb	Adamah (NÖ)	Ambrosch (Stmk)	Feldinger (S)
Sorte	Purple Haze	Saturno F1	Mercurio F1
Ertrag in kg m ⁻²	1,01	1,11	0,04
Stückzahl	30	32	7
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	0,6	0,49	0,53
Stückzahl	38	33	36

Die weiteren durchgeführten Anbauversuche konnten aus betrieblicher Sicht keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen (Tabelle 18).

Tabelle 19. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Langenlois (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Sorte	Mercurio F1	Napoli F1	Milan	Lince F1	Jerada F1	Saturno F1
Ertrag in kg m ⁻²	2,96	3,71	2,15	2,24	3,08	3,36
Stückzahl	35	54	28	38	40	47
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	2,69	1,58	1,63	2,32	0,89	2,04
Stückzahl	47	47	48	50	27	52

Tabelle 20. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Zinsenhof (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Sorte	Mercurio F1	Napoli F1	'CLX 31528 F1'	Lince F1	Jerada F1	Saturno F1
Ertrag in kg m ⁻²	5,16	3,84	4,24	5,35	6,87	4,60
Stückzahl	122,5	114	153	106	187	109
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	2,06	2,40	2,61	1,83	2,29	1,26
Stückzahl	76	121	159	84	115	70

Die landwirtschaftlichen Versuchsbetrieb Langenlois (NÖ) und Zinsenhof (NÖ) hatten in der Wintersaison 2017 einen Schwerpunktversuch zur Sichtung verschiedener Karottensorten. Auffallend über beide Standorte waren die hohen Erträge aller Sorten, insbesondere im Vergleich mit den eher niedrigen Erträgen der anderen Versuchsstandorte und Sorten der Wintersaison 2017 (Tabellen 19-20). Auf die reinen Ertragswerte bezogen, erzielte der Anbauversuch der Versuchsstation Zinsenhof (NÖ) die besten Werte aus dem gesamten Projekt und unterstrich das Potential der Winterkarotten. Die Sorte Jerada F1 stach aufgrund des höchsten erzielten Winterertrags über alle Sorten, Standorte und Saisonen aus dem gesamten Forschungsvorhaben besonders hervor, von 6,87 kg m⁻² und prozentual gerechnet geringen Ausfallquoten.

Tabelle 21. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Langenlois (NÖ) aus der Wintersaison 2018 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Sorte	Nantaise 2	Nantaise Fanal	RS-Mö-10.181	Purple Haze
Ertrag in kg m ⁻²	3,40	3,15	3,27	4,36
Stückzahl	70	70	28	77
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	2,10	3,45	3,07	1,21
Stückzahl	99	97	28	68

Tabelle 22. Versuchsreihe des landwirtschaftlichen Versuchsbetriebs Zinsenhof (NÖ) aus der Wintersaison 2018 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Sorte	Nantaise 2	Nantaise Fanal	RS-Mö-10.181
Ertrag in kg m ⁻²	2,11	2,87	5,38
Stückzahl	57	57	56
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	2,65	2,15	4,74
Stückzahl	173	140	125

In der Wintersaison 2018 wurden weitere, bis dato noch nicht oder nur vereinzelt angebaute Karottensorten auf ihre Eignung für den Wintergemüseanbau getestet (Tabelle 21-22). Mit 'Purple Haze', einer violetten und 'RS-Mö-10.181', einer gelben, starkwüchsigen Sorte, beide vom Nantaise Typ, wurden bunte Sorten in den Versuch integriert. Auffallend in diesen

Versuchsreihen waren die hohen Ausfallquoten, vorwiegend bedingt durch eine Vielzahl unterentwickelter Exemplare, die trotz der an sich zufriedenstellenden Erträge auf die Notwendigkeit einer Anpassung der Kulturmaßnahmen hindeuten.

Über alle beobachteten Standorte und Versuchsstationen zeigte sich ein eindeutiges Bild bezüglich der Unterschiede zwischen real wirtschaftenden Betrieben und den beteiligten gemüsebaulichen Versuchsstationen. Insbesondere die Versuchsstationen Zinsenhof (NÖ) und Wies (Stmk), ebenso wie Langenlois (NÖ) wiesen über alle Versuchssaisonen signifikant höhere Erträge und Einzelstückgewichte auf. Diese Erkenntnis spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Versuchskulturen Radieschen und Salate, welche in den nachfolgenden Kapiteln näher beleuchtet werden, wider.

6.2 Ergebnisse des Kernversuchs mit *Raphanus sativus* var. *sativus* Sorte Stamm P

Der durchschnittliche Ertrag pro m² war im Winter mit rund 1,87 kg deutlich niedriger als im Sommer mit 2,44 kg, wobei das schwache Abschneiden der Winterversuchssaison 2018 am Standort Zinsenhof den Durchschnittsertrag der Winterradieschen erheblich senkte (Tabelle 23 und 24). Ohne diese Saison ergab sich ein durchschnittlicher Winterertrag von knapp 2,20 kg m⁻², welcher den Sommererträgen näherkam. Die Stückzahlen fielen in den Winterversuchen mit 84 Stück pro m² (auf durchschnittlich 97 Stück pro m², wenn die Wintersaison 2018 am Zinsenhof nicht miteinberechnet wurde), höher aus als mit 73 Stück pro m² aus den Sommerversuchen. Der höhere Ertrag der Sommerradieschen wurde durch signifikant höhere Knollen- und Laubgewichte realisiert (Tabelle 27).

In Bezug auf die Ausfälle zeigte sich ein konträres Ergebnis. Diese waren mit 1,27 kg m⁻² aus den Sommerversuchen fast dreimal so hoch wie in den Wintersaisonen, die durchschnittlich nur 0,44 kg m⁻² Ausfälle aufwiesen. Die Gründe hierfür sind neben intensiven Hitzeperioden beider Sommersaisonen der Schädlingsbefall durch Erdflöhe (*Psylliodes*). Die Anzahl der Ausfälle pro m² betrug in den Winterversuchen 48 Stück mit einem Stückgewicht

von rund 9 g und in den Sommersversuchen 60 Stück, mit einem signifikant höheren Gewicht von 21 g.

Ein genauerer Blick auf die einzelnen Versuchsstationen unterstreicht die bevorzugte Lage der Versuchsstation Wies (STMK) für den Wintergemüseanbau, deren durchschnittlicher Winterertrag über die drei Versuchsjahre bei 2,65 kg m⁻² lag. Im Vergleich dazu wies die Versuchsstation Zinsenhof mit durchschnittlich 1,09 kg m⁻² deutlich geringere Erträge auf. Dieser Vorteil ergab sich im Wesentlichen durch die höheren Stückzahlen pro m². Bei den Ausfallquoten (Tabelle 26) schnitt die Versuchsstation Zinsenhof mit 0,24 kg / m² bzw. 29 Stück besser als Wies mit 0,63 kg/ m² und 64 Stück ab.

Die Sommersversuche (Tabelle 25) wiesen ein gegensätzliches Bild auf, wobei die Ergebnisse wie gespiegelt erscheinen. Mit 3,77 kg Ertrag pro m⁻² wies der Zinsenhof signifikant bessere Erträge als Wies mit 1,10 kg pro m⁻² auf, wobei sich der Vorteil ebenso wie im Winteranbau durch höhere Stückzahlen ergab – 101 am Zinsenhof vs. 46 in Wies. Die höheren Erträge und Stückzahlen gingen auch im Sommeranbau mit vermehrten Ausfällen einher. Am Zinsenhof fielen pro Saison durchschnittlich 1,50 kg pro m⁻² respektive 52 Stück Ausschuss an, in Wies 1,05 kg bzw. 68 Stück pro m².

Wie bei den Karotten wurden im Rahmen des Wintergemüseprojekts ebenfalls verschiedene Radieschensorten auf ihre Wintertauglichkeit und ihr Abschneiden untereinander getestet. Zu Versuchsbeginn wurde die Sorte Stamm P als Hauptsorte festgelegt. Deren Ertragslagen aus der Wintersaison 2016 sind in Tabelle 28 ersichtlich und zeigen mit Ausnahme von Wies Ergebnisse um die 1,00 kg m⁻². Die teilweise ungleichen Bestände mit sehr kleinen genauso wie mit zu groß gewordenen, geplatzten Exemplaren sorgten gemeinsam mit den aus praktischer Sicht mittelmäßigen Erträgen des ersten Versuchsjahres für einen Wechsel der Hauptsorte hin zu den Sorten Brava F1 und Rosetta F1.

Tabelle 23. Durchschnittlichen Erträge und Ausfälle des Kernversuchs der Sorte Stamm P, sowie die dazugehörigen Stückzahlen

Versuchssaison und Standort	Winter		Sommer	
	Zinsenhof	Wies	Zinsenhof	Wies
Ertrag in kg m ⁻²	1,09	2,65	3,77	1,10
Ausschuss in kg m ⁻²	0,45	0,63	1,49	1,04
Stückgewicht Ertrag in g	21,5	22,3	37,3	23,9
Stückgewicht Ausschuss in g	6,8	9,8	28,5	15,4
Stückzahl Ertrag	50	119	101	46
Stückzahl Ausschuss	29	65	53	68

Tabelle 24. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Stamm P in den Winterversuchen

Versuchsstandort & Versuchsjahr	Gesamtgewicht Ernte in kg m ⁻²	Stückzahl Ertrag	Gesamtgewicht Ausschuss in kg m ⁻²	Stückzahl Ausschuss
Zinsenhof 2016	1,12	46	0,11	11
Zinsenhof 2017	1,88	85	0,39	38
Zinsenhof 2018	0,26	21	0,84	38
Wies 2016	3,11	122	0,67	55
Wies 2017	3,01	128	0,38	29
Wies 2018	1,84	107	0,84	110

Tabelle 25. Ergebnisse des Kernversuchs der Sorte Stamm P in den ergänzenden Sommersversuchen

Versuchsstandort & Versuchsjahr	Gesamtgewicht Ernte in kg m ⁻²	Stückzahl Ertrag	Gesamtgewicht Ausschuss in kg m ⁻²	Stückzahl Ausschuss
Zinsenhof 2017	3,10	123	1,22	67
Zinsenhof 2018	4,44	79	1,77	38
Wies 2017	1,30	51	1,23	68
Wies 2018	0,91	41	0,86	68

Tabelle 26. Prozentuale Auswertung der Sommer und Winterversuche von 'Stamm P'

Versuchsstandort & Versuchsjahr	Winter		Sommer	
	Ertrag in %	Ausfall in %	Ertrag in %	Ausfall in %
Zinsenhof 2016	90,64	9,36	-	-
Zinsenhof 2017	82,59	17,41	71,75	28,25
Zinsenhof 2018	23,77	76,23	71,42	28,58
Wies 2016	82,16	17,84	-	-
Wies 2017	88,59	11,41	51,25	48,75
Wies 2018	68,65	31,35	51,41	48,59

Tabelle 27. Vergleich der erhobenen Untersuchungsparameter der Sorte Stamm P (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Untersuchungsparameter	Φ Winterversuche (n=100)	Φ Sommerversuche (n=80)
Knollengewicht in g	15,73 \pm 4,66 b	26,26 \pm 11,01 a
Knollendurchmesser in cm	2,72 \pm 0,41 a	2,82 \pm 0,51 a
Laubgewicht in g	7,12 \pm 2,31 b	14,39 \pm 5,83 a
Laublänge in cm	16,58 \pm 2,45 b	24,68 \pm 3,47 a

6.2.1 Ergebnisse der weiterführenden Anbauversuche und Sortensichtungen mit Radieschen

Auch auf den Betrieben Adamah (NÖ) und Haitzmann (S) wurde die Sorte 'Stamm P' angebaut, konnte aber keinen erntefähigen Bestand bis KW 50 entwickeln. Die Betriebe Feldinger (S) und Adamah (NÖ) bauten projektunabhängig die Radieschensorte 'Brava F1' an, welche wesentlich uniformere Bestände aufwies. Daher wurde auf den Praxisbetrieben in den Folgejahren 2017 und 2018 auf diese Sorte umgestellt. Für die vorliegende Arbeit wurde 'Stamm P' beibehalten und in den folgenden Abschnitten mit weiteren gesichteten Sorten verglichen.

Tabelle 28. Anbauergebnisse der Sorte 'Stamm P' von weiteren Versuchsstandorten außerhalb des Kernversuchs aus der Wintersaison 2016 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Betrieb	Achleitner (OÖ)	Ambrosch (Stmk)	Bubenicek (Nö)	Feldinger (S)
Ertrag in kg m ⁻²	1,17	0,68	1,01	1,22
Stückzahl	163	31	53	64
Ausschuss in kg m ⁻²	0,58	0,67	0,21	0,57
Stückzahl	96	51	29	56

Tabelle 29. Weitere Sorten- und Standortvergleiche aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Betrieb	Achleitner (OÖ)	Adamah (NÖ)	Ambrosch (Stmk)		Bubenicek (OÖ)
Sorte	Brava F1	Rosetta F1	Brava F1	Rosetta F1	Brava F1
Ertrag in kg m ⁻²	1,83	1,56	2,26	1,91	0,93
Stückzahl	87	47	110	89	28
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	1,55	1,39	0,37	0,38	0,91
Stückzahl	67	43	29	32	32

Die Tabellen 30 und 31 zeigen die Ergebnisse der Sortensichtungen an den Standorten Langenlois und Zinsenhof aus der Wintersaison 2017. Am Standort Langenlois kristallisierte sich die Sorte Rosetta F1 mit einem durchschnittlichen Ertrag von 2,88 kg m⁻² als klar überlegen heraus. Sorten wie Prelito F1, Escala F1, Marike oder Vienna wiesen zwar etwas höhere Erträge als die Kernversuchssorte Stamm P auf, lagen aber klar unter den Werten von Rosetta F1. Die Sorte Donar, die in Versuchen von Don et al. (2016) sehr gute Erträge lieferte, erwies sich hier als Totalausfall und konnte auch am Standort Zinsenhof mit einem Ertrag von 0,46 kg m⁻² nicht überzeugen. Die Sorte Rosetta F1 lieferte auch am Zinsenhof die höchsten Erträge aller gesichteten Sorten. Über beide Standorte fielen die hohen Ausfallgewichte der Winterradieschen negativ auf, insbesondere am Zinsenhof, wo mit Ausnahme der Sorten Rosetta F1 und Escala F1 die Ausfallgewichte die der Erträge deutlich überstiegen.

Tabelle 30. Sortensichtung der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Langenlois (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Sorte	Rosetta F1	Prelito F1	Escala F1	Marike	Vienna	Donar
Ertrag in kg m ⁻²	2,88	1,53	1,31	1,35	1,78	0
Stückzahl	92	111	40	80	77	0
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	2,06	1,68	2,41	1,12	1,44	2,12
Stückzahl	69	88	113	58	62	71

Tabelle 31. Sortensichtung der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Zinsenhof (NÖ) aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Sorte	Rosetta F1	Prelito F1	Escala F1	Brava F1	Autella F1	Marike	Vienna	Donar	Topsi
Ertrag in kg m ⁻²	2,21	0,17	1,42	1,41	0,57	0,43	0,99	0,46	0,25
Stückzahl	167	20	185	143	90	60	91	60	40
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	0,87	2,80	0,99	1,90	1,71	1,53	2,12	2,43	1,53
Stückzahl	125	380	160	198	300	168	252	258	257

Die Anbauversuche der beteiligte Praxisbetreiber mit Rosetta F1 aus der Wintersaison 2018 relativierten die guten Ertragslagen aus der Versuchssaison 2017 (Tabelle 32). Mit Ausnahme der Ergebnisse des Betriebs Achleitner, stechen die niedrigen Stückzahlen der Erträge und Ausfälle hervor.

Tabelle 32. Weitere Standortvergleiche aus der Wintersaison 2018 mit der Sorte Rosetta F1 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Betrieb	Achleitner (OÖ)	Feldinger (S)	Haitzmann (S)	Zinsenhof (NÖ)
Ertrag in kg m ⁻²	1,98	1,10	0,57	0,79
Stückzahl	71	63	54	59
Ausschussgewicht in kg m ⁻²	0,71	0,25	0,87	0,21
Stückzahl	73	20	54	35

6.3 Ergebnisse des Kernversuchs mit *Lactuca sativa* var. *crispa* ('Fortero')

Die Tabellen 33 und 34 fassen die gesammelten Ergebnisse aus dem Kernversuch mit der Sorte Fortero sowie deren statistische Auswertung zusammen. Der Vergleich Sommer- vs. Winteranbau zeigte signifikant höhere Stückgewichte aus den Sommersversuchen. Die erhobene Blattzahl der einzelnen Köpfe fiel ebenfalls im Sommer signifikant höher aus. Auch zwischen den Standorten konnten Unterschiede festgestellt werden. Während die Versuchsstation Zinsenhof im Sommer signifikant höhere Stückgewichte aufwies, waren im Winter die Stückgewichte in Wies signifikant höher.

Tabelle 33. Ergebnisse der Salatversuchsreihe der Standorte Zinsenhof und Wies

Versuchsstandort & Versuchsjahr	Winter		Sommer	
	Stückgewicht in g	Blattzahl	Stückgewicht in g	Blattzahl
Zinsenhof 2016	144,48	21	-	-
Zinsenhof 2017	104,25	26	183,29	22
Zinsenhof 2018	138,41	19	284,4	29
Wies 2016	179,67	22	-	-
Wies 2017	204,30	16	204,96	26
Wies 2018	111	16	102,73	20
Mittelwerte über alle Saisonen	147,51 ± 47,68 b	21,34 ± 4,04 b	193,84 ± 46,63 a	24,5 ± 4,66 a

Tabelle 34. Auswertung der Sommer- und Winterversuche der Sorte Fortero

Versuchsstandort / Versuchssaison	Zinsenhof		Wies	
	Stückgewicht in g	Blattzahl	Stückgewicht in g	Blattzahl
Winterversuche	129,04 ± 52,64 b	23,29 ± 3,23 a	164,72 ± 53,27 a	19,58 ± 3,97 b
Sommerversuche	233,84 ± 57,02 a	25,62 ± 4,61 a	153,85 ± 56,8 b	23,37 ± 4,58 b

Die Sorte Fortero wurde in der Wintersaison 2016 unter denselben Bedingungen von mehreren Betrieben angebaut. Das durchschnittliche Kopfgewicht über alle Standorte gerechnet lag in dieser Saison lediglich bei 105,45 g (Tabelle 34). Mit Ausnahme des Betriebs Ambrosch, der das höchste Kopfgewicht lieferte, waren alle beteiligten Betriebe mit dem Abschneiden dieser Sorte aus betrieblicher Sicht unzufrieden, da die geringen Stückgewichte, sowie die Krankheitsanfälligkeit und daraus resultierende schlechte Qualität dieser Sorte kaum eine Vermarktung zugelassen hätte.

Tabelle 35. Anbauversuche mit 'Fortero' der Praxisbetriebe aus der Wintersaison 2016

Betrieb	Achleitner (OÖ)	Adamah (NÖ)	Ambrosch (Stmk)	Bubenicek (NÖ)	Feldinger (S)	Haitzmann (S)
Stückgewicht in g	76,85	72,7	190,93	129,54	92,65	70,07

Im Folgejahr wurde mit Ausnahme des Betriebs Adamah an den beteiligten Betrieben die Sorte Fortero nicht wieder angebaut. Stattdessen wurden weitere Sorten gesichtet. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe unterstreichen das schlechte Abschneiden von 'Fortero' (Tabelle 35). Alle weiteren Sorten lieferte mindestens doppelt, bei den Sorten Solasie und Ostralie, sogar das dreifache an Stückgewichten und damit Ertrag. Diese Versuchsreihe konnte somit das Ertragspotential insbesondere dieser beiden Sorten unterlegen.

6.3.1 Ergebnisse der weiterführenden Anbauversuche und Sortensichtungen mit Wintersalaten

Die Versuchsstation Zinsenhof führte auch für die Wintersalatkultur vertiefende Sortensichtungen in der Wintersaison 2017 durch (Tabelle 37). Die Ergebnisse zeigten durchschnittlich niedrigere Stückgewichte für alle Sorten dieser Versuchsreihe, im Vergleich zu den Ergebnissen der Praxisbetriebe aus dieser Saison (Tabelle 36). Besonders hervorzuheben waren die niedrigen Stückgewichte der traditionellen, alten Sorten Winterkönig, Wunder Stuttgart und Neusiedler Gelber Winter.

Tabelle 36. Sortensichtungen der Praxisbetriebe aus der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Standort	Adamah (NÖ)	Bubenicek (NÖ)	Ambrosch (Stmk)		Feldinger (S)	
Sorte	Fortero	Solasie	Melina	Redial	Solasie	Ostralie
Stückgewicht in g	81,52	276,77	210,49	177,44	330,625	331,25

Tabelle 37. Sortenversuche der Versuchsstation Zinsenhof in der Wintersaison 2017 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Sorte	Solasie	Ostralie	Maravilla	Winterkönig	Wunder Stuttgart	Neusiedler Gelber Winter
Stückgewicht in g	141,53	113,94	98,34	41,06	57,98	73,3

Nach der erfolgreichen Sichtung weiterer Sorten in den vorangegangenen Jahren wurde in der Wintersaison 2018 vorwiegend die Sorte Ostralie an den beteiligten Praxisbetrieben angebaut. In Tabelle 38 finden sich die durchschnittlichen Stückgewichte aller Standorte. Das gemittelte Gewicht über alle Betriebe lag in dieser Versuchsreihe bei 213,22 g pro Kopf.

Tabelle 38. Ertragslagen der Sorte Ostralie aus der Wintersaison 2018 (Erhoben in Zusammenarbeit mit Depisch et al., 2019)

Standort	Achleitner	Ambrosch	Bubenicek	Feldinger	Haitzmann	Krautwerk	Langenlois
Stückgewicht in g	207,87	153,78	348,25	174,86	175,59	211,75	220,44

In der Versuchsreihe der Wintersaison 2018 kam es erneut zu massiven Ausfällen und geringen Stückgewichten/Erträgen mit der Sorte Fortero. Sie wurde an den Versuchsstationen Zinsenhof und Wies, sowie am Praxisbetrieb Feldinger in zwei Sätzen angebaut. Der erste Satz sollte in der KW 50 erntefähig sein, der zweite Satz, welcher um einige Wochen später Anfang Oktober angepflanzt wurde, sollte überwintern und im darauffolgenden Februar geerntet werden. Aufgrund der warmen Witterungsbedingungen dieser Herbst/Wintersaison entwickelten sich beide Bestände an allen Standorten ungewöhnlich rasch, allerdings nicht mit dem gewünschten Ergebnis. Durch das Auftreten diverser Blattkrankheiten, mehr als in allen anderen Versuchssaisonen, egal ob Sommer oder Winter, wurden die Bestände massiv dezimiert. Die geplante Auswertung in KW 50 ergab einen Totalausfall des ersten Satzes am Standort Zinsenhof sowie durchschnittliche Stückgewichte von 105 g in Wies und 45 g beim Betrieb Feldinger. Überraschend war, dass der zweite, spätere Satz ähnlich weit entwickelt war, allerdings ebenso massiven Krankheitsbefall und niedrige Stückgewichte auswies: 138 g

(Zinsenhof), 94 g (Wies) und 121 g (Feldinger). Aus betrieblicher Sicht waren alle Bestände aufgrund der schlechten Qualität, des damit verbundenen Putzaufwands und der niedrigen Stückgewichte als Totalausfall zu werten.

7. Laborergebnisse der Versuchskulturen *Daucus carota* (Nominator F1), *Raphanus sativus* var. *sativus* (Stamm P) und *Lactuca sativa* var. *crispa* (Fortero)

Über die folgenden Abschnitte werden die Ergebnisse der von 2016 bis Anfang 2019 durchgeführten Laboruntersuchungen dargestellt. Das Hautaugenmerk liegt auf den Untersuchungsparametern Trockenmasse, Gehalt an reduzierenden Zuckern und Gesamtzucker Gehalt, sowie den Konzentrationen von Nitrat, Chlorophyllen, Karotinoiden, Phenolen und der antioxidativen Kapazität. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in tabellarischer Form und dient der Beantwortung der Forschungshypothesen bezüglich der Unterschiede zwischen Sommer- und Winterversuchen und auch über eventuelle Standortunterschiede. Um bessere Rückschlüsse auf den gesamten pflanzlichen Stoffwechsel ziehen zu können, wurden weitere, ergänzende Analysen an der Laubmasse mit denselben Untersuchungsparametern durchgeführt.

Die Angaben in den Tabellen beziehen sich vorwiegend auf die Trockenmasse. Nur bei den untersuchten Gesamtzuckergehalten und Nitratkonzentrationen wurden zusätzlich Tabellen mit den Frischmassewerten erstellt, da diese Angaben für die Diskussion von Relevanz sind. Die statistische Auswertung innerhalb der jeweiligen Tabellen fokussiert ausschließlich auf etwaige Unterschiede zwischen den Sommer- und Wintersaisonen und den Standorten.

7.1 Laborergebnisse von *Daucus carota* ('Nominator F1')

Unterschiede in den Anteilen der Trockenmasse in der Karottenwurzel und Laubmasse zwischen den Standorten und den Anbausaisonen wurden ausgewertet. Die Trockenmassewerte aus den Sommerversuchen waren signifikant höher, als die aus den Wintermonaten. Gleiches gilt für die Unterschiede über die beiden Versuchsstandorte Zinsenhof (NÖ) und Wies (Stmk), wo am Standort Zinsenhof signifikant höhere Trockenmassen erzielt wurden (Tabellen 39-40). Bezüglich den Laubmassen konnten weder signifikant höhere Werte zwischen den Saisonen noch zwischen den Standorten nachgewiesen werden. Der Vergleich der Trockenmasseverteilung zwischen Karottenwurzel und Laubmasse zeigte deutlich höhere Anteile in der Laubmasse.

Tabelle 39. Trockenmasse der Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in %	Wies in %	Mittel über beide Standorte in %	Mittelwerte Winter vs. Sommer in %
Winter 2016 (n=12)	11,96 ± 1,53	10,94 ± 0,46	11,45 ± 0,99	11,62 ± 0,61 b
Winter 2017 (n=12)	12,10 ± 0,25	11,70 ± 0,36	11,90 ± 0,30	
Winter 2018 (n=12)	11,72 ± 0,15	11,32 ± 0,33	11,52 ± 0,24	
Sommer 2017 (n=12)	13,12 ± 0,73	11,96 ± 0,39	12,54 ± 0,56	12,86 ± 0,46 a
Sommer 2018 (n=12)	12,87 ± 0,36	13,50 ± 0,38	13,18 ± 0,37	
Mittelwert über alle Saisonen	12,35 ± 0,60 a	11,88 ± 0,38 b		

Tabelle 40. Trockenmasse der dazugehörigen Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in %	Wies in %	Mittel über beide Standorte in %	Mittelwerte Winter vs. Sommer in %
Winter 2016 (n=4)	20,81 ± 1,16	18,44 ± 1,14	19,63 ± 1,15	15,55 ± 0,68 a
Winter 2017 (n=4)	/	13,74 ± 0,23	/	
Winter 2018 (n=4)	11,66 ± 0,52	13,09 ± 0,35	12,38 ± 0,43	
Sommer 2017 (n=4)	16,89 ± 1,52	15,88 ± 1,76	16,39 ± 1,64	17,01 ± 0,91 a
Sommer 2018 (n=4)	18,83 ± 0,09	16,41 ± 0,27	17,62 ± 0,18	
Mittelwert über alle Saisonen	17,05 ± 0,82 a	15,51 ± 0,75 a		

Die Variationen im Zuckergehalt der Karotten lassen Rückschlüsse auf den pflanzlichen Stoffwechsel und dessen Anpassung an wechselnde Temperatur- und Lichtregime zu, was bei der Suche nach Unterschieden zwischen Sommer- und Winteranbau eine zentrale Rolle einnimmt. Andererseits sind die Zuckergehalte, gerade für die Karottenkultur, ein wesentliches Qualitätsmerkmal. Sie beeinflussen die geschmackliche Wahrnehmung bei Kunden maßgeblich, da beispielsweise für eine positive Akzeptanz bestimmte Zuckergehalte Voraussetzung sind (Baranski et al., 2011; Höhn et al., 2004).

Die Analysen der Karottenwurzeln bezogen auf die Trockenmasse zeigten signifikant höhere Gesamtzuckerhalte in den Winterkarotten und über alle Saisonen gerechnet und signifikant höhere Werte am Standort Zinsenhof.

Tabelle 41. Gesamtzuckerhalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} TM	Wies in g kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	664,14 \pm 108,76	328,38 \pm 61,78	496,26 \pm 85,27	493,22 \pm 90,28 a
Winter 2017 (n=12)	548,94 \pm 12,08	533,05 \pm 8,22	540,99 \pm 10,15	
Winter 2018 (n=12)	414,15 \pm 178,73	470,68 \pm 97,61	442,42 \pm 138,17	
Sommer 2017 (n=12)	361,81 \pm 81,65	435,27 \pm 79,75	398,54 \pm 80,7	432,72 \pm 91,2 b
Sommer 2018 (n=12)	501,44 \pm 104,49	432,36 \pm 98,92	466,90 \pm 101,7	
Mittelwert über alle Saisonen	498,10 \pm 97,14 a	439,95 \pm 69,25 b	469,02 \pm 83,2	

Bezogen auf die Frischmasse konnten nur die signifikant höheren Gesamtzuckerhalte am Standort Zinsenhof erneut nachgewiesen werden. Die Gesamtzuckerhalte waren im Winter ebenfalls höher, allerdings nicht signifikant wie in Tabelle 42 ersichtlich wird.

Tabelle 42. Gesamtzuckergerhalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} FM	Wies in g kg^{-1} FM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} FM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg^{-1} FM
Winter 2016 (n=12)	79,01 ± 14,16	35,95 ± 7,09	57,48 ± 10,63	57,57 ± 11,08 a
Winter 2017 (n=12)	66,44 ± 1,59	62,40 ± 2,49	64,42 ± 2,04	
Winter 2018 (n=12)	48,42 ± 20,35	53,20 ± 10,73	50,81 ± 15,54	
Sommer 2017 (n=12)	47,47 ± 10,55	52,07 ± 9,55	49,77 ± 10,05	55,65 ± 11,98 a
Sommer 2018 (n=12)	64,50 ± 13,35	58,55 ± 14,49	61,53 ± 13,92	
Mittelwert über alle Saisonen	61,17 ± 12,1 a	52,43 ± 8,87 b	56,80 ± 10,48	

Im Gegensatz dazu wiesen sowohl die Analysen der zugehörigen Laubmassen als auch die der reduzierenden Zucker signifikant höhere Werte im Winteranbau auf und bekräftigen somit die Ergebnisse der Untersuchungen an den Wurzelmassen (Tabellen 43-44). Das Verhältnis zwischen Gesamtzuckern in den Wurzelproben und denen der Laubproben betrug in den Winterversuchen 3,6 zu 1 und in den Sommerversuchen 4,9 zu 1.

Tabelle 43. Gesamtzuckergerhalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} TM	Wies in g kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=4)	/	193,50 ± 12,97	/	134,04 ± 10,91 a
Winter 2017 (n=4)	82,64 ± 6,14	144,10 ± 7,51	113,37 ± 6,82	
Winter 2018 (n=4)	175,04 ± 15,93	144,50 ± 12,02	159,77 ± 13,98	
Sommer 2017 (n=4)	64,48 ± 7,61	87,07 ± 13,82	75,77 ± 10,71	87,09 ± 11,79 b
Sommer 2018 (n=4)	77,5 ± 17,3	96,70 ± 8,43	87,10 ± 12,86	
Mittelwert über alle Saisonen	99,91 ± 11,75 b	133,17 ± 10,95 a		

Tabelle 44. Reduzierende Zucker in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} TM	Wies in g kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg
Winter 2016 (n=12)	222,13 ± 85,09	177,01 ± 53,93	199,57 ± 69,51	245,52 ± 66,79 a
Winter 2017 (n=12)	242,51 ± 76,84	282,59 ± 18,73	262,55 ± 47,78	
Winter 2018 (n=12)	280,68 ± 49,36	268,19 ± 65,88	274,43 ± 57,62	
Sommer 2017 (n=12)	193,60 ± 43,9	201,45 ± 43,75	197,52 ± 43,82	202,48 ± 39,50 b
Sommer 2018 (n=12)	217,59 ± 36,57	197,30 ± 33,8	207,44 ± 35,18	
Mittelwert über alle Saisonen	231,30 ± 58,35 a	225,31 ± 43,22 a	228,31 ± 50,79	

Neben den Zuckergehalten stellen die untersuchten Nitratwerte einen weiteren Kernfaktor für die qualitative Beurteilung aller untersuchten Kulturen dar. Die Karotten wiesen relativ niedrige Konzentrationen auf. Die Ergebnisse zeigten sowohl bezogen auf die Trockenmasse, als auch auf die Frischmasse signifikant höhere Wert in den Winterversuchen (Tabellen 45-46).

Bezogen auf die beiden Versuchsstandorte Zinsenhof und Wies konnten weder bei den Trockenmasse- noch bei den Frischmassewerten signifikante Unterschiede festgestellt werden, wobei am Standort Wies die höchsten Konzentrationen und auch insgesamt höhere Durchschnittswerte nachgewiesen wurden. Die Werte des Sommersversuchs 2018 müssen kritisch hinterfragt werden, da kein Nitrat nachgewiesen werden konnte.

Tabelle 45. Nitratgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg ⁻¹ TM	Wies in mg kg ⁻¹ TM	Mittel über beide Standorte in mg kg ⁻¹ TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg ⁻¹ TM
Winter 2016 (n=12)	481,73 ± 641,21	2815,02 ± 2134,51	1648,38 ± 1387,86	1806,85 ± 1131,90 a
Winter 2017 (n=12)	1387,25 ± 353,41	2985,68 ± 263,68	2186,47 ± 308,55	
Winter 2018 (n=12)	1984,25 ± 877,34	1187,17 ± 780,96	1585,71 ± 829,15	
Sommer 2017 (n=12)	1192,76 ± 590,16	110,58 ± 349,71	651,67 ± 295,08	651,67 ± 295,08 b
Sommer 2018 (n=12)	n.n	n.n	n.n	
Mittelwert über alle Saisonen	1261,50 ± 492,42 a	1774,62 ± 705,77 a	1517,26 ± 599,10	

Tabelle 46. Nitratgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg ⁻¹ FM	Wies in mg kg ⁻¹ FM	Mittel über beide Standorte in mg kg ⁻¹ FM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg ⁻¹ FM
Winter 2016 (n=12)	52,67 ± 70,25	417,71 ± 377,16	235,19 ± 223,7	226,02 ± 152,5 a
Winter 2017 (n=12)	167,36 ± 42,84	352,23 ± 28,37	259,79 ± 35,6	
Winter 2018 (n=12)	232,32 ± 101,68	133,84 ± 87,13	183,08 ± 94,41	
Sommer 2017 (n=12)	156,38 ± 74,92	13,25 ± 14,92	84,82 ± 58,42	84,82 ± 58,42 b
Sommer 2018 (n=12)	n.n	n.n	n.n	
Mittelwert über alle Saisonen	121,74 ± 57,93 a	183,40 ± 106,91 a	152,57 ± 82,42	

Für die Chlorophyll- und Karotinoidgehalte konnten ähnliche Tendenzen festgehalten werden. Für beide Untersuchungsparameter ergaben sich signifikant höhere Konzentrationen aus den Sommersversuchen (Tabellen 47-50). Bei den ergänzend durchgeführten Laubanalysen konnten diese signifikanten Unterschiede nicht nachgewiesen werden, obwohl auch dort die Messwerte aus den Sommersversuchen etwas höher lagen. Die Karotinoidgehalte in Wurzel- und Laubmasse aus der Versuchssaison 2016 schienen im Vergleich auffallend niedrig, was potentiell auf Probleme während der Lagerung zurückzuführen ist.

Sowohl die Chlorophyll- als auch die Karotinoidgehalte waren in den Proben der Laubmasse um ein Vielfaches höher als in den Wurzeln.

Tabelle 47. Gesamtchlorophyllgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	$26,74 \pm 1,49$	$25,33 \pm 0,62$	$26,04 \pm 1,06$	$226,02 \pm 152,5$ a
Winter 2017 (n=12)	$65,79 \pm 4,79$	$69,04 \pm 9,55$	$67,42 \pm 7,17$	
Winter 2018 (n=12)	$2,44 \pm 1,41$	$2,42 \pm 1,13$	$2,43 \pm 1,27$	
Sommer 2017 (n=12)	$292,11 \pm 19,69$	$279,51 \pm 16,51$	$285,81 \pm 18,1$	$295,40 \pm 20,69$ a
Sommer 2018 (n=12)	$309,06 \pm 26,57$	$300,91 \pm 19,98$	$304,98 \pm 23,27$	
Mittelwert über alle Saisonen	$139,23 \pm 10,79$ a	$135,44 \pm 9,56$ a	$137,33 \pm 10,17$	

Tabelle 48. Gesamtchlorophyllgehalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=4)	651,46 $\pm 13,79$	887,04 $\pm 58,22$	769,25 $\pm 36,11$	1252,62 \pm 68,64 a
Winter 2017 (n=4)	1769,91 $\pm 90,94$	1726,16 $\pm 174,1$	1748,03 $\pm 132,47$	
Winter 2018 (n=4)	1259,57 $\pm 37,13$	1221,57 $\pm 37,79$	1240,57 $\pm 37,46$	
Sommer 2017 (n=4)	1673,76 $\pm 91,33$	1057,51 $\pm 34,10$	1365,64 $\pm 62,67$	1350,82 \pm 146,80 a
Sommer 2018 (n=4)	1391,16 $\pm 116,91$	1280,83 $\pm 344,95$	1336,10 $\pm 230,93$	
Mittelwert über alle Saisonen	1349,17 $\pm 70,02$ a	1234,62 $\pm 129,79$ a		

Tabelle 49. Karotinoidgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof mg kg^{-1} TM	Wies mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	45,64 * $\pm 13,72$	49,01 * $\pm 17,57$	47,33 $\pm 15,65$	1252,62 \pm 68,64 a
Winter 2017 (n=12)	222,34 $\pm 35,4$	134,61 $\pm 9,31$	178,48 $\pm 22,36$	
Winter 2018 (n=12)	227,71 $\pm 24,19$	286,77 $\pm 14,42$	257,24 $\pm 19,3$	
Sommer 2017 (n=12)	493,62 $\pm 37,03$	561,19 $\pm 41,99$	527,41 $\pm 39,51$	450,32 $\pm 49,93$ a
Sommer 2018 (n=12)	392,11 $\pm 55,16$	354,37 $\pm 65,53$	373,24 $\pm 60,34$	
Mittelwert über alle Saisonen	276,29 $\pm 33,1$ a	277,19 $\pm 29,76$ a	276,74 $\pm 31,43$	

Tabelle 50. Karotinoidgehalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=4)	434,77 $\pm 3,61$	841,27 $\pm 50,55$	638,02 $\pm 27,08$	1278,94 $\pm 54,3$ a
Winter 2017 (n=4)	1524,04 $\pm 64,56$	1727,28 $\pm 106,74$	1625,66 $\pm 85,65$	
Winter 2018 (n=4)	1611,45 $\pm 58,76$	1534,83 $\pm 41,55$	1573,14 $\pm 50,15$	
Sommer 2017 (n=4)	1573,87 $\pm 83,58$	919,01 $\pm 46,50$	1246,44 $\pm 65,04$	1295,56 $\pm 159,62$ a
Sommer 2018 (n=4)	1384,86 $\pm 138,58$	1304,51 $\pm 369,83$	1344,68 $\pm 254,2$	
Mittelwert über alle Saisonen	1305,80 $\pm 69,82$ a	1265,38 $\pm 123,04$ a		

Die statistische Auswertung der Gesamtphenole konnte signifikante Unterschiede zwischen Sommer- und Winterversuchen feststellen. Sowohl die untersuchten Wurzel- als auch die Laubproben wiesen über die Wintersaisonen signifikant höhere Werte auf. Die Werte der beiden Versuchsstationen lagen über beide Untersuchungen sehr nahe zusammen und wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Die Konzentrationen aus der Wintersaison 2018 waren über beide Standorte in den Wurzel- und Laubproben vergleichsweise hoch.

Tabelle 51. Gesamtphenolgehalte in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg ⁻¹ TM	Wies in mg kg ⁻¹ TM	Mittel über beide Standorte in mg kg ⁻¹ TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg ⁻¹ TM
Winter 2016 (n=12)	2,24 ± 0,21	1,98 ± 0,12	2,11 ± 0,16	3,19 ± 0,22 a
Winter 2017 (n=12)	2,74 ± 0,12	2,69 ± 0,1	2,71 ± 0,11	
Winter 2018 (n=12)	4,99 ± 0,34	4,54 ± 0,3	4,76 ± 0,33	
Sommer 2017 (n=12)	2,90 ± 0,15	2,98 ± 0,1	2,94 ± 0,17	2,48 ± 0,17 b
Sommer 2018 (n=12)	2,09 ± 0,14	1,94 ± 0,2	2,02 ± 0,17	
Mittelwert über alle Saisonen	2,99 ± 0,19 a	2,82 ± 0,18 a	2,91 ± 0,19	

Tabelle 52. Gesamtphenolgehalte in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg ⁻¹ TM	Wies in mg kg ⁻¹ TM	Mittel über beide Standorte in mg kg ⁻¹ TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg ⁻¹ TM
Winter 2016 (n=4)	3,40 ± 0,21	3,91 ± 0,15	3,65 ± 0,18	7,33 ± 0,29 a
Winter 2017 (n=4)	4,99 ± 0,23	5,25 ± 0,24	5,12 ± 0,23	
Winter 2018 (n=4)	14,05 ± 0,47	12,36 ± 0,41	13,20 ± 0,44	
Sommer 2017 (n=4)	4,88 ± 0,41	3,88 ± 0,58	4,38 ± 0,49	4,66 ± 0,55 b
Sommer 2018 (n=4)	5,23 ± 0,51	4,67 ± 0,69	4,95 ± 0,6	
Mittelwert über alle Saisonen	6,51 ± 0,37 a	6,01 ± 0,41 a		

Ähnlich wie bei den untersuchten Gesamtphenolgehalten wiesen die Proben aus der Wintersaison 2018 die höchsten Werte bezüglich der antioxidativen Kapazität auf. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stationen oder Versuchssaisonen festgestellt werden (Tabellen 53-54). Die um mehr als zehnfach höhere antioxidative Kapazität in der Laubmasse verglichen mit den Werten aus der Wurzelmasse ist an dieser Stelle hervorzuheben.

Tabelle 53. Antioxidative Kapazität in den Karottenwurzeln von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Wies in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Mittel über beide Standorte in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹
Winter 2016 (n=12)	26,27 ± 3,25	20,11 ± 1,35	23,19 ± 2,30	24,76 ± 5,40 a
Winter 2017 (n=12)	11,28 ± 2,36	14,22 ± 9,26	12,75 ± 5,81	
Winter 2018 (n=12)	30,52 ± 2,45	46,19 ± 8,56	38,36 ± 5,51	
Sommer 2017 (n=12)	23,50 ± 3,48	22,82 ± 11,46	23,16 ± 7,47	23,41 ± 4,37 a
Sommer 2018 (n=12)	22,77 ± 1,33	24,53 ± 1,20	23,65 ± 1,27	
Mittelwert über alle Saisonen	22,87 ± 2,57 a	25,57 ± 6,37 a	24,22 ± 4,47	

Tabelle 54. Antioxidative Kapazität in der Laubmasse von 'Nominator F1' über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Wies in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Mittel über beide Standorte in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹
Winter 2016 (n=4)	126,84 ± 7,43	186,56 ± 4,63	156,70 ± 6,03	312,65 ± 14,58 a
Winter 2017 (n=4)	318,70 ± 35,78	356,03 ± 10,98	337,37 ± 23,38	
Winter 2018 (n=4)	469,90 ± 6,12	417,86 ± 22,56	443,88 ± 14,34	
Sommer 2017 (n=4)	332,61 ± 14,87	226,46 ± 38,5	279,53 ± 26,69	284,99 ± 33,29 a
Sommer 2018 (n=4)	317,82 ± 15,82	263,07 ± 63,97	290,44 ± 39,9	
Mittelwert über alle Saisonen	313,17 ± 16,10 a	290 ± 28,13 a		

7.2 Laborergebnisse von *Raphanus sativus* var. *sativus* ('Stamm P')

Der Stichprobenumfang der Radieschenversuche umfasst pro Saison und Standort jeweils zwölf Proben aus der Knollenmasse, der des ergänzenden Versuchs mit der Laubmasse umfasst jeweils vier Proben. Die Laubprobe aus der Wintersaison 2016 vom Standort Wies ging verloren und konnte somit für keine der durchgeführten Analysen herangezogen werden. Bei der Messung der Reduzierenden Zucker trat ebenfalls ein Problem auf, daher können diese Ergebnisse nicht angeführt werden.

Die Ergebnisse der Trockenmassen der Knollen- und Laubproben zeigten keine signifikanten Abweichungen zwischen Sommer- und Winterversuchen (Tabellen 55-56), obwohl in den Wintersaisonen höhere Durchschnittswerte erzielt wurden. Die Trockenmasseanteile im Radieschenlaub sind etwas höher als in den Knollen. Der einzig signifikante Unterschied konnte bei den Analysen der Knollen zwischen den Versuchsstandorten Zinsenhof und Wies festgestellt werden. Am Zinsenhof traten höhere Werte auf.

Tabelle 55. Knollentrockenmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in %	Wies in %	Mittel über beide Standorte in %	Mittelwerte Winter vs. Sommer in %
Winter 2016 (n=12)	7,64 ± 1,91	6,71 ± 1,54	7,17 ± 1,72	7,50 ± 0,92 a
Winter 2017 (n=12)	8,09 ± 0,60	8,63 ± 0,22	8,36 ± 0,41	
Winter 2018 (n=12)	6,64 ± 0,41	7,29 ± 0,32	6,97 ± 0,36	
Sommer 2017 (n=12)	6,50 ± 0,32	6,70 ± 0,20	6,63 ± 0,25	7,15 ± 0,23 a
Sommer 2018 (n=12)	9,05 ± 0,17	6,35 ± 0,26	7,70 ± 0,22	
Mittelwert über alle Saisonen	7,58 ± 0,68 a	7,14 ± 0,51 b	7,36 ± 0,59	

Tabelle 56. Laubtrockenmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in %	Wies in %	Mittel über beide Standorte in %	Mittelwerte Winter vs. Sommer in %
Winter 2016 (n=4)	10,30 ± 0,35	/	/	9,30 ± 0,36 a
Winter 2017 (n=4)	8,85 ± 0,28	7,91 ± 0,51	8,38 ± 0,4	
Winter 2018 (n=4)	10,19 ± 0,39	9,24 ± 0,24	9,71 ± 0,32	
Sommer 2017 (n=4)	9,73 ± 1,29	8,83 ± 0,38	9,28 ± 0,84	8,37 ± 0,67 a
Sommer 2018 (n=4)	5,81 ± 0,25	9,11 ± 0,76	7,46 ± 0,5	
Mittelwert über alle Saisonen	8,98 ± 0,51 a	8,77 ± 0,47 a		

Die Analysen der verschiedenen Zuckergehalte in den Knollen und den zugehörigen Laubproben ergaben über alle Versuche hinweg signifikant höhere Zuckergehalte in den Proben aus dem Winteranbau (Tabellen 57-60). Sowohl die Gesamtzuckergehalte bezogen auf die Trocken- und Frischmasse als auch die Gehalte an reduzierenden Zuckern und auch die Gesamtzuckergehalte der Laubmasse wiesen in den Wintersaisonen durchwegs höhere Werte, verglichen mit denen aus den Sommersversuchen, auf. Bezogen auf die Standortunterschiede konnte lediglich bei den Gesamtzuckern der Laubmasse ein signifikanter Unterschied zugunsten des Standorts Zinsenhof nachgewiesen werden. Bei den weiteren Untersuchungen schnitten die beiden Versuchsstationen sehr ähnlich ab. Das Verhältnis zwischen Gesamtzuckern in den Knollenproben und denen der Laubproben war sowohl in den Winter- als auch in den Sommersversuchen 2,2 zu 1.

Tabelle 57. Gesamtzuckergerhalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} TM	Wies in g kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	366,82 ± 23,49	304,24 ± 17,03	335,53 ± 20,26	382,61 ± 28,84 a
Winter 2017 (n=12)	466,20 ± 18,70	411,83 ± 11,12	439,02 ± 14,91	
Winter 2018 (n=12)	371,79 ± 31,65	374,78 ± 40,81	373,28 ± 36,23	
Sommer 2017 (n=12)	313,30 ± 60,12	316,25 ± 40,58	314,78 ± 50,35	289,33 ± 53,95 b
Sommer 2018 (n=12)	265,95 ± 64,10	261,73 ± 51,08	263,84 ± 57,54	
Mittelwert über alle Saisonen	356,81 ± 39,59 a	333,76 ± 32,13 a	345,29 ± 35,86	

Tabelle 58. Gesamtzuckergerhalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} FM	Wies in g kg^{-1} FM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} FM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg^{-1} FM
Winter 2016 (n=12)	27,95 ± 6,85	20,45 ± 5,04	24,20 ± 5,95	28,94 ± 3,93 a
Winter 2017 (n=12)	37,69 ± 2,46	35,56 ± 1,34	36,62 ± 1,9	
Winter 2018 (n=12)	24,69 ± 2,57	27,34 ± 3,04	26,01 ± 2,81	
Sommer 2017 (n=12)	20,32 ± 3,754	21,12 ± 2,24	20,72 ± 2,99	17,88 ± 3,22 b
Sommer 2018 (n=12)	13,40 ± 3,53	16,65 ± 3,37	15,02 ± 3,45	
Mittelwert über alle Saisonen	24,81 ± 3,83 a	24,22 ± 3,01 a	24,52 ± 3,42	

Tabelle 59. Gesamtzuckergehalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} TM	Wies in g kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=4)	228,40 ± 12,62	/	/	172,24 ± 8,32 a
Winter 2017 (n=4)	158,73 ± 6,80	144,65 ± 5,35	151,72 ± 6,08	
Winter 2018 (n=4)	175,85 ± 13,02	153,49 ± 3,79	164,67 ± 8,41	
Sommer 2017 (n=4)	172,43 ± 21,43	143,99 ± 20,53	158,21 ± 20,98	130,26 ± 17,92 b
Sommer 2018 (n=4)	100,41 ± 5,08	104,19 ± 24,61	102,30 ± 14,85	
Mittelwert über alle Saisonen	167,18 ± 11,79 a	136,58 ± 13,57 b		

Die erhobenen Nitratgehalte der Radieschenknollen mit einem Mittelwert von 26490,265 mg kg^{-1} TM deutlich über dem der Karotten mit 1517,266 mg kg^{-1} TM. Die statistische Auswertung aller Ergebnisse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen Winter- und Sommersversuchen, bezogen auf die Trockenmasse. Bei den Frischmassewerte gab es signifikant höhere Nitratkonzentrationen im Winteranbau. Allerdings müssen diese Berechnungen aufgrund des Messwerts vom Standort Wies aus der Sommersaison 2017, der um ein Vielfaches niedriger lag als alle anderen Werte, kritisch hinterfragt werden. Entfernt man ihn aus den durchgeführten Berechnungen ergäbe sich ein anderes Bild. Es gäbe signifikant höhere Nitratwerte aus den Sommersversuchen, zudem würden sich die Durchschnittswerte zwischen den Standorten weniger, aber weiterhin signifikant unterscheiden. Weiters gäbe es keine signifikanten Unterschiede zwischen Sommer- und Winterversuchen, bezogen auf die Ergebnisse umgerechnet auf die Frischmasse (Tabellen 60 & 61).

Tabelle 60. Nitratgehalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	29557,19 ± 4352,44	36274,97 ± 3346,91	32916,08 ± 3849,67	26757,28 ± 3994,32 a
Winter 2017 (n=12)	24108,43 ± 2668,75	21568,60 ± 2590,56	22838,52 ± 2629,65	
Winter 2018 (n=12)	24580,98 ± 3471,79	24453,54 ± 5629,89	24517,26 ± 4550,84	
Sommer 2017 (n=12)	33989,79 ± 3456,76	* 4104,27 ± 1855,76	19046,68 ± 3780,89	26089,72 ± 2279,49 a
Sommer 2018 (n=12)	39009,09 ± 4105,02	27255,76 ± 3157,17	33132,42 ± 2506,47	
Mittelwert über alle Saisonen	30249,09 ± 3610,95 a	22731,43 ± 3316,06 b	26490,26 ± 3463,51	

* Auffallend niedriger Wert

Tabelle 60. Nitratgehalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} FM	Wies in mg kg^{-1} FM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} FM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} FM
Winter 2016 (n=12)	2223,53 ± 777,05	2520,96 ± 479,53	2372,24 ± 628,29	1994,84 ± 459,63 a
Winter 2017 (n=12)	1935,61 ± 323,6	1860,32 ± 206,27	1897,97 ± 264,94	
Winter 2018 (n=12)	1634,32 ± 321,85	1794,30 ± 448,4	1714,31 ± 385,12	
Sommer 2017 (n=12)	2228,98 ± 251,69	* 276,58 ± 130,65	1252,78 ± 191,17	1454,70 ± 123,44 b
Sommer 2018 (n=12)	1950,45 ± 205,25	1362,78 ± 157,85	1656,61 ± 181,55	
Mittelwert über alle Saisonen	1994,58 ± 351,68 a	1562,99 ± 258,41 b		

* Auffallend niedriger Wert

Die Auswertung der Chlorophyllkonzentrationen zeigte sowohl in den Knollen- als auch in den Laubproben signifikant höhere Werte in den Sommersversuchen (Tabelle 63-64). Zwischen Zinsenhof und Wies gab es in beiden Versuchen keine signifikanten Abweichungen. Das Verhältnis zwischen Chlorophyllen in den Knollen und denen im Laub beträgt in den Winterversuchen 1 zu 152 beziehungsweise 1 zu 80 in den Sommersversuchen und verdeutlicht die unterschiedliche Verteilung in dieser Kultur.

Ein ähnliches Bild konnte in den Karotinoid-Analysen festgestellt werden (Tabellen 65-66). Die Konzentrationen waren noch niedriger als die der Chlorophylle. In der Wintersaison 2017 und der Sommersaison 2017 konnte an beiden Standorten keinerlei Karotinoide nachgewiesen werden. Das Verhältnis zwischen Karotinoidgehalten in den Knollen und denen im Laub beträgt in den Winterversuchen 1 zu 770 beziehungsweise 1 zu 4816 in den Sommersversuchen und fällt damit noch deutlicher als bei den Chlorophyllen aus. Die Konzentrationen in den Knollen, wenn auch kaum nachweisebar, sind signifikant höher in den Winterversuchen.

Tabelle 61. Gesamt-Chlorophyllgehalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg ⁻¹ TM	Wies in mg kg ⁻¹ TM	Mittel über beide Standorte in mg kg ⁻¹ TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg ⁻¹ TM
Winter 2016 (n=12)	2,43 ± 1,93	2,94 ± 2,61	2,69 ± 2,27	15,85 ± 4,44 b
Winter 2017 (n=12)	31,39 ± 3,12	42,76 ± 11,39	37,07 ± 7,26	
Winter 2018 (n=12)	4,72 ± 1,75	10,80 ± 3,73	7,76 ± 2,74	
Sommer 2017 (n=12)	32,94 ± 2,26	36,79 ± 2,92	34,86 ± 2,59	34,81 ± 2,95 a
Sommer 2018 (n=12)	34,12 ± 3,24	35,41 ± 3,37	34,76 ± 3,31	
Mittelwert über alle Saisonen	21,12 ± 2,46 a	26,46 ± 6,95 a	23,43 ± 3,63	

Tabelle 62. Gesamt-Chlorophyllgehalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=4)	2651,01 $\pm 210,39$	/	/	2291,58 $\pm 174,19$ b
Winter 2017 (n=4)	2288,82 $\pm 208,57$	2542,65 $\pm 69,67$	2415,73 $\pm 139,12$	
Winter 2018 (n=4)	2282,11 $\pm 301,40$	1693,31 $\pm 80,90$	1987,71 $\pm 191,15$	
Sommer 2017 (n=4)	2186,28 $\pm 158,85$	2965,69 $\pm 196,95$	2575,98 $\pm 177,9$	2733,31 $\pm 179,19$ a
Sommer 2018 (n=4)	3257,98 $\pm 267,98$	2523,28 $\pm 92,99$	2890,63 $\pm 180,49$	
Mittelwert über alle Saisonen	2533,24 $\pm 229,44$ a	2431,23 $\pm 110,13$ a		

Tabelle 63. Karotinoidgehalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	1,35 \pm 0,23	0,98 \pm 0,5	1,16 \pm 0,36	3,01 $\pm 0,65$ a
Winter 2017 (n=12)	n.n	n.n	n.n	
Winter 2018 (n=12)	6,36 \pm 0,84	9,30 \pm 1,61	7,83 \pm 1,22	
Sommer 2017 (n=12)	n.n	n.n	n.n	0,535 $\pm 0,4$ b
Sommer 2018 (n=12)	0,68 \pm 0,73	1,45 \pm 0,88	1,07 \pm 0,81	
Mittelwert über alle Saisonen	1,68 \pm 0,36 a	2,34 \pm 0,60 a	2,01 \pm 0,48	

Tabelle 64. Karotinoidgehalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=4)	2417,59 $\pm 97,88$	/	/	2311,29 $\pm 191,19$ a
Winter 2017 (n=4)	2176,88 $\pm 222,91$	2512,89 $\pm 201,75$	2344,88 $\pm 212,33$	
Winter 2018 (n=4)	2497,92 $\pm 347,74$	1951,16 $\pm 85,66$	2224,54 $\pm 216,7$	
Sommer 2017 (n=4)	1813,35 $\pm 268,6$	2548,23 $\pm 200,5$	2180,79 $\pm 234,55$	2408,17 $\pm 202,72$ a
Sommer 2018 (n=4)	2791,30 $\pm 228,15$	2479,78 $\pm 113,63$	2635,54 $\pm 170,89$	
Mittelwert über alle Saisonen	2339,41 $\pm 233,06$ a	2373,02 $\pm 150,38$ a		

Die Gesamtphenolgehalte der untersuchten Knollen- sowie die der Laubproben weisen in den Winterversuchen signifikant höhere Werte als im Sommer auf. Zwischen den Standorten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Über alle Messwerte gesehen fielen die Ergebnisse aus beiden Versuchen in der Wintersaison 2018, über beide Standorte hinweg, auffallend hoch aus (Tabelle 67-68).

Tabelle 65. Gesamtphenolgehalte der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	2,97 \pm 0,46	2,84 \pm 0,11	2,90 \pm 0,29	3,49 \pm 0,32 a
Winter 2017 (n=12)	2,90 \pm 0,15	2,87 \pm 0,14	2,88 \pm 0,15	
Winter 2018 (n=12)	4,96 \pm 0,36	4,41 \pm 0,39	4,68 \pm 0,38	
Sommer 2017 (n=12)	0,68 \pm 0,44	0,96 \pm 0,23	0,82 \pm 0,34	1,52 \pm 0,28 b
Sommer 2018 (n=12)	2,10 \pm 0,27	2,34 \pm 0,18	2,22 \pm 0,22	
Mittelwert über alle Saisonen	2,72 \pm 0,34 a	2,68 \pm 0,21 a	2,70 \pm 0,27	

Tabelle 66. Gesamtphenolgehalte der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=4)	$3,89 \pm 0,45$	/	/	$10,10 \pm 0,75$ a
Winter 2017 (n=4)	$6,08 \pm 0,46$	$6,46 \pm 0,59$	$6,27 \pm 0,52$	
Winter 2018 (n=4)	$15,84 \pm 1,39$	$18,24 \pm 0,91$	$17,04 \pm 1,14$	
Sommer 2017 (n=4)	$4,34 \pm 0,33$	$4,20 \pm 0,30$	$4,27 \pm 0,32$	$5,57 \pm 0,42$ b
Sommer 2018 (n=4)	$6,97 \pm 0,47$	$6,75 \pm 0,56$	$6,86 \pm 0,52$	
Mittelwert über alle Saisonen	$7,42 \pm 0,62$ a	$8,91 \pm 0,59$ a		

Die Auswertung der antioxidativen Kapazität ergab für Knollen- und Laubanalysen konträre Ergebnisse. Die Analysen der Knollenproben ergab signifikant höhere Konzentrationen im Sommersversuch, während die Analyse der Laubproben, welche allgemein wesentlich höhere antioxidative Kapazitäten aufwiesen, signifikant höhere Werte im Winterversuch hatten (Tabellen 69-70). Zwischen den Standorten konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 67. Antioxidative Kapazität der Knollen der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$	Wies in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$	Mittel über beide Standorte in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$	Mittelwerte Winter vs. Sommer in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$
Winter 2016 (n=12)	$32,17 \pm 21,48$	$38,80 \pm 3,3$	$35,49 \pm 12,39$	$27,72 \pm 10,78$ b
Winter 2017 (n=12)	$21,37 \pm 11,99$	$7,56 \pm 1,24$	$14,47 \pm 6,62$	
Winter 2018 (n=12)	$31,27 \pm 7,06$	$35,14 \pm 3,01$	$33,20 \pm 5,04$	
Sommer 2017 (n=12)	$56,24 \pm 6,84$	$26,79 \pm 4,84$	$41,52 \pm 5,84$	$40,17 \pm 6,4$ a
Sommer 2018 (n=12)	$33,12 \pm 5,92$	$44,53 \pm 8,01$	$38,83 \pm 6,96$	
Mittelwert über alle Saisonen	$34,83 \pm 10,66$ a	$30,57 \pm 4,08$ a	$32,70 \pm 7,37$	

Tabelle 68. Antioxidative Kapazität der Laubmasse der Sorte Stamm P über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$	Wies in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$	Mittel über beide Standorte in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$	Mittelwerte Winter vs. Sommer in $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ L}^{-1}$
Winter 2016 (n=4)	381,75 $\pm 51,14$	/	/	418,21 $\pm 28,76$ a
Winter 2017 (n=4)	349,67 $\pm 17,16$	377,88 \pm 22,88	363,77 $\pm 20,02$	
Winter 2018 (n=4)	490,33 $\pm 30,34$	491,44 \pm 22,27	490,89 $\pm 26,38$	
Sommer 2017 (n=4)	190,34 $\pm 16,57$	225,78 \pm 17,48	208,06 $\pm 17,03$	337,53 $\pm 25,02$ b
Sommer 2018 (n=4)	471,39 $\pm 47,96$	462,59 \pm 18,07	466,99 $\pm 33,02$	
Mittelwert über alle Saisonen	376,7 $\pm 32,64$ a	389,42 $\pm 20,17$ a		

7.3 Laborergebnisse von *Lactuca sativa* var. *crispa* ('Fortero')

Die statistische Auswertung der Trockenmasseanteile ergab signifikant höhere Werte über die Wintersaisonen und am Standort Wies über alle Saisonen gemittelt.

Tabelle 69. Auswertung der Trockenmasse der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in %	Wies in %	Mittelwert über beide Standorte in %	Mittelwerte Winter vs. Sommer in %
Winter 2016 (n=12)	5,19 ± 0,21	6,87 ± 0,22	6,03 ± 0,21	7,01 ± 0,34 a
Winter 2017 (n=12)	6,22 ± 0,64	10,94 ± 0,4	8,58 ± 0,52	
Winter 2018 (n=12)	6,16 ± 0,32	6,80 ± 0,27	6,48 ± 0,29	
Sommer 2017 (n=12)	4,38 ± 0,20	3,91 ± 0,14	4,14 ± 0,17	4,44 ± 0,16 b
Sommer 2018 (n=12)	4,51 ± 0,10	4,98 ± 0,21	4,75 ± 0,17	
Mittelwert über alle Saisonen	5,29 ± 0,29 b	6,70 ± 0,25 a	6,01 ± 0,27	

Die Zuckeranalysen der Salate zeigten signifikant höhere Werte in den Winterversuchen auf. Die Gesamtzuckeranteile bezogen auf die Frisch- und Trockenmasse fielen in den Wintersaisonen deutlich höher aus (Tabellen 72-73). Bei den reduzierenden Zuckern wurden in den Sommerversuchen höhere Werte gemessen, allerdings ergab die statistische Auswertung der Daten keine signifikanten Unterschiede zwischen Sommer- und Winteranbau (Tabelle 74). Wie schon bei der Trockenmasse, fielen die Werte über alle Zuckermessungen am Standort Wies signifikant höher als am Zinsenhof aus.

Tabelle 70. Gesamtzuckergerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg ⁻¹ TM	Wies in g kg ⁻¹ TM	Mittel über beide Standorte in g kg ⁻¹ TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg ⁻¹ TM
Winter 2016 (n=12)	216,64 ± 85,31	272,66 ± 41,69	244,65 ± 63,50	298,44 ± 62,46 a
Winter 2017 (n=12)	380,99 ± 57,05	354,21 ± 66,43	367,60 ± 61,74	
Winter 2018 (n=12)	211,86 ± 66,21	354,29 ± 58,07	283,07 ± 62,14	
Sommer 2017 (n=12)	159,85 ± 35,49	184,19 ± 42,20	172,02 ± 38,85	238,95
Sommer 2018 (n=12)	262,95 ± 60,11	296,43 ± 56,45	279,69 ± 38,85	± 48,56 b
Mittelwert über alle Saisonen	246,46 ± 60,83 b	292,35 ± 52,97 a	269,41 ± 53,01	

Tabelle 71. Gesamtzuckergerhalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg ⁻¹ FM	Wies in g kg ⁻¹ FM	Mittel über beide Standorte in g kg ⁻¹ FM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg ⁻¹ FM
Winter 2016 (n=12)	11,32 ± 4,7	18,78 ± 3,1	15,05 ± 3,9	21,59 ± 4,9 a
Winter 2017 (n=12)	23,87 ± 5,31	38,43 ± 7,78	31,15 ± 6,55	
Winter 2018 (n=12)	13,01 ± 4,14	24,15 ± 4,35	18,58 ± 4,24	
Sommer 2017 (n=12)	9,31 ± 1,78	7,23 ± 1,87	8,27 ± 1,83	10,78 ± 2,25 b
Sommer 2018 (n=12)	11,88 ± 2,75	14,72 ± 2,58	13,30 ± 2,67	
Mittelwert über alle Saisonen	13,88 ± 3,73 b	20,66 ± 3,94 a	17,27 ± 3,83	

Tabelle 72. Reduzierende Zucker der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in g kg^{-1} TM	Wies in g kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in g kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in g kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	132,30 ± 39,24	125,80 ± 14,23	129,05 ± 26,74	179,94 ± 44,55 a
Winter 2017 (n=12)	184,33 ± 23,54	170,67 ± 36,21	177,50 ± 29,87	
Winter 2018 (n=12)	187,98 ± 46,87	278,58 ± 107,23	233,28 ± 77,05	
Sommer 2017 (n=12)	159,85 ± 42,49	174,40 ± 31,27	167,12 ± 36,88	190,10 ± 42,09 a
Sommer 2018 (n=12)	198,60 ± 36,25	227,55 ± 58,34	213,08 ± 36,78	
Mittelwert über alle Saisonen	172,61 ± 37,68 b	195,40 ± 49,46 a	184,01 ± 41,48	

Verglichen mit den Nitratwerten der Kulturen Radieschen und Karotten mit durchschnittlichen Nitratwerten von 26490,2 mg kg^{-1} TM bzw. 1517,2 mg kg^{-1} TM, wiesen die Salate mit einer durchschnittlichen Nitratkonzentration von 35816,9 mg kg^{-1} TM die Höchstwerte aller Kulturen auf. Signifikante höhere Nitratwerte konnten in den Sommersaisonen sowie am Standort Zinsenhof nachgewiesen werden, allerdings nur in Bezug auf die Trockenmasse. Umgerechnet auf die Frischmasse waren durch die jeweils höheren Trockenmassegehalte in den Wintermonaten sowie am Standort Wies keine Signifikanzen feststellbar.

Tabelle 73. Nitratgehalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	40357,04 $\pm 9803,76$	28872,01 $\pm 9937,38$	34614,53 $\pm 9870,57$	32153,83 $\pm 8735,22$ b
Winter 2017 (n=12)	30808,38 $\pm 6769,08$	16642,92 $\pm 4073,31$	23725,65 $\pm 5421,19$	
Winter 2018 (n=12)	38668,49 $\pm 11884,81$	37574,13 $\pm 9942,96$	38121,31 $\pm 10913,89$	
Sommer 2017 (n=12)	43545,17 $\pm 11797,52$	45040,53 $\pm 4968,98$	44292,85 $\pm 8383,25$	41311,56 $\pm 8265,13$ a
Sommer 2018 (n=12)	59826,65 $\pm 11514,07$	16833,90 $\pm 4779,92$	38330,27 $\pm 8383,25$	
Mittelwert über alle Saisonen	42641,15 $\pm 10353,85$ a	28992,70 $\pm 6740,51$ b	35816,92 $\pm 8594,43$	

Tabelle 74. Nitratgehalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Frischmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} FM	Wies in mg kg^{-1} FM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} FM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} FM
Winter 2016 (n=12)	2094,42 $\pm 526,03$	1991,97 $\pm 677,12$	2043,19 $\pm 601,57$	2112,69 $\pm 562,51$ a
Winter 2017 (n=12)	1836,53 $\pm 358,67$	1813,72 $\pm 410,23$	1825,13 $\pm 384,45$	
Winter 2018 (n=12)	2384,56 $\pm 773,82$	2554,94 $\pm 629,16$	2469,75 $\pm 701,49$	
Sommer 2017 (n=12)	1890,30 $\pm 547,47$	1743,57 $\pm 193,65$	1816,93 $\pm 370,56$	1866,72 $\pm 388,95$ a
Sommer 2018 (n=12)	2991,33 $\pm 575,7$	841,69 $\pm 238,99$	1916,51 $\pm 407,35$	
Mittelwert über alle Saisonen	2239,43 $\pm 556,34$ a	1789,18 $\pm 429,83$ a	2014,30 $\pm 493,085$	

Die Chlorophyll- und Karotinoidgehalte wiesen jeweils in den Sommersversuchen signifikant höhere Konzentrationen auf. Eine Tendenz, die auch in den anderen Versuchskulturen nachweisbar war. Für beide Untersuchungsparameter waren die signifikant höheren Werte am Standort Zinsenhof auffällig (Tabellen 77-78).

Tabelle 75. Gesamtchlorophyllgehalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg^{-1} TM	Wies in mg kg^{-1} TM	Mittel über beide Standorte in mg kg^{-1} TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg^{-1} TM
Winter 2016 (n=12)	3143,33 \pm 552,98	2001,82 \pm 378,66	2572,57 \pm 465,82	1946,78 \pm 347,35 b
Winter 2017 (n=12)	1709,97 \pm 350,66	1302,43 \pm 288,47	1506,20 \pm 319,57	
Winter 2018 (n=12)	2316,63 \pm 283,97	1206,49 \pm 229,38	1761,56 \pm 256,67	
Sommer 2017 (n=12)	3156,68 \pm 481,95	2826,66 \pm 484,28	2991,67 \pm 483,16	2722,55 \pm 397,66 a
Sommer 2018 (n=12)	2443,48 \pm 331,9	2463,39 \pm 292,51	2453,44 \pm 483,11	
Mittelwert über alle Saisonen	2554,02 \pm 400,29 a	1960,16 \pm 334,65 b	2257,09 \pm 401,66	

Tabelle 76. Karotinoidgehalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg ⁻¹ TM	Wies in mg kg ⁻¹ TM	Mittel über beide Standorte in mg kg ⁻¹ TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg ⁻¹ TM
Winter 2016 (n=12)	2776,32 ± 408,80	1794,40 ± 394,05	2285,36 ± 401,43	1548,69 ± 309,58 b
Winter 2017 (n=12)	1169,38 ± 350,51	886,15 ± 331,33	1027,76 ± 340,92	
Winter 2018 (n=12)	1266,82 ± 135,94	1399,07 ± 236,82	1332,94 ± 186,38	
Sommer 2017 (n=12)	2871,76 ± 491,14	2587,42 ± 504,52	2729,59 ± 497,83	2379,95 ± 413,30 a
Sommer 2018 (n=12)	2029,68 ± 352,17	2030,94 ± 305,38	2030,31 ± 497,85	
Mittelwert über alle Saisonen	2022,79 ± 347,71 a	1739,60 ± 354,42 b	1881,19 ± 384,88	

Die Untersuchungen der Gesamtphenolgehalte ergaben signifikante Unterschiede zugunsten der Winterversuchsreihe (Tabelle 79). Zwischen den Standorten konnten keine Signifikanzen nachgewiesen werden, auch wenn die durchschnittlichen Konzentrationen über alle Saisonen am Standort Zinsenhof tendenziell höher waren.

Tabelle 77. Gesamtphenolgehalte der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mg kg ⁻¹ TM	Wies in mg kg ⁻¹ TM	Mittel über beide Standorte in mg kg ⁻¹ TM	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mg kg ⁻¹ TM
Winter 2016 (n=12)	19,23 ± 2,82	16,71 ± 2,13	17,97 ± 2,47	21,34 ± 2,08 a
Winter 2017 (n=12)	30,61 ± 2,72	29,57 ± 2,26	30,09 ± 2,49	
Winter 2018 (n=12)	20,68 ± 1,29	11,22 ± 1,28	15,95 ± 1,29	
Sommer 2017 (n=12)	27,46 ± 9,51	23,50 ± 1,33	25,48 ± 5,42	16,36 ± 2,96 b
Sommer 2018 (n=12)	7,28 ± 0,62	7,22 ± 0,38	7,25 ± 5,42	
Mittelwert über alle Saisonen	21,05 ± 3,39 a	17,64 ± 1,48 a	19,35 ± 3,42	

Die statistische Auswertung der antioxidativen Kapazität ergab signifikant höhere Konzentrationen im Winterversuch und am Standort Zinsenhof (Tabelle 80).

Tabelle 78. Antioxidative Kapazität der Sorte Fortero über alle Sommer- und Winterversuche bezogen auf die Trockenmasse (Signifikanz der t-Tests bei $p \leq 0,05$)

Saison & Stichprobenumfang	Zinsenhof in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Wies in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Mittel über beide Standorte in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹	Mittelwerte Winter vs. Sommer in mmol Fe ²⁺ L ⁻¹
Winter 2016 (n=12)	384,48 ± 81,04	255,92 ± 53,15	320,20 ± 67,09	338,08 ± 53,21 b
Winter 2017 (n=12)	214,03 ± 33,876	249,28 ± 42,64	231,65 ± 38,26	
Winter 2018 (n=12)	587,54 ± 56,91	337,26 ± 51,66	462,40 ± 54,28	
Sommer 2017 (n=12)	384,14 ± 84,36	316,90 ± 74,34	350,52 ± 79,35	394,56 ± 69,36 a
Sommer 2018 (n=12)	428,18 ± 64,71	448,97 ± 54,04	438,57 ± 79,34	
Mittelwert über alle Saisonen	399,67 ± 64,18 a	321,67 ± 55,17 b	360,67 ± 63,67	

8. Diskussion der Feldversuche

In den folgenden Abschnitten werden die in Kapitel 7 dargestellten Ergebnisse der drei Versuchskulturen in einen größeren Kontext gesetzt, um deren Eignung für den Winteranbau, sowie die wesentlichsten Einflussfaktoren auf den jeweiligen Kulturverlauf zu diskutieren.

8.1 Eignung der Winterperiode für den Gemüseanbau

Bevor in den folgenden Kapiteln die Ergebnisse der einzelnen Versuchskulturen näher diskutiert werden, folgt im nächsten Abschnitt die Diskussion der Eignung der Monate September bis Dezember, kalendarisch betrachtet von Herbst und Winteranfang, für den Gemüseanbau. Der Rückgang an Temperatur und verfügbaren Licht bewirkt eine allgemeine Verlangsamung des pflanzlichen Stoffwechsels, der mit einem Wachstumsrückgang über alle Winterkulturen hinweg einhergeht. Diese Erkenntnis spiegelt sich auch in den verlängerten Kulturdauern wider. Früh- und Bundkarotten benötigen beispielsweise in ihren herkömmlichen Anbauperioden (bei praxisüblichen Aussaaten zwischen März und Juni zwischen 60-90 Tagen bis zur Erntereife (Felber, 2016; Höhn et al., 2004, Lichtenhahn, 1998). Im Winteranbau verlängert sich dieser Zeitraum auf rund 120 bis 140 Tage. Bei den vergleichsweise schnell wachsenden Winterradieschen und Salaten sind die Unterschiede ebenfalls signifikant, da sich auch ihre Anbauphase deutlich verlängert. Im Sommer angebaute Radieschen entwickeln nach rund 4-5 Wochen fertige Bestände, Salate nach 5-7 Wochen (Palme, 2019). Im Winter benötigen Radieschen hingegen zwischen 8-12 Wochen. Gerade bei dieser Kultur wurden große Schwankungen zwischen Jahren und Standorten beobachtet. Bei Wintersalaten verlängert sich die Kulturdauer ebenfalls um rund das Doppelte, wobei in wärmeren Herbst- und Winterperioden durchaus eine schnellere Entwicklung festgestellt wurde (Depisch et al., 2019; Borrelli et al., 2013; Sirtautas et al., 2011; Oliari et al., 2010; Maboko und Du Plooy; 2008).

Eine der relevantesten Erkenntnisse dieses Forschungsprojekts ist, dass auch in den späten Monaten Oktober & November, die bisher gerade im extensiven Gemüsebau weitestgehend ungenutzt sind, ein ansprechendes Pflanzenwachstum, also eine Ertragsbildung stattfindet. Diese Erkenntnis deckt sich mit den vorangegangenen Studien von Hampl (2016) und Betz et al. (2015).

Folgendes Beispiel verdeutlicht das Potential von Gemüsekulturen auch in dieser Anbauphase: In der ersten Wintersaison dieser Forschungsarbeit 2016 wurden wie auf allen anderen Standorten Parzellen mit Radieschen der Sorte Stamm P angelegt. Aufgrund der vergleichsweise kühlen und vor allem lichtarmen Verhältnisse nach der Aussaat Mitte September entwickelten sich die Bestände nur sehr zögerlich (Abbildung 2) (ZAMG, 2019). Eine ansprechende Bestandsentwicklung bis Mitte Dezember erschien unrealistisch. Trotz der insgesamt widrigen Bedingungen entwickelten sich die Radieschen bis zum geplanten Erntetermin Mitte Dezember gut (Abbildung 3) und realisierten letztendlich einen Ertrag von $1,1 \text{ kg m}^{-2}$.



Abbildung 3. Radieschenbestand
(Zinsenhof, Eigenaufnahme) vom 19.10.2016



Abbildung 2. Radieschenbestand
(Zinsenhof, Eigenaufnahme) vom 16.12.2016

Nicht außer Acht zu lassende Faktoren für den Wintergemüseanbau und auch für die jeweilige Kulturentwicklung sind zunehmend warme Herbst- und Winterperioden mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen (Nagarajan und Nagarajan, 2010). Positiv ist festzuhalten, dass gerade in warmen Herbstperioden wie beispielsweise in der Wintersaison 2018 potentiell schnell wachsende Kulturen wie Salate und Radieschen ähnlich schnell Erträge ausbilden wie

in ihren herkömmlichen Anbauperioden. Allerdings ist dieser Punkt für eine praktische Umsetzung durchaus kritisch zu betrachten und erschwert eine genau Anbauplanung, da gerade in dieser Jahreszeit, in der Temperaturschwankungen besondere Auswirkungen haben, je nach Bedingungen mehrere Wochen Unterschiede zwischen den endgültigen Ernteterminen liegen können (Depisch et al., 2019). Ein weiterer kritischer Faktor in Bezug auf warme Winterperioden ist das damit einhergehende vermehrte Auftreten von Pflanzenkrankheiten, vorwiegend beobachtet in diversen *Lactuca*-Kulturen (Kupfer, 2019; Zoubek, 2019). Hier tritt noch ein weiterer Effekt einer späten Salatkultivierung hervor, der die erhöhte Krankheitsanfälligkeit von Wintersalaten erklärt. Pflanzen, die unter lichtarmen Bedingungen aufwachsen, entwickeln dünnere Blätter. Diese sind anfälliger für das Eindringen von diversen Pathogenen. Bei Radieschenkulturen, die sich in wärmeren Herbstperioden rasch entwickeln, ist auf eine rechtzeitige Ernte zu achten, da die gewünschte Qualität mit zunehmender Verweildauer auf dem Feld abnimmt (Humby und Durnford, 2006).

Auch aus pflanzenphysiologischer Sicht ist sowohl die Widerstandskraft gegen multiple Stressfaktoren als auch das Wachstum von Kulturpflanzen in den Winter hinein nachvollziehbar. Im Hinblick auf die Frosthärte muss festgehalten werden, dass diese unter Praxisbedingungen weitaus ausgeprägter ist als dies in herkömmlicher gartenbaulicher Literatur angesprochen wird. Im Vergleich zu herkömmlichen Angaben bezüglich der Frostfestigkeit, konnte über mehrere Winterversuche hinweg nachgewiesen werden, dass beispielsweise Kohl, Asiasalate, Karotten oder Radieschen Temperaturen bis unter minus 10°C und teilweise darunter ohne Qualitätsverluste überleben können (Kupfer und Palme, 2016; Palme, 2016; Hauser, 2002).

Das signifikant verlangsamte Pflanzenwachstum im Spätherbst bis Winter kann darauf zurückgeführt werden, dass frosttolerante Pflanzen über die Fähigkeit verfügen, unter meist nur kurzfristig guten Wachstumsbedingungen ihre Stoffwechselrate rasch hochzufahren, die eingelagerten Reserven zu re-lokalisieren und zu metabolisieren, um damit das Wachstum voranzutreiben (Evans und Poorter, 2001; Nilon und Orcutt, 1996). In strahlungsarmen Perioden wird die Stoffwechselleistung bis zu einem gewissen Grad aufrechterhalten, indem eine Umschichtung in der Anzahl der Reaktionen in den Photosystemen I und II stattfindet zugunsten eines erhöhten Elektronenflusses durch PS I. Damit wird die ATP/NADPH Ratio erhöht. Zudem findet unter lichtarmen Verhältnissen eine verstärkte Synthese von LHC-

Proteinkomplexen statt, die eine duale Rolle für die Energiegewinnung und die Photoprotektion einnehmen, um die Licht- und damit Energieausbeute zu erhöhen (Humby and Durnford, 2006).

Die beobachtete Resilienz der Wintergemüsekulturen ist zudem mit deren ausreichender Akklimationsdauer zu erklären. Da die Aussaat bzw. das Auspflanzen von Jungpflanzen üblicherweise zwischen Ende Juli bei Kohlarten und Karotten, bzw. Mitte September bis Mitte Oktober, bei Radieschen, Salaten und Winterkräutern erfolgt, haben die Kulturen ausreichend Zeit, sich an die veränderten Lichtverhältnisse und die langsam fallenden Temperaturen anzupassen (Kawahara et al., 2009). Eine Ausnahme bildet hier die Gruppe der Asia-Salate, die in unseren Breiten als komplett frosthart gelten und Temperaturen unter minus 20°C problemlos überstehen können (Kupfer und Palme, 2016). Sie können ohne Bedenken über die ganze Winterperiode angebaut werden. Die Bedeutung einer vollständigen, mehrwöchigen Akklimations-Phase für die Frosthärte konnte auch in diversen Versuchsreihen mit *Arabidopsis* nachgewiesen werden (Xin, 2002). Beispielsweise zeigten Blätter, die aus warmen Temperaturen in kühlere Bedingungen überführt wurden, eine starke Reduktion der Photosyntheserate und eine verstärkte Photoinhibition. Dagegen konnten Blätter, die sich unter Temperaturen von unter 5°C entwickelten, den photosynthetischen Elektronentransport sowie die CO₂-Assimilationsrate besser regenerieren und somit die Photosynthesekapazität wiederaufbauen. Zudem zeigten die unter kühlen Bedingungen entwickelten Blätter bzw. Gewebestrukturen eine verbesserte Frosttoleranz (Hurry et al., 2002).

8.2 Feldversuche mit *Daucus carota* L.

Über die nächsten Abschnitte folgt die Diskussion des Winterkarottenanbaus. Die Schwerpunkte der Diskussion liegen auf einem Vergleich der unterschiedlichen Anbausaisonen, der Beurteilung der Eignung der Sorte Nominator F1 für den Winteranbau und der Diskussion des Kulturmanagements.

8.2.1 Sortensichtungen von Karotten für den Winteranbau

Aufgrund der nationalen und internationalen Neuheit des Wintergemüseanbaus und dem damit einhergehenden Fehlen von kulturspezifischem Grundlagenwissen über Sorteneignung, Anbauplanung oder Kulturführung, kristallisierte sich die Frage nach der richtigen Sortenwahl über alle Versuchskulturen hinweg als eine der grundlegendsten aus.

Über alle Jahre, Sorten und Standorte gelegt, zeigten sich große Schwankungen im Ertragspotential der Winterkarotten. Insbesondere die landwirtschaftlichen Versuchsstationen Langenlois (NÖ) und Zinsenhof (NÖ) konnten in den Sortensichtungsversuchen in der Wintersaison 2017 beachtliche Erträge erzielen und aufzeigen, welche Erträge mit entsprechendem Kulturmanagement im Winter-Karottenanbau realisierbar sind. Mit einem durchschnittlichen Ertrag von rund 5,01 kg m⁻² über die Hybridsorten-Sorten (Mercurio F1, Napoli F1, 'CLX 31528 F1, Lince F1, Jerada F1, Saturno F1) gerechnet, heben sie sich deutlich von den vergleichbaren Ergebnissen insbesondere aus der Versuchssaison 2017, aber auch über alle Versuchsjahre und Standorte gerechnet, ab (Depisch et al., 2019). Die erzielten Erträge der aufgelisteten Sorten ergeben hochgerechnet einen Ertrag von rund 500 dt ha⁻¹ und unterlegen damit das hohe Ertragspotential von Winterkarotten, das sich in diesen Versuchen mit durchschnittlichen Ertragslagen für Bundkarotten aus dem Sommer- und Herbstanbau von rund 350-450 dt ha⁻¹ vergleichen lässt und diese sogar übertrifft. Mehrere Sorten und Versuche lagen allerdings mit Erträgen zwischen 100 und 200 dt ha⁻¹ deutlich niedriger. Die Erträge für Bundkarotten sind grundsätzlich niedriger anzusetzen als beispielsweise für Waschkarotten mit Erträgen von 600 - 700 dt ha⁻¹ oder Industriekarotten mit Erträgen bis zu 800 dt ha⁻¹ (Enza Zaden, 2016; Scheidinger, 2014; Landwirtschaftskammer Wien, 2013).

Die Ergebnisse aus dem Kernversuch dieser Arbeit mit der Sorte Nominator F1 unterlegen auch deren Eignung für den Winteranbau. Mit hochgerechneten Erträgen zwischen 300 bis 460 dt ha⁻¹ aus dem Winteranbau übertreffen sie sogar die Ergebnisse der Sommerversuche, die Erträge zwischen 280 und 320 dt ha⁻¹ lieferten. Mit einem hochgerechneten Ertrag von 630 dt ha⁻¹ erzielte die Sorte Nominator F1, nach der Sorte 'Jerada F1' mit 680 dt ha⁻¹ den zweitbesten Wert aus der gesamten Versuchsreihe (Tabellen 10-22). Im Vergleich zu vorangegangenen Winterversuchen, schnitt 'Nominator F1' ebenfalls positiv ab (Depisch et al., 2019; Hampl, 2016; Betz et al., 2015).

Auf der anderen Seite muss an dieser Stelle die mitunter hohe Diskrepanz zwischen den Erträgen der landwirtschaftlichen Versuchsbetriebe (Zinsenhof und Wies) und den am Kooperationsprojekt beteiligten Praxisbetriebe festgehalten werden. Am Beispiel von 'Nominator F1' lässt sich diese für eine flächendeckende Umsetzung des Winterkarottenanbaus kritisch zu betrachtende Erkenntnis verdeutlichen. Über die drei Winterversuchsjahre lag der durchschnittliche Ertrag über beide Versuchsstationen bei rund $3,3 \text{ kg m}^{-2}$ (bzw. bei $4,1 \text{ kg m}^{-2}$ wenn der Ausfall des Versuchs 2017 nicht miteingerechnet wird). Bei den Praxisbetrieben lag der durchschnittliche Ertrag lediglich bei $1,7 \text{ kg m}^{-2}$. Die Totalausfälle der Betriebe Ambrosch und Adamah aus der Wintersaison 2017 miteingerechnet, sogar nur bei rund $1,2 \text{ kg m}^{-2}$ (Depisch et al., 2019).

8.2.2 Kulturmanagement für Winterkarotten

Über die drei Versuchsjahre gab es für die teilweise massiven Ertragsausfälle einzelner Versuche, bis hin zu Totalausfällen einzelner Bestände, sehr unterschiedliche Ursachen. Das wesentliche Hindernis zur vollen Ertrags-/Bestandsentwicklung war ein zu später Aussaattermin, was am Beispiel eines Vergleichs der Versuchsstation Wies (Stmk) in den Wintersaisons 2016 und 2017 deutlich wurde. Während in der Wintersaison 2016 und einem Saattermin Anfang August (3.8.2016) der höchste Wert mit einem Ertrag von $6,33 \text{ kg m}^{-2}$ über alle Sorten, Versuchsstationen- und Jahre erzielt wurde, kam es aufgrund des im Folgejahr späteren Aussaattermins (5.9.2017) zu keiner entsprechenden Bestandsentwicklung, was aus betrieblicher Sicht ein Totalausfall war. Die Versuche auch an andern Versuchsstandorten, insbesondere am ebenfalls in der Steiermark gelegenen Betrieb Ambrosch zeigten, dass eine Juli-Aussaat elementar für eine positive Ertragsausbildung bei Winter-Karotten war. Mit einem durchschnittlichen Ertrag von $2,91 \text{ kg m}^{-2}$ wurde durch diese Maßnahme ein aus betrieblicher Sicht positiver Ertrag erzielt. Dieses Beispiel verdeutlicht zudem die jährlichen, witterungsbedingten Schwankungen bei den Bestandsentwicklungen im Wintergemüseanbau und den wesentlichen Einfluss der Anbauregion, die auch schon in weiteren Forschungsvorhaben nachgewiesen werden konnten (Depisch et al., 2019; Hampl, 2016; Betz et al., 2015, Wellinger et al., 2006).

Unter den biotischen Stressfaktoren erwies sich das Vorkommen der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*) als problematisch. Über mehrere Versuchsstandorte und Saisonen kam es durch erhebliche Fraßschäden im Wurzelbereich der Karotten zu Qualitätseinbußen und damit einhergehenden Ertragsausfällen. Dieser karottenspezifische Schädling wurde bereits in den Vorversuchen als potentieller Schadfaktor identifiziert (Hampl, 2016). Die Möhrenfliege konnte in allen beteiligten Bundesländern an verschiedenen real wirtschaftenden Betrieben ebenso wie an den landwirtschaftlichen Versuchsstationen nachgewiesen werden (Depisch et al., 2019). Die Verluste durch die Möhrenfliege sind mit prozentualen Ertragsausfälle von bis zu 50-70% massiv und stellen an einzelnen Standorten und Saisonen den wesentlichen qualitätsmindernden Faktor dar. Ein angepasstes Kulturmanagement ist somit für den Winterkarottenanbau essentiell. Die Abdeckung der jungen Karottenkulturen durch ein Flies, welches das Eindringen der Möhrenfliege sowie deren darauffolgende Eiablage verhindert, ist als Kulturmaßnahmen zur Ertrags- und Qualitätssicherung im Winterkarottenanbau empfehlenswert (Palme, 2019; Vietmeier, 2019; Scheidinger, 2014).

8.3 Feldversuche mit *Raphanus sativus* var. *sativus*

Die Schwerpunkte liegen auf dem Vergleich der unterschiedlichen Anbausaisonen, der Beurteilung der Eignung der Sorte Stamm P für den Winteranbau und der Diskussion des Kulturmanagement.

8.3.1 Anbauversuche mit Winterradieschen

Die Auswertung der Versuchsreihe zeigte sowohl in der Sommer- als auch in den Wintersaisonen gute Ergebnisse, aber auch teilweise kritische Punkte. Der Kernversuch mit der Sorte Stamm P lieferte Wintererträge von hochgerechneten 180 dt ha⁻¹ über die Standorte Zinsenhof und Wies und Sommererträge von rund 240 dt ha⁻¹. Die Erträge aus den Sommersversuchen liegen im Bereich der herkömmlichen Angaben von 250 dt ha⁻¹, die der Wintererträge im Mittel darunter (Destatis, 2022).

Besonders fielen die Standortunterschiede zwischen den beiden Versuchsstationen auf. Am Standort Wies konnten im Winter signifikant höhere Erträge (2,6 kg m⁻²) als am Zinsenhof (1,1 kg m⁻²) erzielt werden. Über die Sommersaisonen lieferten die Versuchsreihen dagegen am Zinsenhof signifikant höhere Erträge. Aufgrund des Auftretens von Erdflöhen und den Hitzebedingungen während der sommerlichen Anbauphase am Standort Wies und damit einhergehenden Ausfallquoten von annähernd 50%, konnten dort nur geringere Erträge realisiert werden (ZAMG, 2019).

Die statistische Auswertung der physiologischen Parameter Knollengewicht- und Durchmesser, sowie Laubgewicht und Laublänge ergab klare Vorteile für Sommerradieschen und resultierte schlussendlich in höheren, durchschnittlichen Erträgen. Kritisch muss in diesem Zusammenhang aber die damit einhergehende Zunahme der Ausfallquoten angemerkt werden. Beträgt die Ausfallquote der Winterversuche im Schnitt rund 26%, mit Ausnahme des de facto Totalausfalls bei der Versuchsstation Zinsenhof, sogar nur 17%, liegt die durchschnittliche Ausfallquote beim Sommeranbau bei rund 38%. In Bezug auf die Sortensichtungen, schneidet Stamm P im Hinblick auf die Ausfallquoten allerdings mit beiden Werten besser ab als die meisten getesteten Sorten (Depisch et al., 2019).

Wie schon bei den Versuchen mit den Karottenkulturen, ist klar ersichtlich, dass die landwirtschaftlichen Versuchsbetriebe höhere Ertragslagen produzieren, als die beteiligten Praxisbetriebe. Auch im Radieschenversuch wurden die Höchstwerte, gerade in Hinsicht auf die Sorte Stamm P, an den Versuchsstationen Zinsenhof und Wies erzielt. Diese Ergebnisse zeigen einerseits, welche Erträge unter optimalen Bedingungen und Kulturmanagement erreicht werden können, andererseits weisen sie darauf hin, dass real wirtschaftende Betriebe dies lediglich als maximalen Richtwert in ihre Kalkulation miteinbeziehen sollten (Depisch et al., 2019).

8.3.2 Sortensichtungen von Radieschen für den Winteranbau

Die Beurteilung der Versuchssorte Stamm P gestaltete sich als komplex. Während sie an den Versuchsstationen Zinsenhof und Wies in einzelnen Saisonen mit Erträgen von über 3 kg m⁻² und einem Spitzenwert von fast 4,5 kg m⁻² aus dem Sommersversuch 2018, dem höchsten Ertrag aller gesichtete Sorten, ihr Ertragspotential nachweisen konnte, schnitt die Sorte Stamm P außerhalb des Kernversuchs an den beteiligten Betrieben durchgehend schwach und aus betrieblicher Sicht nicht zufriedenstellend ab (Zoubek, 2019). Aufgrund der über mehrere Versuchsstandorte erzielten Erträge von durchschnittlich rund 1 kg m⁻² muss die Eignung der Sorte Stamm P kritisch hinterfragt werden. Verglichen mit den in den Folgejahren angebauten Sorten muss festgestellt werden, dass insbesondere die Hybridsorten Rosetta F1 des Saatgutherstellers Bejo Zaden B.V. und Brava F1, von Enza Zaden, in vielen Anbauversuchen, an mehreren Standorten und in verschiedenen Versuchssaisonen signifikant besser abschnitten. Allerdings schnitten auch diese Sorten an einigen Standorten, gerade in den Winterversuchsreihen 2018, mit Werten weit unter einem Kilogramm Ertrag pro Quadratmeter schlecht ab (Depisch et al., 2019).

Unabhängig von der Sorte zeigten die Wintersuche mit Radieschen erhebliche Schwankungsbreiten zwischen verschiedenen Standorten und Jahren. Die massiven Ausfälle der breiten Sortensichtungen der Wintersaisonen 2017 und 2018 belegen den Optimierungsbedarf im Anbau und langfristig betrachtet auch bei der Züchtung von Radieschen über bzw. für die Winterperiode.

8.3.3 Kulturmanagement für Winterradieschen

Die Frage des richtigen Anbauzeitpunkts ist wie schon bei den Karottenkulturen ausschlaggebend für den Kulturerfolg. Während bei den Karotten der korrekte Aussaatzeitpunkt für eine entsprechende Entwicklung und Ertragsbildung Voraussetzung war, spielte er beim Anbau der Winterradieschen eine entscheidende Rolle für deren Qualität (Derndorfer, 2018). Über die drei Versuchsjahre 2016 bis 2018 wurden mit Aussaatterminen um die KW 41, die besten Ergebnisse erzielt.

Positiv hervorzuheben ist die Bestandsentwicklung des Radieschenversuchs am Standort Zinsenhof aus der Wintersaison 2016. Trotz der mit anderen Saisonen und Standorten verglichen kühlen und strahlungsarmen Bedingungen der Anbauphase konnte bis zur Ernte in KW 50 ein Ertrag von etwas über einem Kilogramm pro Quadratmeter ausgebildet werden. Dieser Wert liegt etwas unter dem Schnitt des Ertrags von 'Stamm P', verdeutlicht aber die Fähigkeit zumindest dieser Radieschensorte, unter ungünstigen Wachstumsbedingungen passable Erträge auszubilden (Abbildungen 2 & 3).

Unter günstigeren Anbaubedingungen wie in der Wintersaison 2017, entwickelten sich die Bestände von Brava F1, beispielsweise am Betrieb Adamah oder am Betrieb Feldinger, aber auch die anderer Versuchssorten so rasch, dass bereits ab KW 48 erntefähige Bestände vorhanden waren. Da gerade bei Radieschenkulturen der richtige Erntezeitpunkt wesentlichen Einfluss auf die Qualität und geschmackliche Wahrnehmung hat, muss dieser Aspekt in der Anbau- und betrieblichen Planung, bezüglich Arbeitsspitzen miteinberechnet werden (Unmann, 2016). Zu spät geerntete Bestände schnitten bei der im Wintergemüseprojekt durchgeführten Verkostung durchwegs aufgrund ihrer „holzigen“ Konsistenz und dem schlechten Geschmack negativ ab (Derndorfer, 2018). Witterungsbedingte Schwankungen bezüglich des richtigen Erntezeitpunkt müssen somit aus betrieblicher Sicht in jeder Anbausaison, Sommer wie Winter, laufend evaluiert werden. Biotische Schadfaktoren, wie Schädlingsbefall oder das Auftreten von Blatt- oder Knollenkrankheiten spielten in den Winterversuchen, im Gegensatz zu dem Sommersversuchen, kaum eine ertragsmindernde Rolle.

8.4 Feldversuche mit *Lactuca sativa* var. *crispa*

Die folgenden Abschnitte befassen sich mit der Diskussion des Wintersalatanbaus, der Beurteilung der Sorte Fortero hinsichtlich ihrer Eignung für einen Spätanbau, dem Vergleich der Erträge aus Sommer- und Winteranbau, sowie mit der Diskussion der Kulturmaßnahmen und der Sichtung weiterer potentieller Wintersalatsorten.

8.4.1 Anbauversuche mit Wintersalaten

Die Auswertung des Kernversuchs und der folgende Vergleich mit weiteren Anbauversuchen der Praxisbetriebe zeigte erneut die signifikanten Unterschiede zwischen den Ertragslagen der landwirtschaftlichen Versuchsstationen und denen der real wirtschaftenden Betriebe auf. Auch wenn die Sorte Fortero sowohl an den Versuchsstationen als auch den Praxisbetrieben nicht zufriedenstellende Ergebnisse lieferte, waren die Unterschiede in den Stückgewichten zwischen den Versuchsstationen und Praxisbetrieben signifikant. Lieferte 'Fortero' über beide Versuchsstationen gemittelt durchschnittliche Stückgewichte um 147 g, lagen die der Praxisbetriebe bei durchschnittlich 105 g. Diese Beobachtung muss für die Prognose von Erträgen für Praxisbetriebe berücksichtigt werden, insbesondere da diese ebenfalls bei den Karotten- und Radieschenversuchen nachgewiesen wurde (Depisch et al., 2019).

Wie schon bei den Radieschenversuchen beobachtet, kam es zwischen den beiden Versuchsstationen zu signifikanten Unterschieden bei den erzielten Stückgewichten zwischen den Sommer- und Winterversuchen. Während am Standort Zinsenhof (233g/Kopf) in den Sommerversuchen signifikant höhere Gewichte als in Wies (153g/Kopf) erzielt wurden, zeigte sich in den Winterversuchen ein umgekehrtes Bild. Hier entwickelten sich die Bestände in Wies (164g/Kopf) signifikant besser als am Zinsenhof (130g/Kopf). Auf der anderen Seite kam es in Wies in beiden Sommersaisons 2017 und 2018 verglichen mit der Station Zinsenhof zu vermehrten Hitzeereignissen und allgemein höheren Temperaturen, die insbesondere für das Wachstum der Salat- und Radieschenkulturen hinderlich waren, was in niedrigeren Sommererträgen resultierte (ZAMG, 2019).

Über alle Versuchsreihen dieser Arbeit und den weiteren des Forschungsvorhabens „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“ müssen die Erträge der Wintersalate, insbesondere die von 'Fortero', kritisch beurteilt werden. Hier muss angemerkt werden, dass die handelsüblichen Anforderungen bezüglich Stückgewichte bei Salaten aus biologischem Anbau und aus dem Winteranbau generell etwas niedriger angesetzt sind. Vergleicht man die erzielten Stückgewichte aus dem Winteranbau mit herkömmlichen Erträgen von Blattsalaten, die im Sommeranbau je nach Sorte zwischen 200 und maximal 700 g rangieren, fallen die durchwegs niedrigen Erträge des Winteranbaus, mit durchschnittlichen Stückgewichten zwischen 130-160g auf den Versuchsanlagen auf. Die durchschnittlichen Werte der Praxisbetriebe, lagen bei dieser Sorte deutlich unter 100g. Je nach Bezugsquelle liegen die Richtwerte für marktfähige Ware zwischen 100 und 200 g/Kopf, die die Sorte Fortero unter Praxisbedingungen somit nicht erfüllt (Destatis, 2022; Depisch et al., 2019; Swisscofel, 2015; Stohandel, 2014; Borelli et al., 2013; EU-Verordnung, 2001).

8.4.2 Sorteneignung von 'Fortero' für den Winteranbau

Die richtige Sortenwahl ist für den Wintersalatanbau einer der wesentlichen Faktoren für den Kulturerfolg. In diesem wie in dem vorangegangenen Forschungsprojekt zum Wintergemüseanbau zeigten sich eklatante Unterschiede zwischen verschiedenen Salattypen und Sorten. Da in den Vorläuferprojekten bereits festgestellt wurde, dass kopfbildende Salatsorten ein langsames Wachstum und damit verbunden nur geringe Kopfbildung aufwiesen, wurden für diese Studie vorzugsweise Blattsalate (*Lactuca sativa* var. *crispa*) auf ihre Eignung für den Winteranbau getestet und mit Batavia-Salaten (*Lactuca sativa* var. *capitata*) aus dem Forschungsprojekt „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“ verglichen - mit sehr abweichenden Ergebnissen, hinsichtlich des Ertrags und der Qualität (Hampl, 2016; Betz et al., 2015).

Im Hinblick auf die Sorteneignung von 'Fortero' für den Winteranbau lässt sich eine klare Aussage treffen: Aufgrund der durchwegs geringen Stückgewichte, insbesondere im Vergleich zu Sorten wie Solasia oder Ostralie, dem vermehrten Auftreten von Pilzkrankheiten sowie den damit verbundenen Qualitätsmängeln und einem notwendigen Mehraufwand zur Säuberung der einzelnen Köpfe vor dem Verkauf, muss 'Fortero' als ungeeignet für den Anbau in der Wintersaison betrachtet werden.

Über alle gesichteten Sorten wiesen die halboffenen Batavia-Salate 'Ostralie' und 'Solasia' die aussichtsreichsten Ergebnisse, sowohl in Bezug auf die Stückgewichte, die Pflanzengesundheit und die Qualität der Köpfe. Mit einem durchschnittlichen Stückgewicht von über 200 g über alle Versuche gemittelt und Spitzenwerten von deutlich über 300 g an einigen Standorten lieferten sie sehr ansprechende Erträge (Depisch et al., 2019). Diese Werte unterlegen auch das hohe Ertragspotential von Salaten aus dem Winteranbau, da diese sowohl mit Erträgen aus herkömmlichen Anbauperioden mithalten, als auch die handelsüblichen Voraussetzungen hinsichtlich durchschnittlicher Stückgewichte erfüllen (Stohandel, 2014; EU-Verordnung, 2001).

Kritisch muss im Zusammenhang mit dem Wintersalatanbau die Frage des richtigen Standorts diskutiert werden. Die niederösterreichische Versuchsstation Zinsenhof wies beispielsweise durchgehend niedrigere Wintererträge als die Versuchsstation Wies auf. Die Salatversuchsreihen aus der Wintersaison 2017 zeigten durchgehend niedrige Erträge. Die Sorten Solasia und Ostralie schnitten zwar im Vergleich auch in diesem Versuch am besten ab, entsprachen aber mit durchschnittlichen Stückgewichten von knapp über hundert Gramm pro Kopf nur knapp den handelsüblichen Standards (Depisch et al., 2019; Stohandel, 2014).

8.4.3 Kulturmanagement im Wintersalatanbau

Neben der Sortenwahl war die Frage eines angepassten Kulturmanagements ausschlaggebend für den Erfolg der jeweiligen Salatbestände. Wie schon in den Vorläuferprojekten festgehalten wurde, entwickelten auch in diesen Winterversuchen die kühl und trocken geführten Bestände gesündere und ertragreichere Kulturen, wohingegen es bei wärmeren und feuchteren zu teilweise massiven Ausfällen kam. An mehreren Standorten konnte beobachtet werden, dass Salatexemplare, die im Winteranbau vermehrter Feuchtigkeit, beispielsweise durch herabtropfendes Kondenswasser ausgesetzt waren, schneller von Pflanzenkrankheiten dahingerafft wurden (Betz et al., 2015). Am Beispiel der Versuchsreihe mit der Sorte Fortero aus der Wintersaison 2018 wurde zusätzlich der negative Einfluss einer zu warmen Entwicklungsphase in den Monaten Oktober und November deutlich. An mehreren Standorten kam es in der Wintersaison 2018 aufgrund vom massiven Auftreten diverser Blattkrankheiten, zum Komplettausfall ganzer Bestände. Neben dem Wechsel auf gesündere

und ertragreichere Sorten wurden die Vorteile einer trockenen und kühleren Kulturführung hierdurch erneut bestätigt (Kupfer, 2019; ZAMG, 2019).

8.5 Standortunterschiede zwischen der Versuchsanlage Zinsenhof (NÖ) und Wies (Stmk)

Die beiden Versuchsanlagen wurden ausgewählt, um einerseits verschiedene Anbauregionen auf ihre Eignung für den Winteranbau zu testen und um andererseits potentielle Unterschiede hinsichtlich der Ertragsausbildung und in den Gehalten an wertgebenden Inhaltsstoffe zwischen den beiden Anbaugebieten nachzuweisen.

Im Hinblick auf die Erträge der getesteten Winterkulturen ergeben sich aus den erhobenen Daten eindeutige Vorteile für den Standort Wies. Hier wurden sowohl bei Radieschen und bei Salaten signifikant höhere Erträge als an der Versuchsanlage Zinsenhof erfasst. Rechnet man den Totalausfall der Winterkarotten aus dem Jahr 2017 nicht mit ein, der aufgrund eines zu spät gewählten Aussattermin auftrat, ergab sich auch bei dieser Kultur ein signifikanter Vorteil für die Station Wies. Die Vorteile dieser südlich gelegenen Anbauregion werden auch von den Ergebnissen des Kooperationsprojekts bestätigt, wo beispielsweise der Praxisbetrieb Ambrosch, der ebenfalls in der Steiermark gelegen ist, in den Winterversuchen der Saison 2016 bei Karotten, Radieschen und Salaten jeweils die höchsten Erträge, verglichen mit allen anderen über Österreich verteilten Betriebe, aufwies (Depisch et al., 2019).

Das bessere Abschneiden dieser Anbauregion lässt sich aus den Wetterdaten nicht ablesen. Die durchschnittlichen Temperaturen der beiden Versuchsgebiete über die Anbaumonate September bis Dezember lagen eng beieinander und waren am Standort Zinsenhof (2016: Φ 7,5 °C; 2017; Φ 7,7 °C; 2018: Φ 8,5 °C) in jeder Wintersaison höher als in Wies (2016: Φ 7,25 °C; 2017; Φ 6,3 °C; 2018: Φ 8,4 °C). Die bessere Entwicklung wird von Seiten der Betriebsleiter mit einer erhöhten PAR-Strahlung in diesem Zeiträumen auf der Versuchsanlage Wies in Verbindung gebracht, deren Messung durch den Ausfall der Sensoren nicht mit Daten unterlegt werden kann (Lengauer, 2019; Palme, 2019; Versuchsanlage ZINSENHOF, 2019; ZAMG, 2019).

Im Gegensatz zu den Ertragsdaten konnten bei den Profilen der untersuchten Inhaltsstoffe keine klaren Unterschiede zwischen den beiden Anbauregionen festgestellt werden. Über den Großteil der einzelnen Untersuchungsparameter waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

9. Stressphysiologische Aspekte des Wintergemüseanbaus

Die Winterkulturen sehen sich mit einer Reihe von abiotischen Stressfaktoren konfrontiert, die sich wesentlich von denen der sommerlichen Anbauperioden unterscheiden. In den nächsten Kapiteln werden die Auswirkungen dieser Stressbedingungen auf die Synthese verschiedenster Stoffwechselmetabolite diskutiert. Das Hauptaugenmerk liegt auf dem Vergleich mit den erhobenen Werten aus dem Sommeranbau, um die in Kapitel 7 aufgezeigten Unterschiede pflanzenphysiologisch nachzuvollziehen, und der Einschätzung der inneren Qualität von Wintergemüse an sich. Da die Wirkungen der verschiedensten Stressformen und die damit verbundenen Umstrukturierungen des gesamten pflanzlichen Stoffwechsels bisher vorwiegend unter Laborbedingungen und an *Arabidopsis* untersucht wurden, scheinen die Untersuchungen an unter Praxisbedingungen kultivierten Gemüsekulturen besonders aufschlussreich hinsichtlich der Eignung der Versuchskulturen für den Winteranbau (Huang, 2006; Rajashekar; 2006).

9.1 Nitratgehalte in Winterkulturen

Im Vergleich zu den folgenden Inhaltsstoffen nehmen die Nitratgehalte eine Sonderrolle ein, da von institutioneller Seite Höchstgrenzen festgelegt wurden, die bestimmte landwirtschaftliche Produkte enthalten dürfen, um als marktfähig zu gelten. Diese kulturabhängigen Höchstwerte gelten, da Nitrat in erhöhter Konzentration als gesundheitsschädlich gilt. Nitrat (NO_3^-) kann weiter zu Nitrit (NO_2^-) umgewandelt werden, das Hämoglobin in Methämoglobin umwandelt. Dies kann in weiterer Folge zu Sauerstoffmängeln in Geweben führen, da Methämoglobin nicht wie Hämoglobin in der Lage ist, Sauerstoff zu binden und zu transportieren. Zusätzlich ist die mögliche Bildung sogenannter Nitrosamine, denen in Tierversuchen krebserregende Eigenschaften nachgewiesen wurden, problematisch (AGES, 2022; Croitoru et al., 2015).

Der Nitratgehalt in Gemüsekulturen variiert mitunter deutlich je nach Anbauform, Sorte, Düngung, Vorkultur und auch zwischen verschiedenen Anbauperioden und Witterungsbedingungen. Dies gilt auch für die drei vorliegenden Versuchskulturen, Karotten, Radieschen und Salate (Chiesa et al., 2009; Bernhold, 2003; Cantliffe und Phatak, 1974). Im Hinblick auf die Anbauperiode muss festgehalten werden, dass in mehreren Studien ein Anstieg der Nitratgehalte im Herbst und Winteranbau sowie mit der Zunahme der Kulturdauer nachgewiesen wurde. Diese Tendenz ist vorwiegend auf den Rückgang der Strahlungsintensität, der damit verbundenen Verlangsamung des pflanzlichen Stoffwechsels, der verringerten Aktivität des Enzyms Nitrat-Reduktase (NADH) und dem daraus resultierenden gehemmten Ab- und Umbaus von Nitrat in der Pflanze, zurückzuführen. Zusätzlich wird Nitrat bei geringen Temperaturen und Einstrahlungswerten verstärkt in den Vakuolen als Osmolyt einlagert (Khan et al., 2018; Chiesa et al., 2009; Demsar et al., 2004). Dieser Punkt ist für die Radieschen- und Salatkulturen kritisch zu diskutieren, da sie im Gegensatz zu Karotten von Natur aus höhere Nitratkonzentrationen aufweisen. Konkret bedeutet dies, dass Salate und Radieschen durchschnittliche Nitratwerte zwischen 1.000–4.000 mg kg⁻¹ FM aufweisen, Karotten hingegen nur bis maximal 1000 mg kg⁻¹ FM, oftmals auch deutlich darunter (Göllner, 2021).

Über alle Versuchskulturen waren die Nitratwerte in den Winterversuchen höher als die aus den Sommerversuchen. Am deutlichsten war der Unterschied bei Karotten nachweisbar, mit rund 42 mg kg⁻¹ FM im Sommer und 226 mg kg⁻¹ FM im Winter. Bei den Radieschen, die erwartungsgemäß deutlich höhere Konzentrationen aufwiesen, war ein signifikanter Anstieg im Winter (1994 mg kg⁻¹ FM vs. 1454 mg kg⁻¹ FM) nachzuweisen. Die Salate wiesen ebenfalls im Winter (2112 mg kg⁻¹ FM) mehr Nitrat auf als im Sommer (1866 mg kg⁻¹ FM), allerdings war der Unterschied nicht statistisch signifikant.

Eine umfangreiche Studie von Gutezeit und Fink (2000) mit 24 verschiedenen Karottensorten, ergab durchschnittliche Nitratgehalte zwischen 40 und 160 mg kg⁻¹ FM, wobei auch hier die später geernteten Proben aus dem Spätherbst etwas höhere Werte aufwiesen, als die von früheren Ernteterminen. Diese Tendenzen konnten auch von Croitoru et al. (2015) und Raczuk et al. (2014) nachgewiesen werden. In den Studien von Höhn et al. (2003 & 2004) rangierten die Nitratwerte von Karotten zwischen 150 und 440 mg kg⁻¹ FM, wobei auffiel, dass hohe Zuckergehalte mit niedrigen Nitratgehalten einhergingen. Somit liegen die Nitratkonzentrationen der vorliegenden Arbeit in einem ähnlichen, niedrigen Bereich, was

insgesamt unterlegt, dass die Karottenkultur in Bezug auf erhöhte Nitratkonzentrationen als unbedenklich zu betrachten ist.

Dies gilt insbesondere im Vergleich mit Blattgemüsen, deren Werte durchschnittlich um ein Vielfaches höher sind und gesetzlichen Regulierung unterliegen. Insbesondere bei Salaten müssen einige Grenzwerte beachtet werden. Sie variieren je nach Ernteperiode, Salattyp und Anbauform. Ein Auszug aus dem Amtsblatt der Europäischen Union (2011) zur Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Nitrate in Lebensmitteln, verdeutlicht dies. Beispielsweise liegt die erlaubte Höchstkonzentration für Salate (*Lactuca sativa* L.), die zwischen dem 01.10 und dem 31.03, also praktisch im Winteranbau geerntet werden, bei 5000 mg kg⁻¹ FM im geschützten Anbau und bei 4000 mg kg⁻¹ FM aus dem Freiland. Dieselben Salate aus dem Zeitraum vom 01.04 bis 30.09 dürfen maximal Werte von 3000 mg kg⁻¹ FM (2000 mg kg⁻¹ FM aus dem Freiland) aufweisen. Eine ähnliche Regelung gilt für eine weitere (potentielle) Winterkultur, den Rucola, der zu den am stärksten Nitrat akkumulierenden Kulturen zählt. Die ebenfalls stark Nitrat akkumulierenden Radieschen, mit Spannbreiten zwischen 710 und 4800 mg kg⁻¹ FM, finden sich genauso wenig wie Karotten in dieser Regelung wieder (AGES, 2022; Amtsblatt der Europäischen Union, 2011).

In Bezug auf die Ergebnisse der Salatversuche kann somit festgehalten werden, dass diese sowohl mit den Sommer- als auch den Winterwerten deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten lagen. Mit einem Durchschnittswert von 2112 mg kg⁻¹ FM aus dem tendenziell problematischeren Winteranbau, wird der Richtwert von 5000 mg kg⁻¹ FM deutlich unterschritten. Selbiges gilt für alle anderen erhobenen Werte. Die Radieschen, mit einer Höchstkonzentration von knapp unter 2000 mg kg⁻¹ FM, sind somit ebenso wie die Salate als unproblematisch für den Wintergemüseanbau zu betrachten. Die erhobenen Daten von Radieschen und Salaten sind mit Versuchsreihen aus anderen Ernteperioden vergleichbar, in denen ähnliche Nitrat-Konzentrationen nachgewiesen wurden (Liu et al., 2014; Raczuk et al., 2014; Chiesa et al., 2009).

9.2 Zuckergehalte in Winterkulturen

Die Zuckergehalte erweisen sich als nicht weniger bedeutsam für die Produktqualität als die Nitratgehalte. Die Zuckergehalte nehmen bei der geschmacklichen Beurteilung und bei der positiven Kundenwahrnehmung eine entscheidende Rolle ein (Vargas-Arcila et al., 2017; Baranski et al., 2011; Höhn et al., 2004). Aus physiologischer Sicht tragen sie, wie ausführlich in Kapitel 3.2.4 beschrieben, als osmotisch aktive Substanz wesentlich zum Schutz der Zellmembranen bei und zählen allgemein zu den wichtigsten Metaboliten im Prozess der Frostadaptation, also der Überlebenssicherung der Pflanze (Majumder et al., 2010; Galiba et al., 2002; Xin, 2002).

Eine der zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit war, ob die Zuckergehalte in den Winterkulturen im Vergleich zu denen aus herkömmlichen Anbauphasen zunehmen würden. Diese Annahme schien aus pflanzenphysiologischer Sicht plausibel, konnte jedoch bisher kaum unter vergleichbaren Rahmenbedingungen wie in dieser Forschungsarbeit untersucht werden. In dieser Studie waren sowohl die Gesamtzuckergehalte als auch die reduzierenden Zucker über alle Versuchskulturen hinweg im Winter signifikant höher als im Sommer. Die einzigen Ausnahmen sind die Werte der Gesamtzucker der Karotten bezogen auf die Frischmasse, die zwar ebenfalls im Winter Spitzenwerte lieferten und höher waren, aber nicht signifikant, und die der reduzierenden Zucker der Salate, die ebenfalls keine statistisch aussagekräftigen Unterschiede ergaben.

Somit kann hiermit auch von wissenschaftlicher Seite bestätigt werden, was Praktiker wie Elliot Coleman, einer der Pioniere des Wintergemüseanbaus, bereits aus ihren Kundenerfahrungen abgeleitet haben, dass Wintergemüse süßer schmecken, als ihre Gegenstücke aus dem Sommeranbau (Coleman, 2014). Eine im Rahmen des Kooperationsprojekts „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau“ durchgeführte Verkostung mit verschiedensten Wintergemüsen kam zu einem ebenso eindeutigen Ergebnis. Den Kulturen Karotten, Radieschen und Salaten wurde, neben weiteren, eine eindeutige Süße attestiert, was in weiterer Folge einer positiven Wahrnehmung der Wintergemüse gleichkam (Derndorfer, 2018).

Die nachgewiesenen Gesamtzuckeranteile der Winterkarotten von durchschnittlich 57 g kg⁻¹ FM sind mit denen ähnlicher Studien beispielsweise von Höhn et al. (2003, 2004), die Werte zwischen 52-57 g kg⁻¹ FM nachweisen konnten, vergleichbar und liegen unter denen von Arnecken (2003) mit Zuckeranteilen zwischen 71-76 g kg⁻¹ FM. Auffällig war sowohl die Zunahme der Gesamtzuckeranteile als auch der Saccharose-Anteile mit zunehmender Kälteexposition und bei späteren Ernteterminen (Schulz-Witte, 2011; Herppich et al., 2001), wie es auch in dieser Arbeit beobachtet wurde.

Versuche mit Radieschen unter verschiedenen Licht- und Temperaturregimen ergaben einen Anstieg verschiedener Zuckerkonzentrationen in allen Versuchsreihen, bei denen die Kultur Kältestress (Temperaturen unter 4°C) ausgesetzt wurden. Die Kontrollgruppe, die unter Normalbedingungen bei 18°C wuchs, zeigte keinerlei Verschiebung der Zuckeranteile. Die verstärkte Einlagerung von Zuckern war vorwiegend in den Knollen und Wurzeln, weniger in der Blattmasse, zu beobachten (Simko, 2019; Abdel 2015; Sirtautas et al., 2011).

Die Gesamtzuckeranteile bezogen auf die Frischmasse der Salatsorte Fortero lagen mit rund 20 g kg⁻¹ FM im Winter sogar doppelt so hoch wie im Sommer, die mit rund 10 g kg⁻¹ FM den Richtwerten für Salate entsprechen (Souci et al., 2011).

9.3 Weitere Inhaltsstoffe in Wintergemüsekulturen

Neben den Nitrat- und Zuckeranteilen wurden noch eine Reihe weiterer Inhaltsstoffe untersucht, um einen breiten Überblick einerseits zu den Konzentrationen der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe zu bekommen und um daraus Rückschlüsse auf den pflanzlichen Stoffwechsel unter den stresshaften Anbaubedingungen des Wintergemüseanbaus ziehen zu können. Im Verlauf der Arbeit war die Erhebung der Trockenmasseanteile die chronologisch erste Messung.

Vor Beginn dieser Erhebung war mit einer allgemeinen Zunahme der Trockenmasseanteile mit zunehmender Kulturdauer und unter der im Winteranbau praktizierten trockenen Kulturführung, insbesondere bei geschützten Kulturen, zu rechnen (De Sousa et al., 2015). In Studien mit Karotten (Höhn et al., 2004) und Radieschen (Abdel, 2015; Sirtautas et al., 2011) wurde nachgewiesen, dass beispielsweise bis zu 40% der Trockenmasse der Wurzeln bei Karotten in den letzten vier Wochen vor der Ernte akkumuliert wurde und die

Trockenmasse mit zunehmender Kulturdauer zunahm. Abnehmende Bodenfeuchte verstärkte die Trockenmassenzunahme zudem. Da die Anbauperiode über alle Winterkulturen um mehrere Wochen länger war als die der Sommerkulturen (siehe Kapitel 8.1) und die Kulturen so extensiv wie möglich gewässert wurden, um Krankheiten vorzubeugen, konnte eine Trockenmassenzunahme der Wintergemüse erwartet werden (Liu et al., 2014; Wellinger et al., 2006; Hurry et al., 2002). Entgegen dieser Annahme wiesen nur die Wintersalate einen signifikanten Anstieg der Trockenmasse auf, der besonders deutlich ausfiel.

9.3.1 Chlorophylle und Karotinoide in Winterkulturen

Mit Ausnahme der Radieschenversuche, bei denen in den Knollen erwartungsgemäß kaum Chlorophylle und Karotinoide nachweisbar waren, lagen bei Karotten und Salaten die Chlorophyll- und Karotinoidkonzentrationen in den Sommersversuchen signifikant höher als in den Winterversuchen. Vor allem Karotinoide zeichnen sich durch eine antioxidative Wirkung aus, ua. zum Schutz der Chlorophylle vor ROS. Einer Zunahme der Karotinoidgehalte im Sommeranbau war daher zu erwarten (Simpson et al., 2016; Limantara et al., 2015; Sirtautas et al., 2011).

In Karottenwurzeln und Radieschenknollen waren Chlorophylle nur in sehr geringen Mengen nachweisbar, da diese vorwiegend in Blattgeweben und nur in Spuren in den sonnenexponierten Teilen von Wurzeln bzw. Knollen synthetisiert werden. Im Vergleich dazu waren die Chlorophyllgehalte in den ergänzend untersuchten Laubproben von Karotten und Radieschen sowie in den Salaten signifikant höher (Manivanna et al., 2019; Ashraf et al., 2016; Simpson et al., 2016).

Während das Vorhandensein von Karotinoiden in Karotten schon aufgrund deren namensgebender Färbung offensichtlich erscheint, können auch Blattgemüse hohe Konzentrationen an Karotinoiden enthalten. In Salaten der Gattung *Lactuca* finden sich allerdings im Vergleich zu weiteren (Blatt-)Gemüsen vergleichsweise niedrige Karotinoidgehalte. Aufgrund der außergewöhnlich hohen Konzentrationen, die in dieser Arbeit nachgewiesen wurden, sind die vorliegenden Ergebnisse kritisch zu hinterfragen, insbesondere deshalb, da sie die Werte der Karotten, die als Gemüse mit den höchsten

Karotionidkonzentrationen gelten, übersteigen (Mech-Nowak et al., 2012; Cruz et al., 2012; Schulz-Witte, 2011; Caunii et al., 2010; Yahia und Ornelas-Paz, 2010).

9.3.2 Antioxidative Kapazität und Phenolgehalte von Winterkulturen

Die verstärkte Akkumulation antioxidativer Komponenten, u.a. auch phenolischer Verbindungen, die ebenfalls im Zuge von Stressereignissen akkumuliert werden und oxidativem Stress entgegenwirken, kann als Reaktion des pflanzlichen Stoffwechsels auf diverse Stresssymptome unter ungünstigen Witterungsbedingungen interpretiert werden (Robles-Sardin et al., 2010; Yahia und Ornelas-Paz, 2010). Ihre Erhebung lässt daher Rückschlüsse zu, wie Pflanzen auf die Bedingungen des Winteranbaus reagieren und inwiefern sich Unterschiede zum Sommeranbau nachweisen lassen. In weiterer Folge stellt eine hohe antioxidative Kapazität eine nicht unwesentliche Qualitätsmerkmal dar, da diese Stoffgruppe nachweislich gesundheitsförderliche Effekte auf den menschlichen Organismus entfaltet und daher verstärkt über die Nahrung zugeführt werden sollte (Manivanna et al., 2019; Zdravković et al., 2014; Ciz et al., 2010; Stracke et al., 2008).

Auf der anderen Seite steht die große Gruppe der phenolischen Verbindungen, die zwar ebenfalls gesundheitsförderliche Aspekte aufweisen können, allerdings in zu hohen Konzentrationen die geschmackliche Qualität und Wahrnehmung diverser Gemüse negativ beeinflussen kann. Sie gelten als Indikator in Pflanzen, werden sie doch u.a. im Zuge der Stressakklimatisation (unabhängig ob Hitze, Kälte, Frost, Trockenheit) zum Schutz diverser struktureller Zellstrukturen verstärkt synthetisiert (Oh et al., 2011; Andres-Lacueva, 2010; Saltveit, 2010; Hager und Howard, 2006).

Wie bereits in Kapitel 5.6.3 festgehalten wurde, gibt es zur Messung der antioxidativen Kapazität mehrere unterschiedliche Methoden, da diese Stoffgruppe zu umfangreich und heterogen ist, als dass eine einzelne Messmethode alle antioxidativen Komponenten erfassen kann. Je nach angewandter Methode kommt es mitunter zu signifikanten Abweichungen bei den endgültigen Konzentrationen, was deren Interpretation erschwert, wobei trotz unterschiedlicher Werte oftmals gleiche Trends, Reihenfolgen und Unterschiede abzulesen sind (Hiba et al., 2019; Mampholo et al., 2016; Paschke, 2012; Ciz et al., 2010).

Die antioxidative Kapazität unterscheidet sich zwischen den Gemüsekulturen signifikant. Von den vorliegenden Versuchskulturen wiesen beispielsweise Karotten und

Radieschen, auch aufgrund deren allgemein geringen Anteils an phenolischen Verbindungen, eher niedrige Werte auf (Chorol, 2019; Bystricka et al., 2015; Tiveron et al., 2012; Hager und Howard; 2006). Diese Arbeit bestätigt, dass die antioxidative Kapazität der Salate um ein Vielfaches höher signifikant war als bei Karotten und Radieschen. Innerhalb der Salatkulturen gibt es wie in anderen Arbeiten nachgewiesen, ebenfalls große Unterschiede. So weisen beispielsweise roten Salatsorten allgemein höhere Konzentrationen auf als grüne (Hampl, 2016; Cano und Arnao, 2005).

In Blattgemüsen und -geweben finden sich generell mehr Antioxidantien, da sie wegen ihrer Rolle zur Radikalbekämpfung am Ort deren Entstehung, also in den Chloroplasten, gebraucht und synthetisiert werden. Dies gilt sowohl für Wurzel- als auch für Knollengemüse, bei denen das Laub deutlich höhere antioxidative Eigenschaften aufweist, als deren Speicherorgane (Manivanna et al., 2019; Ciz et al., 2010). Auch in dieser Arbeit enthielten die Blattproben der Karotten und Radieschen um ein Vielfaches höhere Kapazitäten als die Wurzeln respektive Knollen.

Neben den Unterschieden zwischen den Kulturarten, Sorten und Geweben, hat auch die jeweilige Anbauperiode Einfluss auf die antioxidative Kapazität. Sie liegen verglichen mit früheren oder späteren Anbauperioden in der Regel im Sommer am höchsten, da Antioxidantien unter Hitzestress vermehrt synthetisiert werden, um potentiellen Schäden von ROS entgegenzuwirken (Liu et al., 2007). Bezugnehmend auf dieses Forschungsprojekt ist festzuhalten, dass diese Tendenz bestätigt werden kann. Bei Salaten und bei den Radieschenknollen fielen die Werte aus dem Sommeranbau signifikant höher aus. Bei den Karottenwurzeln konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

Aufgrund ihrer ebenfalls antioxidativen Wirkung konnte in einigen Studien eine enge Korrelation zwischen den Phenolgehalten und der antioxidativen Kapazität nachgewiesen werden (Ciz et al., 2010; Degl'Innoocenti et al., 2008). Da die Bandbreite der potentiell antioxidativen Inhaltsstoffe allerdings sehr umfangreich und heterogen ist, und Gemüse neben phenolischen Verbindungen zahlreiche weitere Antioxidantien synthetisieren und je nach Stressereignis akkumulieren, wie beispielsweise Vitamine, Flavonoide und Karotinoide, kann diese Korrelation nicht als allgemeingültig betrachtet werden (Lisko et al., 2014; Zhang und Hamazu, 2004).

Die ergänzend untersuchten Blattproben wiesen Gesamtphenolgehalte bei Karotten von 7,3 mg kg⁻¹ TM aus dem Winteranbau vs. 4,6 mg kg⁻¹ TM aus dem Sommeranbau und bei Radieschen (10,1 vs. 5,5 mg kg⁻¹ TM) auf. Genau wie bei der Messung der antioxidativen Kapazität, ergaben sich signifikant höhere Werte als bei den Speicherorganen (mit Gesamtphenolgehalten von knapp über 3 mg kg⁻¹ TM in den Karottenwurzel und Radieschenknollen aus den Sommersversuchen, respektive 2,5 und 1,5 mg kg⁻¹ TM aus den Winterversuchen). Mit Gesamtphenolgehalten von 21 mg kg⁻¹ TM aus den Winterversuchen wiesen die Salate, genau wie bei der Messung der antioxidativen Kapazität, die mit Abstand höchsten Werte auf. Vergleichbare Studien belegen sowohl höhere Phenolgehalte in Blattgemüsen und -geweben, im Vergleich zu Wurzel und Knollengemüsen (Manivanna et al., 2019; Mastilovi et al., 2019; Kumar und Patwa 2018; Tiveron et al., 2012; Liu et al., 2007).

Über alle Versuchskulturen gesehen waren die Phenolgehalte in den Winterversuchen signifikant höher als in den Sommersversuchen, was gegen eine Korrelation von höheren Phenolgehalten mit einer gesteigerten antioxidativen Kapazität, die im Sommeranbau höher ausfiel, spricht. Aufgrund der sehr trockenen Kulturführung im geschützten Winteranbau war mit einem Anstieg der Phenolgehalte durchaus zu rechnen, da dies beispielsweise in einer Studie von Abdel (2015) unter Trockenstress beobachtet wurde. Dieser Effekt könnte auch in dieser Versuchsreihe eine Rolle gespielt haben. Eine mögliche Beeinträchtigung der geschmacklichen Qualität von Wintergemüsen durch zu hohe Phenol-Konzentrationen, die beispielsweise bei Karotten zu bitteren Geschmacksnoten und geringerer Kundenakzeptanz führen (Ahmad et al., 2019; Höhn et al., 2004; Höhn et al., 2003) scheint trotz der signifikant höheren Werte unrealistisch, da die Konzentrationen einerseits sehr nahe beieinander lagen und im Rahmen der Wintergemüseverkostung keinerlei bittere, oder negative Impressionen festgestellt wurden (Derndorfer, 2018).

10. Schlussfolgerungen – Kulturmanagement

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ansprüche der Wintergemüsekulturen, kann kein allgemeingültiges Resümee in Bezug auf „das“ ideale Kulturmanagement gezogen werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit, insbesondere in Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau“ haben massive Unterschiede zwischen Kulturen, Sorten, Jahren und Standorten aufgezeigt. Wie am Beispiel der Radieschen und Salate aufgezeigt, ist die richtige Sortenwahl besonders entscheidend für den Kulturerfolg. Einen beinahe ebenso starken Einfluss haben die stark variierenden Wetterbedingungen, die zu massiven Beeinträchtigungen in Form von Bestandausfällen, dem vermehrten Auftreten von Krankheiten sowie Änderungen von mehreren Wochen in Bezug auf den Erntetermin führen können (Depisch et al., 2019). Diesen Unsicherheiten sind Wintergemüse-Produzent*innen ausgesetzt, was letztendlich einen Risikofaktor im Wintergemüse bedeutet und dessen Planbarkeit, gerade im Hinblick auf die strikten Anforderungen des Handels, bezüglich konkreter Liefertermine- und Mengen erschwert (Palme, 2022).

Die wechselnden Bedingungen in dieser Anbauphase, von einzelnen Frostereignissen, intensiver Sonneneinstrahlung oder anhaltend strahlungsarmen Phasen bis hin zu Temperaturen an die 30 °C im geschützten Winteranbau, stellen für den pflanzlichen Stoffwechsel massive Stressfaktoren dar und erfordern von Seiten der Praxis, soweit dies möglich ist, entsprechende Anpassungen in der Kulturführung. Der Anbau beispielsweise von Winterradieschen und -salaten erweist sich aus ökologischer und ökonomischer Sicht als ressourcenschonend, da für diese Kulturen keine zusätzlichen Stickstoff- oder andere Düngergaben notwendig sind. Dies wirkt sich auch positiv auf die innere Qualität der Winterkulturen aus. Eine zusätzliche Stickstoffdüngung würde die Nitratakkumulation in Pflanzen verstärken, was bei Kulturen wie Radieschen und Salaten, die zu hohen Nitratkonzentrationen neigen, zu problematischen Konzentrationen führen kann. Diesen wird folglich vorgebeugt. Zudem verbessert ein verringertes Stickstoffangebot die Zusammensetzung der phenolischen Verbindungen, mit der Folge eines besseren ernährungsphysiologischen Profils (Zhou et al., 2019; Demsar et al., 2004). Neben den Düngemaßnahmen ist auch der richtige Erntezeitpunkt entscheidend zur Qualitätssicherung, da mit erhöhter Kulturdauer und Reife die Nitratwerte tendenziell ansteigen. Besonders bei Radieschen ist der optimale Erntezeitpunkt, aufgrund des kurzen Erntezeitfensters zu beachten (Renseigné et al., 2007).

Eine trockene Kulturführung, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, scheint in Bezug auf die Sicherung der Pflanzengesundheit im geschützten Winteranbau unerlässlich und auch aus pflanzenphysiologischer Sicht logisch. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, bewirkt die Anpassung an Kälte- und Froststress eine erhöhte Resistenz gegen Trockenstress, womit die Winterkulturen in der Lage sind die trockenen Anbauverhältnisse besser zu tolerieren. Zudem stellt erhöhte Feuchtigkeit einen wesentlichen Faktor für das Gefrieren von Pflanzen(teilen) dar. Trockene Pflanzen haben einen niedrigeren Gefrierpunkt als feuchte Pflanzen, da diese weniger Kristallisationskeime aufweisen, die die Ausbreitung von Eiskristallen begünstigen. Hinzu kommt, dass eisbildende Agenten wie beispielsweise INA (ice nucleating active) Bakterien nur in wässriger Lösung aktiv sind, was insgesamt für eine reduzierte Bewässerung spricht (Wisniewski et al., 2002).

Im Zuge der Anpassungsstrategien und in Kombination mit den Kulturmaßnahmen werden, wie in dieser Arbeit eindeutig belegt werden konnte, signifikant mehr Zuckerverbindungen eingelagert, was nicht nur die Frosttoleranz erhöht, sondern auch die geschmackliche Qualität der Wintergemüse verbessert (Derndorfer, 2018). Dieser Punkt verdeutlicht die enge Verbindung zwischen Anbaupraktiken und der inneren Qualität der Wintergemüse, die auch schon beim Nitrat festgestellt wurde.

10.1 Winterkarottenanbau

Mit den Kohlgewächsen sind Karotten mit die widerstandsfähigsten Wintergemüseulturen überhaupt und auch als freilandtauglich für die kalte Jahreszeit zu betrachten. Die potentiell schädlichen Einflüsse von Kälte, Frost, anhaltender Feuchtigkeit und Lichtarmut, die zwangsläufig im Spätanbau, insbesondere unter Freilandbedingungen vorherrschen, schaden den Karotten kaum. Aus stressphysiologischer Sicht scheint die Karotte aufgrund ihrer Evolutionsgeschichte und dem zweijährigen Lebenszyklus gut an die Stressformen des ausgehenden Jahres angepasst zu sein. Ihr Potential zum Osmotischen Ausgleich nimmt im Kulturverlauf bzw. gegen Ende der Saison und mit steigendem Alter und Wurzelwachstum zu. Durch ihren zweijährigen Lebenszyklus sind Karotten so an die Jahreszeiten angepasst, dass sie überwintern und im kommenden Jahr in eine generative Lebensphase wechseln können. Diese natürliche Widerstandsfähigkeit drückt sich unter anderem in einer guten Frost- und Trockenheitstoleranz aus (Herppich et al., 2001; Hause 2001).

Der wahrscheinlich entscheidendste Faktor im Winterkarottenanbau ist aus betrieblicher Sicht der rechtzeitige Anbauzeitpunkt, welcher in der Regel gegen Ende Juli stattfinden sollte, um eine entsprechende Dezemberernte zu gewährleisten. Da gerade Karotten in der Keimungs- und Aufgangsphase besonders anfällig gegen äußere Faktoren wie Hitze und Starkregen sind, ist die erste Anbauphase verglichen mit Wintersalaten- und Radieschen besonders heikel (Scheidinger, 2014, Wellinger et al., 2006). Im weiteren Kulturverlauf erweisen sich Karotten als widerstandsfähige Winterkulturen.

In Bezug auf die Ertragslagen kann kein eindeutiges Resümee gezogen werden. Die Versuchsreihen dieser Arbeit haben gezeigt, dass die Erträge von Sommerkarotten und Winterkarotten sehr nahe beieinander liegen können, was grundsätzlich eine positive Feststellung ist. Ebenso wie bei der Versuchssorte Nominator F1 selbst, lagen auch bei einigen weiteren Sorten wie beispielsweise Mercurio F1, Napoli F1, Lince F1, Jerada F1, Saturno F1 die Erträge in mehreren Versuchen im Bereich von Bundkarotten aus herkömmlichen Anbauphasen (Scheidinger, 2014; Landwirtschaftskammer Wien, 2013). Allerdings kann diese Aussage nicht allgemeingültig über alle Versuche und Standorte getroffen werden. Sowohl auf Versuchstationen als auch auf Praxisbetrieben kam es in einzelnen Jahren zu niedrigen Ertragslagen bzw. massiven Ausfällen durch entweder zu spät angebaute Sätze, lückenhafte Bestände oder dem Auftreten der Möhrenfliege, was insgesamt auf ein Verbesserungspotential hinsichtlich der Anbaupraktiken für den Winterkarottenanbau schließen lässt und zusätzlich

darauf hindeutet, dass bestimmte Anbauregionen für den Winterkarotten prinzipiell ungeeignet sind (Depisch et al., 2019). In der Arbeit von Hämmerle (2018) wurde beispielsweise festgestellt, dass die Region Rheintal (Vorarlberg) aus klimatischen Gründen für den Winterkarottenanbau nicht geeignet ist.

Aus qualitativer und in weiterer Folge geschmacklicher Sicht sind Winterkarotten positiv zu bewerten. Insbesondere aufgrund der erhöhten Zuckergehalte, die in dieser Arbeit in Karotten aus dem Winteranbau nachgewiesen werden konnten, sind sie ihren Pendanten aus Sommer- und Herbstanbau geschmacklich überlegen. Diese Erkenntnis wird auch von einer durchgeführten Verkostung und Praxiserfahrungen bestätigt (Derndorfer, 2018; Coleman, 2014).

10.2 Winterradieschenanbau

Im Vergleich zu den Winterkarotten mit einer langen Kulturdauer von an die 150 Tage, stellen die Winterradieschen mit einer rund 80-tägigen Kulturdauer, ein „rasch“ wachsendes Wintergemüse dar und scheinen damit vergleichsweise einfach in bestehende betriebliche Strukturen und Anbaupläne integrierbar zu sein. Zudem ist der Ressourceneinsatz auf die Saatgutbeschaffung reduziert, da aufgrund der Anspruchslosigkeit von Radieschen keine zusätzliche Düngung der Felder notwendig ist und auch nicht empfehlenswert scheint, um die Nitratgehalte der Radieschen, die ohnehin höhere Nitratkonzentrationen aufweisen, niedrig zu halten. Selbiges gilt für den Wintersalatanbau (Kupfer und Palme, 2016; Smoleń et al., 2005; Demsar et al., 2004; Craker et al., 1983).

Winterradieschen eignen sich für einen gestaffelten Anbau und können in mehreren Sätzen über den gesamten Winterzeitraum kultiviert werden, auch aufgrund ihrer guten Keimfähigkeit unter niedrigen Temperaturen. Ein Vorteil der Spätkultivierung ist das Fehlen von typischen, tierischen Schädlingen wie Erdflöhen, die beispielsweise in den Sommerversuchen in Wies zu erheblichen Ertragseinbußen führten. Die in dieser Arbeit gesichtete Sorte Stamm P, lieferte in einzelnen Versuchen durchaus zufriedenstellende Erträge, konnte aber mit moderneren Sorten wie Brava F1 oder Rosetta F1 in Bezug auf Uniformität und Ertrag nicht mithalten. Unter optimalen Bedingungen lieferten mehrere Radieschensorten Erträge, die mit denen aus herkömmlichen Anbauperioden gleichzusetzen sind (Depisch et al., 2019).

Im Hinblick auf die innere Qualität der Winterradieschen muss ebenso wie bei den Winterkarotten und -salaten deren signifikant erhöhter Gesamtzuckergehalt positiv hervorgehoben werden, da dieser einen direkten Einfluss auf die Kundenakzeptanz ausübt und wie in der Verkostung von Derndorfer (2018) erhoben wurde, sehr positiv wahrgenommen wurde. Kritisch ist im Zusammenhang mit der inneren Qualität der Winterradieschen deren kurzes Erntefenster zu betrachten, da dieses nur wenige Tage umfasst und Radieschen, die zu spät geerntet werden, rasch an Geschmack und damit Qualität verlieren. Zusätzlich traten durch starke Schwankungen der Anbaubedingungen in den Wintersaisonen 2016-2018, Unterschiede von bis zu drei Wochen hinsichtlich des Erntezeitpunktes der Radieschen auf (Depisch et al., 2019; Derndorfer, 2018).

Bei den weiteren Laboranalysen fiel, ähnlich wie bei den Karotten, der hohe ernährungsphysiologische Wert der Laubmasse auf, die sowohl im Hinblick auf die gesamte antioxidative Kapazität als auch auf weitere Antioxidantien deutlich besser abschnitt, als die Knollen (Gamba et al., 2021; Park et al., 2016; Beevi et al., 2010; Gutiérrez und Perez, 2004). Die Nitratgehalte in den Knollen der Winterradieschen wiesen zwar in Bezug auf die Frischmasse signifikant höhere Konzentrationen im Winteranbau auf, lagen aber insgesamt weit unter den Grenzwerten von Gemüsekulturen, die ähnlich wie Radieschen vermehrt zur Nitratakkumulation neigen (AGES, 2022; Göllner, 2021).

10.3 Wintersalatanbau

Über alle Forschungsvorhaben zum Thema Wintergemüseanbau betrachtet, erweist sich der Wintersalatanbau als besonders herausfordernd. Dies gilt insbesondere für die richtige Sortenwahl und das entsprechende Kulturmanagement hinsichtlich Anbauzeitpunkt, Belüftung und Bewässerung. Unter nicht idealen Voraussetzungen kam es in verschiedenen Salatversuchen zu massiven Ausfällen, hauptsächlich verursacht durch das Auftreten diverser Blattkrankheiten wie Echten & Falschen Mehltau (*Rhizoctonia* und *Botrytis*). Positiv kann festgehalten werden, dass eine große Nachfrage nach regionalen Salaten in der Wintersaison besteht und unter idealen Anbaubedingungen viele verschiedene Salattypen- und Sorten gute Ergebnisse lieferten (Depisch et al., 2019; Kupfer, 2019; Zoubek, 2019; Hampl, 2016; Betz et al., 2015). Dies gilt allerdings nur aus der Sicht eines direktvermarktenden Betriebs. Die

meisten Wintersalate lieferten keine Erträge und zu geringe Stückgewichte, wie sie beispielsweise die Normen des Lebensmitteleinzelhandels verlangen (Destatis, 2022; Swisscofel, 2015; Stohandel, 2014; EU-Verordnung, 2001).

Die Sorte Fortero erwies sich insgesamt als untauglich für den Wintergemüseanbau, aufgrund ihrer über alle Versuchsstandorte betrachtet niedrigen Ertragsleistung, vor allem aber aufgrund ihrer erhöhten Krankheitsanfälligkeit. Über das gesamte Forschungsprojekt „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüseanbau“ wiesen die Batavia-Salate 'Solasia' und 'Ostralie' die vielversprechendsten Ergebnisse aller Wintersalate und verdeutlichen mit hohen Stückgewichten von über 300 g das Potential dieses Wintergemüses (Depisch et al., 2019).

Gerade in Zeiten mit steigenden Temperaturen und zunehmenden Hitzeereignissen, die sich negativ auf den Salatanbau auswirken können bzw. ihn generell erschweren, beispielsweise durch verringerte Kopfbildung, erhöhten Kulturaufwand, sowie durch die Beeinträchtigung der geschmacklichen Qualität durch die vermehrte Bildung von Bitterstoffen unter Hitze- und Trockenstress, müssen alternative Anbauzeiträume für diese Kultur verstärkt in Betracht gezogen werden (Shaban et al., 2016; Maboko und Du Plooy, 2008).

Aus qualitativer Sicht ergeben Wintersalate ein positives Bild. Auch wenn die potentiell problematischen Nitratwerte in den Winterversuchen signifikant höher ausfielen als im Sommeranbau, lagen sie doch weit unter den Grenzwerten für diese Kultur (AGES, 2022; Amtsblatt der Europäischen Union, 2011). Insgesamt kann den Salaten aufgrund ihrer hohen Konzentrationen an antioxidativen Inhaltsstoffen ein höherer ernährungsphysiologischer Wert attestiert werden als oftmals in der Literatur kommuniziert wird (Kosma et al., 2013; Hampl, 2016; Zdravković et al., 2014).

10.4 Qualitätsbestimmende Aspekte des Wintergemüseanbaus

Über alle Untersuchungsparameter und Versuchskulturen hinweg konnten signifikante Unterschiede zwischen dem Sommer- und dem Winteranbau festgestellt werden. Dieser Punkt unterstreicht die grundlegenden Änderungen, die der pflanzliche Stoffwechsel zur Anpassung an verschiedene Stressformen und Anbauphasen durchläuft und deren Auswirkung auf die Zusammensetzung und Konzentration der Metabolite.

Eine in dieser Hinsicht wesentliche Erkenntnis dieser Arbeit ist die verstärkte Einlagerung von Zuckern in der Winterkultur, die sich in signifikant höheren Gesamtzuckergehalten und Gehalten reduzierender Zucker ausdrückte. Wie bereits in *Arabidopsis* unter Laborbedingungen nachgewiesen wurde, ist die erhöhte Synthese von Zuckerverbindungen und weiteren osmotisch aktiven Substanzen ein wesentlicher, überlebenssichernder Prozess im Zuge der Anpassung an Temperaturen unter 0 °C (Rajashekar, 2006; Xin, 2002). Die konnte nun auch für die Kulturen Karotten, Radieschen und Salate unter Praxisbedingungen nachgewiesen werden.

Neben der Zuckersynthese wird ebenfalls die von phenolischen Verbindungen als Anpassung an Froststress hochreguliert. Das Aufgabenspektrum dieser Stoffgruppe ist überaus heterogen. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang ihre Wirkung als antioxidative Komponenten und Osmolyte (Marcussi et al., 2015; Saltveit, 2010; Nilon und Orcutt, 1996). Zudem bilden sie in Zusammenwirkung mit Zuckern und verschiedenen Säuren, die im Rahmen dieser Studie nicht untersucht wurden, die wesentlichsten geschmacksbestimmenden Inhaltsstoffe (Zhou et al., 2019; Vargas-Arcila et al., 2017). Obwohl die Konzentrationen der Gesamtphenole in den Winterkulturen, als Anpassung an die verschiedenen Stressformen einer späten Anbauperiode, in den meisten Versuchen signifikant höher lagen, ist wie im Rahmen der Verkostung von Derndorfer (2018) festgehalten wurde, nicht von einer geschmacklichen oder qualitativen Beeinträchtigung der Wintergemüse auszugehen. Aufgrund ihrer antioxidativen Wirkung auf den menschlichen Organismus sind sie aus ernährungsphysiologischer Sicht als wertevolle Inhaltsstoffe in (Winter-)Gemüsen zu betrachten (Ahmad et al., 2019; Oh et al., 2011; Cano und Arnao, 2005). In Bezug auf die gesamte antioxidative Kapazität können aus dieser Arbeit keine eindeutigen Trends oder Unterschiede zwischen Sommer- und Winterkulturen abgeleitet werden.

Chlorophylle und Karotinoide wurden in den Sommerkulturen erwartungsgemäß als Reaktion auf den erhöhten Strahlungsstress, der mit einer frühen Anbauperiode und erhöhten Temperaturen einhergeht, verstärkt synthetisiert (Oh et al., 2011; Caldwell und Britz, 2006). Ihre Gehalte waren über alle Kulturen hinweg im Großteil der Versuche im Sommeranbau signifikant höher als im Winteranbau.

Die Kombination aus einer verkürzten Photoperiode, niedrigen Temperaturen, die daraus resultierende Reduktion des nitratumbauenden Enzyms Nitratreduktase und die Verlängerung der Anbauperiode, führt insgesamt zu einer signifikanten Zunahme der Nitratkonzentrationen in Wintergemüsekulturen, was auch in dieser Arbeit bestätigt wurde (Khan et al., 2018; Chiesa et al., 2009). Trotz der signifikanten Zunahme weisen die Winterkulturen keine gesundheitsgefährdenden Konzentrationen auf und liegen deutlich unter den Spitzenwerten vergleichbarer Studien von Raczuk et al. (2014) und den staatlichen Richtwerten der EU-Verordnung (2001). Geringere Mengen an Nitraten und Nitriten werden zunehmend mit gesundheitsförderlichen Eigenschaften in Verbindung gebracht (Raczuk et al., 2014; Renseigné et al., 2007).

11. Zusammenfassung und Ausblick

Über alle Versuche dieses Forschungsvorhaben hinweg kann man den Wintergemüseanbau an sich, kurzgesagt als zukünftig erfolgsversprechendes Anbaukonzept bezeichnen. Die Ertragsversuche unterlegen das Potential von Karotten, Salaten und Radieschen für den Anbau in der kalten Jahreszeit. Werden die Voraussetzungen der richtigen Sortenwahl und eines angepassten Kulturmanagements erfüllt, sind die Winterträge mit denen aus herkömmlichen Anbauperioden vergleichbar. Kritisch muss an dieser Stelle jedoch auf die immer noch vorhandenen Unsicherheiten, unabhängig von der jeweiligen Kultur, hingewiesen werden. Gerade durch witterungsbedingte Schwankungen in den Anbaubedingungen sind mehrwöchige Unterschiede bezüglich der Erntereife und auch Ausfälle einzelner Bestände mehrfach beobachtet worden. Dies unterstreicht sowohl den weiteren Forschungsbedarf dieses noch relativ jungen Forschungsgebiets in Bezug auf weitere Sortensichtungen, die eigenständige Züchtung von dezidiert an den Spätherbst und Winter angepasste Sorten, als auch die Abstimmung der konkreten Kulturmaßnahmen an den jeweiligen Standorten.

Aus stressphysiologischer und qualitativer Sicht ergeben die untersuchten Wintergemüse durchaus ein positives Bild. Hervorzuheben sind die durchgängig erhöhten Zuckergehalte in allen Winterkulturen, die für eine positive Kundenakzeptanz relevant sind und dem Marketing dieses neuartigen Produktsortiments ansprechende Möglichkeiten bieten (Derndorfer, 2018). Potentiell problematische Inhaltsstoffe wie Nitrate oder phenolische Verbindungen wiesen im Winter zwar höhere Werte auf, allerdings in keinem qualitätsmindernden oder gesundheitlich bedenklichen Ausmaß. Somit sind die im Rahmen dieser Arbeit angebauten Wintergemüse durchgehend als qualitativ und ernährungsphysiologisch wertvoll zu betrachten.

In einem größeren Maßstab betrachtet ist der Klimawandel ein nicht außer Acht zu lassender Faktor zur verstärkten Umsetzung bzw. Anwendung des Wintergemüseanbaus in Österreich. Die Prognosen der letzten Jahrzehnte bezüglich des verstärkten Aufkommens von Wetterextremen, sei es in Form von zunehmenden Hitzeperioden, Starkregenereignissen, Spätfrösten, um nur einige zu nennen, bestätigen sich und bedeuten für die Landwirtschaft zunehmend unvorhersehbare Produktionsbedingungen, den Anstieg von Ernteaufschlägen, und auch die Verschiebung der bisher idealen Produktionszeiträume. Um diesen noch unvorhersehbaren Entwicklungen vorzugreifen, muss insbesondere die Landwirtschaft prä-

aktiv handeln und sich durch neue Denkansätze und Produktionsmethoden auf eine sich ändernde Umwelt einstellen. Die Aufrechterhaltung des Status Quo wird wegen der immer offensichtlicheren Folgeschäden einer konventionellen, erdölbasierten Landwirtschaft langfristig nicht ausreichen, um eine wachsende Weltbevölkerung nachhaltig zu ernähren und den Herausforderungen neuer Wetter- und Klimaverhältnisse gerecht zu werden. Der extensive Wintergemüseanbau eröffnet das Potential bisher ungenutzte Anbauperioden und Flächen produktiv zu nutzen und den Winter im Gemüsebau als Ernte- und Anbauphase zu integrieren. Zudem bietet die Winterproduktion die Möglichkeit, nationale Importquoten über die kalte Jahreszeit zu reduzieren, damit Transportkosten und Energieeinsätze in den bisherigen Produktionsländern einzusparen, und zu einer Steigerung der Wertschöpfung im Inland beizutragen (Mastilovi et al., 2019; Kupfer und Palme, 2016; Nagarajan und Nagarajan, 2010).

In Bezug auf die nationale und internationale Ausbreitung dieser neuen Anbauform muss festgehalten werden, dass sich landwirtschaftliche Praktiken nur langsam verändern, was eine großflächige österreichische bzw. europaweite Etablierung des Wintergemüseanbau in den nächsten Jahren unrealistisch erscheinen lässt (Palme, 2022). Erfreulich kann an dieser Stelle allerdings festgehalten werden, dass nahezu alle Betriebe, die an dieser Forschungsarbeit und dem übergeordneten Forschungsprojekt „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse“ beteiligt waren, weiterhin Wintergemüse anbauen und dies integral in ihre Betriebe integriert haben.

Zudem wird die Wintergemüseproduktion von Seiten der Praxisbetriebe nicht nur als ökonomisch sinnvolle Ergänzung der bisherigen Praktiken angesehen, sondern dient auch für eine bessere Kundenbindung und als Alleinstellungsmerkmal auf dem kompetitiven Markt landwirtschaftlicher Produkte (Ambrosch, 2019; Lengauer, 2019). Größere Initiativen wie die erstmalige Integration der Wintergemüseproduktion in die Betriebs- und Vertriebsstrukturen der LGV Sonnengemüse, einer der größten landwirtschaftlichen Erzeugerorganisationen Österreichs, deuten auch auf eine zukünftige- und zunehmende Ausbreitung des Wintergemüseanbaus in Österreich hin.

12. Quellenangaben

12.1 Literaturverzeichnis

Abdel C.G. (2010): Leaf performance analysis of four radish (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) cultivars grown in controlled cabinets under varying temperatures and irrigation levels. International Journal of Agricultural Policy and Research, 3(1): 1-28.

AGES – Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (2022): Rückstände & Kontaminanten von A bis Z. Nitrat und Nitrit, 1-7. <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/nitrat-und-nitrit>, 31.5.2022.

Ahmad T., Cawood M., Iqbal Q., Arino A. (2019): Phytochemicals in *Daucus carota* and their Health Benefits—Review Article. Foods, 8: 1-22.

Andres-Lacueva C., Medin-Remón A., Llorach R., Urpi-Sarda M., Khan N., Chiva-Blanch G., Zamora-Ros R., Rotches-Ribalta M., Lamuela-Raventós R. (2010): Phenolic Compounds – Chemistry and Occurrence in Fruits and Vegetables. In: De la Rosa L.A., Alvarez-Parrilla E., González-Aguilar, G.A.: Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability. Singapore. Wiley-Blackwell, 53-88.

Amtsblatt der Europäischen Union (2011): 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.

Arnecken C. (2003): Vergleich von Hybridsorten mit samenfesten Sorten bei Möhren. Zwischenbericht für das Versuchsjahr 2002. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 1-14.

Arneth W., Herold, B. (1988): Nitrat/Nitrit-Bestimmung in Wurstwaren nach enzymatischer Reduktion. Fleischwirtschaft, 68: 761-764.

Arora R., Rowland J. (2011): Physiological research on winter-hardiness: Deacclimation resistance, re-acclimation ability, photoprotection strategies, and a cold acclimation protocol design. Horticultural Science, 40(8): 1070-1078.

Ashraf R., Sultana B., Iqbal M., Mushtaq M. (2016): Variation in biochemical and antioxidant attributes of *Raphanus sativus* in response to foliar application of plant leaf extracts as plant growth regulator. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 14: 1-8.

Baranski R., Allender C., Klimek-Chodacka M. (2012): Towards better tasting and more nutritious carrots: Carotenoid and sugar content variation in carrot genetic resources. *Food Research International*, 47(2): 182-187.

Beevi S.S., Narasu M.L., Gowda B.B. (2010): Polyphenolics profile, antioxidant and radical scavenging activity of leaves and stem of *Raphanus sativus* L. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(1): 8-17.

Benzie I., Strain J. (1996): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1): 70-76.

Bernhold M.T. (2003): Einfluss von Klima und anbautechnischen Maßnahmen auf Gehalt und Verteilung von Nitrat in Möhren. Doktorarbeit. Universität Hannover. 10-30, 51-116.

Betz A., Lengauer D., Palme W., Stopper E., Theurl M. (2015): Winterernte: Saisonaler, energieextensiver und innovativer Gemüseanbau. Projektbericht, 1-86.

Borelli K., Koenig R., Jaeckel B. (2013): Yield of leafy greens in high tunnel winter production in the northwest United States. *Horticultural Science*, 48: 183-188.

Boudsocq M., Sheen J. (2010): Stress signaling II: calcium sensing and signaling. In: Pareek A., Sopory S., Bohnert H., Govindjee A.: *Abiotic stress adaption in plants*. Springer, Dordrecht, 75-91.

Brosche M., Kangasjärvi S., Overmyer K., Wrzaczek M., Kangasjärvi J. (2010): Stress signalling III: reactive oxygen species (ROS). In: Pareek A., Sopory S., Bohnert H., Govindjee A.: *Abiotic stress adaption in plants*. Springer, Dordrecht, 91-103.

Bystricka J., Kavalcova P., Musilova J., Vollmanova A., Toth T., Lenkova M. (2015): Carrot (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.) as source of antioxidants. *Acta agriculturae Slovenica*, 107(1): 303-311.

BVZ - Burgenländische Volkszeitung (2020): Wintergemüse aus Anbauversuch im Handel. <https://www.bvz.at/neusiedl/wallern-im-burgenland-wintergemuese-aus-anbauversuch-im-handel-wallern-wintergemuese-anbau-josef-peck-print-232981646> aufgerufen am 3.5.2022.

Caldwell C.R., Britz S.J. (2006): Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 637-644.

Cano A., Arnao M.B. (2005): Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity in different leaves of three lettuce varieties. *International Journal of Food Properties*, 8(3): 521-528.

Cantliffe D.J., Phatak S.C. (1974): Nitrate accumulation in greenhouse vegetable crops. *Plant Science*, 54(4): 783-788.

Caunii A., Cuciureanu R., Zakar A., Tonea E., Giuchici C. (2010): Chemical composition of common leafy vegetables. *Studia Universitatis*, 20(2): 45-48.

Chiesa A., Mayorga I., Leon A. (2009): Quality of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa* L.) as affected by lettuce genotype, nitrogen fertilization and crop season. *Advanced Horticultural Science*, 23. 143-149.

Chorol S. (2019): Antioxidant content in different parts of Radish (*Raphanus sativus* L.) from cold arid Ladakh region of Trans- Himalaya (Jammu and Kashmir). *Pharmacognosy Journal*, 11(5): 1064-1070.

Ciz M., Cizova H., Denev P., Kratchanova M., Slavov A., Lojrk A. (2010): Different methods for control and comparison of the antioxidant properties of vegetables. *Food Control*, 21(4): 518-523.

Coleman E. (2014): Handbuch Wintergärtnerei: Frisches Biogemüse rund ums Jahr. Innsbruck. Löwenzahnverlag. 1. Auflage, 213pp.

Craker L., Seibert M., Clifford J.T. (1983): Growth and development of radish (*Raphanus sativus* L.) under selected light environments. *Annals of Botany*, 51(1): 59-64.

Croitoru M.D., Fueleop I., Miklos A., Hosszu B. (2015): Presence of nitrate and nitrite in vegetables grown for self-consumption. *Farmacia*, 63(4): 530-533.

Cruz R., Baptista P., Cunha S., Pereira J.A., Casal S. (2012): Carotenoids of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds. *Molecules*, 17(2): 1535-1547.

Degl'Innoocenti E., Pardossi A., Tattini M., Guidi L. (2008): Phenolic compounds and antioxidant power in minimally processed salad. *Journal of Food Biochemistry*, 32(5): 642-653.

Demsar J., Osvald J., Vodnik D. (2004): The effect of light-dependent application of nitrate on the growth of aeroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(4): 570-575.

Depisch A. (2016): Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse. Formblatt, 1-29.

Depisch A., Bartel-Kratochvil R., Derndorfer E., Größ C., Krainz M., Palme W., Spraul R., Theurl M. (2019): Abschlussbericht zum Projekt – Weiterentwicklung Bio Wintergemüse. *Bio Austria*, 2-223.

Derndorfer E. (2018): Sensorik bei Wintergemüse. In: Depisch A., Bartel-Kratochvil R., Derndorfer E., Größ C., Krainz M., Palme W., Spraul R., Theurl M.: Abschlussbericht zum Projekt – Weiterentwicklung Bio Wintergemüse. *Bio Austria*, 180-199.

De Sousa R.S., Rezende R., de Freitas P.S.L., Gonçalves A.C.A., Rezende G.S. (2015): Dry matter production and macronutrient leaf composition in lettuce under fertigation with nitrogen, potassium and silicon. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(12): 1166-1171.

Destatis - Statistisches Bundesamt (2022): Betriebe, Anbauflächen, Erträge und Erntemengen von Gemüse und Erdbeeren 2021. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Obst-Gemuese-Gartenbau/Tabellen/betriebe-anbau-erntemenge-gemuese.html>, 27.5.2022.

Don C.H., Schäfer R., Sauer H. (2011): Radiessorte 'Donar' (S&G) am ertragreichsten - Radies ökologischer Anbau Sorten, Frühhanbau Folienhaus kalt. Versuchsblatt der LVG Heidelberg. 1-2.

Enza Zaden (2016): Kulturanleitung Möhren. <http://www.enzazaden.de/growerservices/tips/moehren.aspx>, 22.5.2016.

EU-Verordnung (2001): Verordnung (EG) Nr. 1543/2001 der Kommission vom 27. Juli 2001 zur Festlegung der Vermarktungsnorm für Salate, krause Endivie und Eskariol. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001R1543:DE:HTML>, 27.5.2022.

Evans J.R., Poorter H. (2001): Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment*, 24(8): 755-767.

Felber A. (2016): Karotten - *Daucus carota*. Kulturanleitung. Landeskammer Niederösterreich. 1.

Galiba G., Kocsy G., Kerepesi I., Vagujfalvi A., Cattivelli L., Sutka J. (2002): Involvement of glutathione and carbohydrate biosynthesis moreover COR14B gene expression in wheat cold acclimation. In: Li P., Palva E.: *Plant cold hardiness – Gene regulation and genetic engineering*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York, 139-161.

Gamba M., Asllanaj E., Raguindin P., Glisic M., Franco O., Minder B., Busslerf W., Metzgerf B., Kern H., Muka T. (2021): Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 113. 205-218.

Gershenson J., Fontana A., Burow M., Wittstock U., Degenhardt J. (2012): Mixtures of plant secondary metabolites: metabolic origins and ecological benefits. In: Iason G., Dicke M., Göllner T.: Nitrat-Gehalt in Gemüse. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit.

<https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/nitrat/index.htm>, 31.5.2022.

Gutezeit B., Fink M. (2000): Einfluss von Sorte und Erntetermin auf den Nitratgehalt von Möhren. Gemüse München, 36(4): 20-21.

Gutiérrez R., Perez R. (2004): *Raphanus sativus* (Radish): Their chemistry and biology. The Scientific World Journal, 4. 811-837.

Hager T.J., Howard L. (2006): Processing effects on carrot phytonutrients. Horticultural Science, 41(1): 74-79.

Hämmerle C. (2018): Winteranbau von *Daucus carota* L. als Bündelware in Vorarlberg. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur, 38-47, 64-69.

Hasinger G. (2009): Bodenprofil für Zinsenhof. Biotagung. Ruprechtshofen, 1.

Hauser T. (2002): Frost sensitivity of hybrids between wild and cultivated carrots. Conservation Genetics, 3. 75-78.

HBLFA Schönbrunn (2019): Wirkungsbereich der Außenstelle Zinsenhof. http://www.gartenbau.at/4_forschung/zinsenhof.html; <http://www.zinsenhof.com>, 5.6.2019.

Herppich W., Mempel H., Geyer M. (2001): Drought and low temperature acclimation in carrot (*Daucus carota* L.) roots. Journal of applied Botany, 75(3): 138-143.

Höhn E., Schärer H., U. Künsch U. (2003): Karottengeschmack – Beliebtheit, Süßigkeit und Bitterkeit. AGRAR Forschung, 10(4): 144-149.

Höhn E., Schärer H., U. Künsch U. (2004): Karotten von der Saat bis zum Teller - Zuckergehalt: Bedeutung und Einflussfaktoren. Der Gemüsebau/Le Maraîcher, 1: 1-5.

Hiba A, Refa't A, Marwan M, Salma A.Q. (2019): Determination of Antioxidant Content and Activity in Eight Jordanian Fresh Green Leafy Vegetables. *Agri Res& Tech. Open Access J.* 2019, 19(4): 1-8.

Humby P., Durnford D. (2006): Photoacclimation: Physiological and molecular responses to changes in light environments. In: Huang B.: *Plant environment interactions*. Boca Raton. Taylor and Francis Group. 3. Auflage, 69-101.

Huang B. (2006): Cellular membranes in stress sensing and regulation of plant adaption to abiotic stress. In: Huang B.: *Plant environment interactions*. Boca Raton. Taylor and Francis Group. 3. Auflage, 1-17.

Hurry V., Druart N., Cavaco A., Gardeström P., Strand A. (2002): Photosynthesis at low temperatures: A case study with *Arabidopsis*. In: Li P., Palva E.: *Plant cold hardiness – gene regulation and genetic engineering*. New York. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 161-181.

Janska A., Marsik P., Zelenkova S., Ovesna J. (2010): Cold stress and acclimation – what is important for metabolic adjustment. *Plant Biology*, 12(3): 395-405.

Jung H.S., Niyogi K. (2006): Molecular Analysis of photoprotection of photosynthesis. In: Demming-Adams B., Adams W., Mattoo A.: *Photoprotection, photoinhibition, gene regulation, and environment*. Dordrecht, Springer, 21, 127-143.

Khan K., Zhengnan Y., Abbas A., He D. (2018): Impact Factors Influencing the Nitrate Accumulation of Leafy Vegetables in Plant Factory. *International Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4(1): 64-73.

Kawahara H., Fujii A., Inoue M., Kitao S., Fukuoka J., Obata H. (2009): Antifreeze activity of cold acclimated japanese radish and purification of antifreeze peptide. *Cryo Letters*, 30(2): 119-131.

Kawamura Y., Uemura M. (2002): Changes in the plasma membrane from *Arabidopsis thaliana* within one week of cold acclimation. In: Li P., Palva E.: Plant cold hardiness – Gene regulation and genetic engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York, 181-195.

Kawamura Y., Uemura M. (2014): Plant low-temperature tolerance and its cellular mechanisms. In: Jenks M.A., Hasegawa P.M.: Plant abiotic stress. Pondicherry. Jon Wiley & Sons, 109-126.

Keutgen A., Pawelzik E. (2007): Modifications of strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10): 4066-4072.

Koricheva J., Barton K. (2012): Temporal changes in plant secondary metabolite production: patterns, causes and consequences. In: Iason G., Dicke M., Hartley S.: The ecology of plant secondary metabolites. Cambridge University Press. New York, 34-56.

Kowalczyk K., Gajc-Wolska J., Marcinkowska M., Jabrucka-Pióro E. (2015): Assessment of quality attributes of endive (*Cichorium endivia* L.) depending on a cultivar and growing conditions. *Acta Sci Pol, Hortorum Cultus*, 14(2): 13-26.

Kosma C., Triantafyllidis V., Papasavvas A., Salahas G., Patakas A. (2013): Yield and nutritional quality of greenhouse lettuce as affected by shading and cultivation season. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(12): 974-979.

Krainz M. (2019): Erarbeitung von geeigneten Verpackungslösungen für Wintergemüse. In: Depisch A., Bartel-Kratochvil R., Derndorfer E., Größ C., Krainz M., Palme W., Spraul R., Theurl M.: Abschlussbericht zum Projekt – Weiterentwicklung Bio Wintergemüse. Bio Austria, 199-224.

Kumar R., Patwa R. (2018): Antioxidant activity of *Raphanus sativus* L. of Jhansi district, Uttar Pradesh, India. *International Journal of Pharmaceutics*, 9(1): 98-102.

Land Steiermark (2017): Deutschlandsberg Klimadaten - ab Jänner 2003. http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/11682476_125083565/4afb10d1/Deutschlandsberg.pdf aufgerufen am 5.6.2019.

Land Steiermark (2019): Spezialkulturen. <http://www.agrar.steiermark.at/cms/ziel/95125/DE/> aufgerufen am 5.6.2019.

Landwirtschaftskammer Wien (2013): Wiener Landwirtschaftsbericht 2013. https://issuu.com/die_information/docs/landwirtschaftsbericht_wien_2013_kl/26 18.5.2016.

Lee B., Kim Y., Zhu J.K. (2002): Molecular genetics of plant responses to low temperatures. In: Li P., Palva E.: Plant cold hardiness – Gene regulation and genetic engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York, 3-17.

LGV (2020): Regional – klimaschonend – nachhaltig: LGV Sonnengemüse kultiviert Winterfrischgemüse. <https://lgv.at/presse/erntebeginn-wintergemuese-2020/#:~:text=Das%20Wintergem%C3%BCse%20ist%20ab%2016,von%20regionalem%20Winterfrischgem%C3%BCse%20in%20%C3%96sterreich.> Aufgerufen am 3.5.2022.

Lichtenhahn M. (1998): Steckbrief Karotten. Forschungsinstitut für biologischen Landbau. Frick, 1-5.

Limantara L., Dettling M., Indrawati R., Hardo T., Brotosudarmo P. (2015): Analysis on the chlorophyll content of commercial green leafy vegetables. *Procedia Chemistry*, 14: 225-231.

Lisko K., Aboobucker S., Raquel Torres., Lorence A. (2014): Engineering elevated Vitamin C in plants to improve their nutritional content, growth, and tolerance to abiotic stress. In: Jetter R.: *Phytochemicals – biosynthesis, function and Application*. Schweiz, Springer, 109-129.

Liu X., Ardo S., Bunning M., Parry J., Zhou K., Stushnoff C., Stoniker F., Yu L., Kendall P. (2007): Total phenolic content and DPPHd radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* (2007), 40 (3): 552-557.

Liu CW., Sung Y., Chen BC., Lai HY. (2014): Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4): 4428-4440.

Maboko M. M., Du Plooy C. P. (2008): Evaluation of crisphead lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) for winter production in a soilless production system. African Journal of Plant Science, 2(10): 113-117.

Mampholo B.M., Maboko M.M., Soundy P., Sivakumar D. (2016): Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. Journal of Food Quality, 39(6): 805-815.

Manivanna A., Kim J.H., Kim D.S., Lee E.S., Lee H.E. (2019): Deciphering the nutraceutical potential of *Raphanus sativus* - A comprehensive overview. Nutrients, 11(2): 402.

Majumder A., Sengupta S., Goswami L. (2010): Osmolyte regulation in abiotic stress. In: Pareek A., Sopory S., Bohnert H., Govindjee A.: Abiotic stress adaption in plants. Springer, Dordrecht, 349-371.

Marcussi F., Costa M.C., De Grandis R., De Syllus C. (2015): Analytical methods applied for the determination of phenolic compounds in lettuce and their antioxidant activity. Academia Journal of Agricultural Research, 3(8): 116-121.

Mech-Nowak A., Świdorski A., Kruczek M., Łuczak I., Kostecka-Gugała A. (2012): Content of carotenoids in roots of seventeen cultivars of *Daucus carota* L. The Journal of the Polish Biochemical Society and of the Committee of Biochemistry and Biophysics, 59(1): 139-141.

Nagarajan S., Nagarajan S. (2010): Abiotic tolerance and crop improvement. In: Pareek A., Sopory S., Bohnert H., Govindjee A.: Abiotic stress adaption in plants. Springer, Dordrecht, 1-15.

Nilsen E., Orcutt D. (1996): Physiology of plants under stress. John Wiley & Sons, Inc. New York. 13pp.

Oh M.-M., Carey E., Rajashekar C.B. (2011): Antioxidant Phytochemicals in Lettuce Grown in High Tunnels and Open Field. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 52(2):133-139.

Oliari I., Umburanas R., Eschemback V., Kawakami K. (2010): Effect of restriction of solar radiation and increases of temperature on the growth of radish plants. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 3(3): 89-94.

Palme W. (2016): Frisches Gemüse im Winter ernten – Die besten Sorten und einfachsten Methoden für Garten und Balkon. Löwenzahnverlag. Innsbruck. 1. Auflage, 54-308.

Park C., Baskar T., Park SY., Kim SJ., Arasu M., Al-Dhabi N., Kim J., Park S. (2016): Metabolic profiling and antioxidant assay of metabolites from three radish cultivars (*Raphanus sativus*). *Molecules*, 21(2): 157-171.

Paschke (2012): Vergleich von Labormethoden zur Messung des antioxidativen Potentials von Pflanzenteilen. Masterarbeit der Universität Neubrandenburg, 2-15, 22-25, 40-56.

Raczuk J., Wadas W., Głozak K. (2014): Nitrates and nitrites in selected vegetables purchased at supermarkets in Siedlce, Poland. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 65(1): 15-20.

Rajashekar C.B. (2006): Molecular responses and mechanisms in plant adaption to cold and freezing stress. In: Huang B.: *Plant environment interactions*. Taylor and Francis Group, Boca Raton, 3. Auflage, 47-69.

Renseigné N., Umar S., Iqbal M. (2007): Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(1): 45-57.

Robles-Sardin A.E., Bolaños-Villar A.V., González-Aguilar G.A., De la Rosa L.A. (2010): Flavonoids and their relation to human health. In: De la Rosa L.A., Alvarez-Parrilla E., González-Aguilar, G.A.: *Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability*. Singapore. Wiley Blackwell, 155-175.

Rock D., Sakata Y., Quatrano R. (2010): Stress signaling I: The role of abscisic acid (ABA). In: Pareek A., Sopory S., Bohnert H., Govindjee A.: *Abiotic stress adaption in plants*. Springer, Dordrecht, 33-75.

Ruelland E., Collin S. (2012): Chilling Stress. In: Shabala, S.: Plant Stress Physiology. CABI, 94-117.

Saltveit M. (2010): Synthesis and Metabolism of Phenolic Compounds. In: De la Rosa L.A., Alvarez-Parrilla E., González-Aguilar, G.A.: Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability. Singapore. Wiley-Blackwell, 89-100.

Sangwan V., Örvar B., Dhindsa R. (2002): Early events during low temperature signaling. In: Li P., Palva E.: Plant cold hardiness – gene regulation and genetic engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 43-55.

Scheidinger M. (2014): Kulturbblatt Karotten. Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg. Thurgau, 1-21.

Schulz-Witte J. (2011): Diversität wertgebender Inhaltsstoffe bei *Daucus carota* L. Doktorarbeit. Julius-Kühn-Institut. Hamburg, 6pp.

Schraick L., Mayerl S. (2018): Sortenentwicklung von Gemüsespezialitäten für Direktvermarkter. Diplomarbeit. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn. Wien, 51-110.

Shaban N., Tzvetkova N., Cherkez R., Parvanova P. (2016): Evaluation of response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to temperature and light stress. Acta Agrobotanica, 69(2): 1-9.

Simko I. (2019): Genetic variation and relationship among content of vitamins, pigments, and sugars in baby leaf lettuce. Food Science and Nutrition, 7(10): 3317-3326.

Simpson K., Quiroz L., Rodriguez-Concepción R., Stange C. (2016): Differential contribution of the first two enzymes of the MEP pathway to the supply of metabolic precursors for carotenoid and chlorophyll biosynthesis in carrot (*Daucus carota*). Frontiers in Plant Science, 7, 1-10.

Singleton V., Rossi J. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. *Journal of Enology and Viticulture*, 16. 144-158.

Sirtautas R., Samuoliene G., Brazaityte A., Duchovskis P. (2011): Temperature and photoperiod effects on photosynthetic indices of radish (*Raphanus sativus* L.). *Žemdirbystė*, 98(1): 57–62.

Smoleń S., Skoczylas L., Rakoczy R., Ledwożyw-Smoleń I. (2005): Selected aspects of nitrogen metabolism and quality of field-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) depending on the diversified fertilization with iodine and selenium compounds. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus = Ogrodnictwo*, 14(5): 159-175.

Solovchenko A. (2010): Photoprotection in plants – Optical screening-based mechanisms. *Springer Series in Biophysics*. Berlin Heidelberg, 14. 9-113.

Souci S., Fachmann W., Kraut H. (2011): *Lebensmitteltabelle für die Praxis*. Freising, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 5. Auflage, 291-300, 453.

Spraul R. (2019): Optimierung der Arbeitsabläufe bezüglich Ernte und Verpackung der Wintergemüsekulturen. In: Depisch A., Bartel-Kratochvil R., Derndorfer E., Größ C., Krainz M., Palme W., Spraul R., Theurl M.: Abschlussbericht zum Projekt – Weiterentwicklung Bio Wintergemüse. *Bio Austria*, 131-180.

Stohandel N. (2014): Salat - Ein Gemüse für jede Jahreszeit. *Haidegger Perspektiven*, 1, 1-4.

Stracke B., Rüfer C., Bub A., Briviba K., Seifert S., Kunz C., Watzl B. (2008): Assessment of the nutritional quality of organic food by quantitating their antioxidative potential. *British Journal of Nutrition*, 101(11): 1664-1672.

Swisscofel – Schweizerische Qualitätsbestimmungen für Gemüse (2015): Kopfsalat *Lactuca sativa* var. *capitata*. https://www.qualiservice.ch/uploads/pdf/Kopfsalat_2015_d.pdf. 27.5.2022.

Talburt S., Smith P. (1987): Spektrophotometrische Bestimmung der Gesamtzucker und reduzierenden Zucker im Pflanzmaterial, 1-4.

Tähtiharju S., Heino P., Palva E. (2002): AtPP2CA negatively regulates ABA responses during cold acclimation and interacts with the potassium channel AKT3. In: Li P., Palva E.: Plant cold hardiness – gene regulation and genetic engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 55-65.

Tiveron A.P., Melo P.S., Bergamaschi K.B., Vieira T.M., Regitano-d'Arce M.A., Alencar S.M. (2012): Antioxidant activity of Brazilian vegetables and its relation with phenolic composition. International Journal of Molecular Sciences, 13(7): 8943-57.

Theurl M.C., Bartel-Kratochvil R. (2019): Innovation „Unbeheiztes Wintergemüse“: ökologisch-ökonomische Analyse unterschiedlicher Gemüsekulturen. Tagungsbeitrag - 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1-4.

Theurl M.C., Hörtenhuber S., Lindenthal T., Palme W. (2017): Unheated soil-grown winter vegetables in Austria: Greenhouse gas emissions and socio-economic factors of diffusion potential. Journal of cleaner production, 151. 134-144.

Trischuk R., Schilling B., Wisniewski M., Gusta L. (2006): Freezing stress: Systems biology to study cold tolerance. In: Madhava Rao, K., Raghavendra, A., Janardhan Reddy, K.: Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer, Dordrecht, 131-155.

Vargas-Arcila M., Cartagena-Valenzuela J., Franco G., Correa-Londoño G.A., Quintero-Vásquez L.M., Gaviria-Montoya C. (2017): Changes in the physico-chemical properties of four lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties during storage. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 18(1): 257-273.

Verslues P.E., Badiger B.G., Ravi K., Nagaraj K.M. (2014): Drought tolerance mechanisms and their molecular basis. In: Jenks M.A., Hasegawa P.M.: Plant abiotic stress. Jon Wiley & Sons, Pondicherry, 15-38.

Versuchsanlage ZINSENHOF (2019): Aufgabenbereich.
<https://www.zinsenhof.com/aufgabenbereich/> aufgerufen am 5.6.2019.

Veziņa L., Ferullo J.M., Laliberte G., Laberge S., Willemot C. (1997): Chilling and freezing. In: Prasad M.N.V.: Plant ecophysiology. John Wiley & Sons, Inc. New York, 61-101.

Vietmeier A. (2019): Möhrenfliege an Möhren. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster.
<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/pflanzenschutz/hausgarten/gemuese/moehrenfliege.htm> aufgerufen am 2.2.20.

Wang H., Yamauchi A. (2006): Growth and function of roots under abiotic stress in soils: Plant environment interactions. Taylor and Francis Group, Boca Raton, 3. Auflage, 271-321.

Warren G., Thorlby G., Bramke I. (2002): Mutants Deficient in Cold Hardiness: What can they reveal about freezing tolerance? In: Li P., Palva E.: Plant cold hardiness – Gene regulation and genetic engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 17-33.

Warschun M., Rucker M., Glusac S., Günther D. (2013): Regional ist gefragter als Bio. ATKearney Lebensmittelstudie, 1-8.

Wellburn A. (1994): The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal Plant Physiology, 144(3): 307-313.

Wellinger R., Buser H., Krauss J., Theiler R. (2006): Karotten: Anbau, Erntezeitpunkt und Lagerung. AGRAR Forschung, 13(10): 412-417.

Wisniewski M., Fuller M., Glenn D., Gusta L., Duman J., Griffith M. (2002): Extrinsic ice nucleation in plants: What are the factors involved and can they be manipulated? In: Li P., Palva E.: Plant cold hardiness – Gene regulation and genetic engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 211-223.

Xin Z. (2002): Molecular cloning of ESKIMO1 gene of Arabidopsis reveal novel mechanism of freezing tolerance. In: Li P., Palva E.: Plant cold hardiness – Gene regulation and genetic engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 33-43.

Yahia E.M., Ornelas-Paz J. (2010): Chemistry, stability and biological action of carotenoids. In: De la Rosa L.A., Alvarez-Parrilla E., González-Aguilar, G.A.: Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability. Wiley-Blackwell, Singapore. 177-222.

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2019): Stationsinformationen Deutschlandsberg. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch> aufgerufen am 5.6.2019.

Zhang D., Hamazu Y. (2004): Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota* L.). Journal of Food Agriculture and Environment, 2(1): 1-7.

Zhou W., Liang X., Dai I., Chen Y., Zhang Y., Zhang M., Lu L., Jin C., Lin X. (2019): Alteration of phenolic composition in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) by reducing nitrogen supply enhances its anti-proliferative effects on colorectal cancer cells. International Journal of Molecular Sciences, 20(17): 4205.

12.2 Verzeichnis der geführten Interviews

Ambrosch A. (2019): Interview zum Thema Wintergemüseanbau vom 8.8.2019

Kupfer J., Palme W. (2016): Interview zum Thema Wintergemüseanbau vom 25.2.2016.

Kupfer J. (2019): Interview zum Thema Wintergemüseanbau vom 5.6.2019.

Lengauer D. (2019): Interview zum Thema Wintergemüseanbau vom 5.6.2019.

Palme W. (2019): Interview zum Thema Wintergemüseanbau vom 5.6.2019.

Palme W. (2022): Interview zu aktuellen Entwicklungen im Wintergemüseanbau seit 2019 vom 12.5.2022.

Zoubek S. (2019): Interview zum Thema Wintergemüseanbau vom 1.8.2019.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Doktorarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht. Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln mit der Note „nicht genügend“ (ohne Möglichkeit einer Nachbesserung oder Wiederholung) geahndet wird und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

Diese Arbeit wurde neben der gedruckten Version auch auf CD-Rom zur Prüfung der o.g. Erklärung bei der zuständigen Prüferin/dem zuständigen Prüfer hinterlegt.

(Ort und Datum)

(Unterschrift)

Danksagung

Nach vielen intensiven Forschungsjahren möchte ich mich in aller erster Linie bei meiner gesamten Familie bedanken. Liebe Mama, ohne deine Fürsorge und deinen Antrieb vor allem in jungen Jahren, hätte ich niemals eine akademische Laufbahn eingeschlagen, die so viele schöne Erfahrungen & Begegnungen mit sich gebracht hat. Lieber Franz, liebe Omi auch euch beiden gilt mein ewiger Dank.

Lieber Wolfgang, auch du warst während dieses Projekts eine der wichtigsten Personen für mich, unsere Auswertungstouren inklusive Staus, Frost und Schlammlöchern werde ich nie vergessen.

Danke auch an alle Betriebsleiterinnen, die das Wintergemüseprojekt so leidenschaftlich umgesetzt haben und unsere Arbeit vor Ort erst ermöglichten.

Weiterer Dank gilt den Versuchsleiterinnen und Gärtnerinnen der Versuchsstationen Zinsenhof und Wies, die an der Umsetzung der Versuche maßgeblich beteiligt waren und ohne deren kontinuierlichen Einsatz viele Parzellen im Wasser, Unkraut etc. versunken wären.

Liebe Heike, auch wenn wir uns manchmal uneinig waren, möchte ich mich bei dir herzlich für deine fortwährende Unterstützung im Labor bedanken. Durch dich habe ich wirklich viel über die korrekte Arbeitsweise in Laboratorien gelernt.

Insbesondere möchte ich mich bei meiner Betreuerin Frau Professor Keutgen und besonders bei meinen Betreuern Herrn Professor Kaul und Herrn Dozent Dr. Keutgen für die fortwährende Unterstützung, für die Bereitstellung der Mittel und das Verständnis in schwierigen Phasen herzlich bedanken.

Anhänge

Interviews

Interview Wintergemüseanbau – von Frau Dipl. Ing. Anna Ambrosch, Betriebsleiterin des Bio-Bauerhofs „Jaklhof“ (Stmk), vom 8.8.2019

Liebe Betriebsleiter & Versuchsleiterinnen,

ich möchte mich zum Abschluss meiner Doktorarbeit für die gute Zusammenarbeit über die letzten drei Jahre bedanken und wende mich mit einer letzten Bitte an euch. Für die Fertigstellung möchte ich euch um ein letztes Interview zum Thema Wintergemüse bitten und hoffe Ihr findet die Zeit um meine Fragen zu beantworten!

Vielen Dank im Voraus – Stefan Marxer

Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichsten Herausforderungen / praktischen Umsetzungsprobleme der Winterproduktion?

- Noch größere Witterungsabhängigkeit als im Sommerhalbjahr
- Bei warmen Wintern geht vieles an Gemüse in Blüte, bevor es erntefähig ist
- Bei warmen Wintern kann sich sogar innerhalb einer Woche die Erntefähigkeit ein und desselben Gemüses erheblich verändern
- Regelmäßige Ernte bei einer anhaltenden Kälteperiode, wenn es in die Tunnel hineinfriert und das Gemüse nicht auftaut
- Eine relativ hohe Kohllastigkeit, die Fruchtfolgen sehr schwierig macht

Welche Kulturarten & Sorten haben sich anbautechnisch besonders bewährt – welche werden von Kundinnen besonders nachgefragt?

- Jungzwiebel und Jungknoblauch
- Junge Karotten – Sorte Milan
- Radieschen – Sorte Celesta, Rosetta, samenfest Sora
- Salat – offene Batavia grün und rot
- Asiasalate, Winterportulak, Winterkresse
- Pak Choi, Tatsoi

- Brokkoli – Sorte Santee
- Fenchel- Sorte Fino
- Radicchio – Variegata di Lusina, Castelfranco
- Rucola – Sorte Coltivata
- Koriander, Petersilie, Kerbel als frische Kräuter

Welche Art von Tunnel/Folien/Kalthaus nutzen Sie – welche sind aus Ihrer Sicht besonders für den Winteranbau geeignet?

- Rundbogentunnel und Folienhäuser Götsch Fäschle, alle mit Doppelfolie, die Doppelfolie ist ein Schlüssel zum erfolgreichen Wintergemüseanbau
- Im Winter werden die Giebelfronten mit Strohballen gedämmt

Welche Kulturmaßnahmen sind im Winteranbau Voraussetzung für eine erfolgreiche (gute Erträge) Produktion?

- Ein mäßiges Gießmanagement
- Konsequentes Lüftungsmanagement
- Kräftige und gesunde Jungpflanzen, wo möglich pflanzen statt säen
- Jungpflanzen sollten zum Einwurzeln eine wärmere Periode haben

In welchem Ausmaß (l/m²) gestalten Sie die Bewässerung von Winterkulturen – bitte anhand eines konkreten Beispiels erläutern?

- Normalerweise werden die Winterkulturen nach dem Pflanzen oder Säen kräftig eingegossen, je nach Witterung nach etwa einer Woche nochmals und dann kann es sogar sein, dass die Kultur bis zur Ernte nichts mehr braucht.
- Ich habe die Liter noch nie gemessen, würde aber sagen, so etwa 5 bis 10 Liter am m².
- Bewässerung enorm von den Witterungsverhältnissen abhängig, eher trocken besser als zu feucht.

Nennen Sie bitte konkrete Beispiele für die Integration von Wintergemüse in Ihre Fruchtfolgen.

- Werden bei uns im Folientunnel überall integriert:
- Sommergemüse (Gurken) – Vogersalat – Asiasalat – Mangold oder Spinat fürs zeitige Frühjahr
- Sommergemüse (Kürbis) – Kohlrabi – Karfiol – Brokkoli für die Dezemberernte-Jänner Vogersalat- Spinat, Mangold,
- Sommergemüse (Paradeiser) – Radieschen – Pak Choi- Tatsoi- Stielmus-Spinat für Weihnachten- Jungzwiebel- Jungknoblauch – Jänner Salate für März
- Stangenbohnen Sommer – Salate für Dezember- und Februarernte

Welche Satzstaffelungen sind für Sie im Winteranbau interessant?

- Bei Asiasalaten und Vogersalat gibt es bis zu 7 Sätze über den Winter, Beginn mit Pflanzen Ende September, Ernteende Ostern
- Bei Salaten drei Sätze für Ernte November und Dezember, für Februar, für März und April
- Bei Jungzwiebel drei Sätze, Freiland für zeitiges Frühjahr, Tunnel für Ernte Dezember und Ernte Februar, März
- Brokkoli 1 Satz im Folientunnel und 1 Satz im Freiland
- Grünkohl 3 Sätze Freiland
- Pak Choi, Tatsoi: zwei Sätze Freiland, zwei Sätze Folientunnel, für Spätherbst und Dezember, ab Jänner nur mehr Schossgefahr

Welche Erntephase (Mitte Dezember & Februar/März) ist aus Ihrer Sicht für den Winteranbau besonders geeignet?

- Mitte Dezember ist wesentlich einfacher als Februar/März, aber Frisches im Februar/März ist auch sehr willkommen, im Februar/März ist alles kleiner, leichter als im Dezember und schießt je nach Witterung sehr leicht.

Welche Rolle spielen Schädlinge im Winteranbau auf Ihrem Betrieb – bitte sofern vorhanden aufzählen?

- Wühlmäuse, Schnecken, Blattläuse
- Durch die Kohllastigkeit und die warmen Winter dehnen sich die Schadfenster von Kohlerdfloh, Kohlwanze und Rübsenblattwespe aus.
- Rehe müssen mit Zaun ferngehalten werden, sie lieben ansonsten das Wintergemüse!

Wie beurteilen Sie das Marktpotential von Wintergemüse im Allgemeinen und den Kosten/Nutzenfaktor für Ihren Betrieb konkret?

- Für unseren Betrieb ist es ein wichtiges Standbein, denn so viel Frisches im Winter ist für unsere Ernteteilskisterln eine Stärke, auch wenn wir nicht mit Gewicht punkten können.
- Es ist nicht alles rentabel, aber durch die Vielfalt gibt es eine Ausgewogenheit zwischen Kosten und Nutzen!

Sonstige Anmerkungen: Danke für Deine Unterstützung und alles Gute für den Abschluss Deiner Masterarbeit!

Interview Wintergemüseanbau – von Herrn Ing. Johann Kupfer, stellvertretender Leiter der Abteilung Gemüsebau der HBLFA Schönbrunn, vom 21.5.2019

Liebe Betriebsleiter & Versuchsleiterinnen,

ich möchte mich zum Abschluss meiner Doktorarbeit für die gute Zusammenarbeit über die letzten drei Jahre bedanken und wende mich mit einer letzten Bitte an euch. Für die Fertigstellung möchte ich euch um ein letztes Interview zum Thema Wintergemüse bitten und hoffe Ihr findet die Zeit um meine Fragen zu beantworten!

Vielen Dank im Voraus – Stefan Marxer

Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichsten Herausforderungen / praktischen Umsetzungsprobleme der Winterproduktion?

- Wärme und damit Wachstum extrem wetterabhängig, erlaubt keine verbindliche Lieferzusagen.
- Luftfeuchtigkeit durch viel Lüften geringhalten, in langen Nebelphasen ist nur Lüften leider nicht ganz ausreichend, vor allem wenn die Temperatur über +4°C liegt (Pilzkrankheiten wie F. Mehltau und Botrytis)

Welche Kulturarten & Sorten haben sich anbautechnisch besonders bewährt – welche werden von Kundinnen besonders nachgefragt?

- Radieschen, Blattgemüse (Offene Salate, Schnittsalate, Asiasalate, Vogerlsalat, Bundkarotten, etwas Winterportulak und Mangold)

Welche Art von Tunnel/Folien/Kalthaus nutzen Sie – welche sind aus Ihrer Sicht besonders für den Winteranbau geeignet?

- Tunnel mit Doppelfolieneindeckung und durchgehender Seitenlüftung

Welche Kulturmaßnahmen sind im Winteranbau Voraussetzung für eine erfolgreiche (gute Erträge) Produktion?

- Sortenwahl
- sparsames Gießen mit vollkommener Abtrocknung in den nächsten Stunden

- Lüften wegen der Luftfeuchtigkeit (lieber kalt als ein Runtertropfen von der Folie)

In welchem Ausmaß (l/m²) gestalten Sie die Bewässerung von Winterkulturen – bitte anhand eines konkreten Beispiels erläutern?

- Liter nicht gemessen, aber selten und stark und nur nach Wetterbericht am Vormittag, wenn Abtrocknung am selben Tag gesichert ist
- November: alle 2- 3 Wochen
- Dezember und Jänner: 1 x Monat
- Februar: alle 2 – 3 Wochen

Nennen Sie bitte konkrete Beispiele für die Integration von Wintergemüse in Ihre Fruchtfolgen.

- Nach den Hauptkulturen in allen Häusern Versuche mit allem was Aussicht auf Winterernte und Verkaufsfähigkeit erwarten lässt.

Welche Satzstaffelungen sind für Sie im Winteranbau interessant?

- Salat, danach Radieschen
- Radieschen, danach Salat

Welche Erntephase (Mitte Dezember & Februar/März) ist aus Ihrer Sicht für den Winteranbau besonders geeignet?

- Ich betrachte beide als gleichwertig

Welche Rolle spielen Schädlinge im Winteranbau auf Ihrem Betrieb – bitte sofern vorhanden aufzählen?

- Blattläuse, vor allem auf Salat, ab Februar

Wie beurteilen Sie das Marktpotential von Wintergemüse im Allgemeinen und den Kosten/Nutzenfaktor für Ihren Betrieb konkret?

- Für die Direktvermarktung (und nur hier!) sehr hohes Potential.

- Tunnel steht normalerweise im Winter, aber leer. Keine Heizkosten. Kosten nur für Saatgut (sehr gering), fast keine Wasser- und Verpackungskosten; nur die Arbeitskosten (gering für Aussaat/ Pflanzung, mäßig für Beikraut Regulierung und Ernte)

Sonstige Anmerkungen

- Wenn mal auf die Besonderheiten einer Winterkultur eingearbeitet eigentlich stressfreier als die Sommerkultur. Voraussetzung: automatische Sturmablüftung weil die Lüftung ja sehr viel offen sein soll. Außerdem vielleicht noch Stress mit der Wasserversorgung (Einfrieren der Armaturen – also Leitungen nach dem Gießen entleeren).

Interview Wintergemüseanbau – von Herrn Stefan Zoubek, Geschäftsführer des Bio-Hofs „ADAMAH“ (NÖ), vom 1.8.2019

Liebe Betriebsleiter & Versuchsleiterinnen,

ich möchte mich zum Abschluss meiner Doktorarbeit für die gute Zusammenarbeit über die letzten drei Jahre bedanken und wende mich mit einer letzten Bitte an euch. Für die Fertigstellung möchte ich euch um ein letztes Interview zum Thema Wintergemüse bitten und hoffe Ihr findet die Zeit um meine Fragen zu beantworten!

Vielen Dank im Voraus – Stefan Marxer

Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichsten Herausforderungen / praktischen Umsetzungsprobleme der Winterproduktion?

- Früh genug zu räumen, dass die Kulturen groß genug in den Winter gehen.
- Schöne Tomaten schon Anfang September räumen. (oder Sogar schon Mitte August, wenn es sein muss)

Welche Kulturarten & Sorten haben sich anbautechnisch besonders bewährt – welche werden von Kundinnen besonders nachgefragt?

- Rucola wird mit Abstand am meisten nachgefragt.
- Andere Sachen gehen auch ganz gut.
- Nicht gut geht Hirschhornwegerich, Sauerampfer, Blutampfer.

Welche Art von Tunnel/Folien/Kalthaus nutzen Sie – welche sind aus Ihrer Sicht besonders für den Winteranbau geeignet?

- Prinzipiell je höher desto besser, da einfach ein besseres Klima für die Pflanzen da ist. (für nasse Tage immer besser eine durchgängige Lüftung zu haben, einfach mehr Lüftungsfläche)
- In schneereichen Gebieten sind einschiffige Häuser sicher von Vorteil, da zwischen den Häusern der Schnee vom Dach geräumt werden kann, was bei mehrschiffigen Häusern sehr schwer ist.
- Aber es reicht auch sicherlich ein Minitunnel, welcher auch schon Wunder wirken kann. So lange die Pflanze im Winter von Wind und Nässe geschützt ist, geht es ihr einfach viel besser.

Welche Kulturmaßnahmen sind im Winteranbau Voraussetzung für eine erfolgreiche (gute Erträge) Produktion?

- Gute Erträge sind immer sehr abhängig von der Witterung, wann wie viel Sonne scheint. Die Herausforderung die Pflanzen heil durch dunkle, nasse Phasen zu bekommen.
- Viel Lüften, besser eine Woche früher Pflanzen/Anbauen als eine Woche zu spät. (kann 4 Wochen spätere Ernte bedeuten)
- Bewässerung sparen!!! Wasser braucht die Pflanze immer nur wenn sie auch genügend Licht hat!

In welchem Ausmaß (l/m²) gestalten Sie die Bewässerung von Winterkulturen – bitte anhand eines konkreten Beispiels erläutern?

- Konkretes Beispiel will ich gar nicht nennen da jedes Jahr etwas anders ist.
- Wichtig gut eingießen, erst wieder bewässern, wenn der Boden grau wird.
- Sobald die Pflanzen größer sind kann man den Boden auch austrocknen lassen...
- Hin und wieder kann es passieren, dass wir 3 Monate nicht bewässern.
- Aber ein Bewässerungsgang mit Nebeldüsen, dauert bei uns ca. 30min, sodass überall eine gute Verteilung ist.

Nennen Sie bitte konkrete Beispiele für die Integration von Wintergemüse in Ihre Fruchtfolgen.

- Fruchtfolgen habt ihr schon alle von uns. Bitte selbst raussuchen. Besten Dank!
;)

Welche Satzstaffelungen sind für Sie im Winteranbau interessant?

- Wir haben eigentlich nicht viele Sätze, sondern nur Kulturen welche wir regelmäßig ernten können.
- Und wenn wir jede Woche bisschen etwas schneiden sollte es wieder nachgewachsen sein, wenn wir den Satz durchgeschnitten haben.
- Rucola, Asia, Petersilie ... je ein Satz für den ganzen Winter bis März.

Welche Erntephase (Mitte Dezember & Februar/März) ist aus Ihrer Sicht für den Winteranbau besonders geeignet?

- Februar März, da es schon lange kein heimisches grün mehr gegeben hat.
- Im Dezember gibt es noch viel, Zuckerhut, Endivie, Frisée, Kraut, Kohl usw.
- Jänner Februar ist dann nicht mehr viel da, ist daher auch immer der Zug auf der

Ware immer besser.

Welche Rolle spielen Schädlinge im Winteranbau auf Ihrem Betrieb – bitte sofern vorhanden aufzählen?

- Pilzkrankheiten sind vorwiegend problematisch: Botrytis, Sklerotien, Mehltau (falsch und echt), Rhizoctonia

- Insekten kommen meist erst im April

Wie beurteilen Sie das Marktpotential von Wintergemüse im Allgemeinen und den Kosten/Nutzenfaktor für Ihren Betrieb konkret?

- Für die Auslastung der Mitarbeiter sehr gut, da einige auch das ganze Jahr bei uns arbeiten wollen.

- (aber auch nicht so gut, Chef hat jetzt auch im Winter weniger Pause, weil immer was los ist) ;)

- Kundenfang und Kundenbindung wichtig auch für den Sommer, wenn dann mehr Ware da ist.

- Nutzen sehr gut - Kosten betrachte ich sehr gemischt.

- Wir steigen sicherlich nicht negativ aus, aber es muss auch gut aufgepasst werden.

- Da wegen den ungünstigen Bedingungen, die Arbeitskosten sehr schnell explodieren können, ist es hin und wieder besser Kulturen umzubrechen als sie mühsam zu ernten und zu pflegen.

- Außerdem sind oft praktische Maschinen fürs Freiland im Folientunnel nicht mehr anwendbar. (Tunnel zu klein) Auch erhöhte Pflege kosten.

- Unkraut jäten im Winter schwieriger als im Sommer, da die Unkräuter nicht vertrocknen und regelmäßig wieder anwurzeln.

- Daher oft besser der Abtransport vom Feld. (sehr aufwendig) :/

- Aber alles hat seine Vor- und Nachteile.

Interview Wintergemüseanbau – von Frau Dipl. Ing. Doris Lengauer, Bereichsleiterin der Versuchsstation für Spezialkulturen Wies (Stmk), vom 21.5.2019

Liebe Betriebsleiter & Versuchsleiterinnen,

ich möchte mich zum Abschluss meiner Doktorarbeit für die gute Zusammenarbeit über die letzten drei Jahre bedanken und wende mich mit einer letzten Bitte an euch. Für die Fertigstellung möchte ich euch um ein letztes Interview zum Thema Wintergemüse bitten und hoffe Ihr findet die Zeit um meine Fragen zu beantworten!

Vielen Dank im Voraus – Stefan Marxer

Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichsten Herausforderungen / praktischen Umsetzungsprobleme der Winterproduktion?

- dadurch, dass die Witterungsverhältnisse nie jedes Jahr dieselben sind, können keine Fixtermine für Aussaaten empfohlen werden. Um Erntesicherheit zu haben, ist ein satzweiser Anbau notwendig

Welche Kulturarten & Sorten haben sich anbautechnisch besonders bewährt – welche werden von Kundinnen besonders nachgefragt?

- die Konsumenten sind den Vogerlsalat gewöhnt, Alternativen dazu werden gerne angenommen, aber auch Gemüse, das es üblicherweise bei uns im Winter sonst nicht gibt wird begeistert angenommen (Bundzwiebel, Karotten)

- Asiasalate werden gerne im Mix mit Schnittsalaten konsumiert, pur weniger

Welche Art von Tunnel/Folien/Kalthaus nutzen Sie – welche sind aus Ihrer Sicht besonders für den Winteranbau geeignet?

- Folientunnel mit Doppelwand, nicht beheizt

Welche Kulturmaßnahmen sind im Winteranbau Voraussetzung für eine erfolgreiche (gute Erträge) Produktion?

- geeignete Sortenwahl
- ausreichendes Lüften
- sparsames Gießen

In welchem Ausmaß (l/m²) gestalten Sie die Bewässerung von Winterkulturen – bitte anhand eines konkreten Beispiels erläutern?

- nach Pflanzung Überkopfbewässerung: 20 min – ca. 3l /m²
- nach 2-3 Wochen erneut
- danach im Kulturverlauf weitere 2 – 3-mal

Nennen Sie bitte konkrete Beispiele für die Integration von Wintergemüse in Ihre Fruchtfolgen.

- Sommer: Paradeiser
- Winter: Baby Leaf, Asiasalate, Spinat
- Sommer: Ingwergewächse

Welche Erntephase (Mitte Dezember & Februar/März) ist aus Ihrer Sicht für den Winteranbau besonders geeignet?

- laufend, ich würde beim Erntefenster nicht nur auf vor Weihnachten oder Februar abzielen. Wesentlich ist, das kontinuierliche Angebot. Eventuell mit Highlights ähnlich der Spargelsaison: „es gibt wieder Winterkarotten“ (im Dezember)

Welche Rolle spielen Schädlinge im Winteranbau auf Ihrem Betrieb – bitte sofern vorhanden aufzählen?

- im Freiland bei Karotten mit Abdeckung – Mäuse
- im Freiland bei Karotten ohne Abdeckung weniger Probleme
- im geschützten Anbau: teilweise Schnecken

Wie beurteilen Sie das Marktpotential von Wintergemüse im Allgemeinen und den Kosten/Nutzenfaktor für Ihren Betrieb konkret?

- Das Marktpotential von Wintergemüse schätze ich als hoch ein, da vermehrt der Wunsch nach einheimischer Ware bei den Konsumentinnen vorherrscht. Darüber hinaus könnte man mit dem geringen Energieaufwand, der dahintersteckt, werbetechnisch punkten.
- Wintergemüse erweitert das Sortiment enorm, dadurch kann ich als Betriebsleiterin die Kunden auch im Winter besser an mich binden.
- Sehr viele Kulturen sind öfter beerntbar und bringen daher höhere Erträge und höheres Einkommen. Nachteil dabei: Kulturarbeiten sind auch über die Wintermonate regelmäßig notwendig.

Sonstige Anmerkungen

Es braucht noch:

- laufende Sortenversuche bei den Winterkulturen
 - Überzeugungsarbeit bei den steirischen Betrieben, sich auf Neues einzulassen (Fachveranstaltungen, Artikel, ...)
 - Gespräche mit dem LEH, Bereitschaft „echtes“ Wintergemüse anzubieten
 - Fachinformationen auch für Konsumenten (Werbung, Artikel, Kochkurse, ...)
- um sie noch weiter zurückzuführen zu saisonalem Konsum und Genuss.

Interview mit Herrn Ing. Johann Kupfer und Herrn Dipl. Ing. Wolfgang Palme zum Thema Wintergemüse, vom 25.1.2016

1. Welche Leitgedanken stehen hinter dem Projekt Winterernte: Saisonaler, Energie-extensiver und innovativer Gemüseanbau?

Es handelt sich um ein auf mehrere Institutionen aufgeteiltes Gemeinschaftsprojekt. Beteiligt sind sowohl staatliche als auch private Betriebe. Von staatlicher Seite sind folgende Einrichtungen involviert: Gartenbauschule Langenlois, Versuchsstation für Spezialkulturen – Wies, HBLFA Gartenbau Schönbrunn, BIO AUSTRIA, Universität für Bodenkultur und FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau Österreich) Österreich. Als private Partner konnten Biobauern aus ganz Österreich gewonnen werden, dabei sind die Biohöfe Achleitner, Adamah, Ambrosch, Feldinger, Haitzmann, Stockenhuber, und der Biobetrieb TIAN bio-naturfair.

Ziel der Kooperative ist die Erforschung und praktische Entwicklung des Gemüseanbaus über die Wintermonate. Untersucht werden die genaue Satzstaffelung, sowie nötige Kulturmaßnahmen zur optimalen Bestandsführung und die innere Qualität der Produkte. Diese bisher ungenützte Periode soll als produktiver Zeitraum genutzt werden und weitestgehend ohne den Einsatz fossiler Energieträger auskommen. Der extensive Anbau einer Vielzahl verschiedener Gemüsearten wird im realen Erwerbsanbau getestet. Als Ergebnis soll einerseits der Landwirt ein zusätzliches Einkommen generieren und sein Sortiment inklusive Kundenstamm erweitern können und andererseits der Kunde neue Angebote erhalten, die ihm eine regionales, (biologisches) und vor allem frisches Produkt anbieten, dass es in dieses Jahreszeit bisher nur aus ausländischer Produktion gibt.

2. In Österreich werden durch das kooperative Projekt zum Wintergemüseanbau erstmals im größeren Rahmen Methoden zur extensiven Produktion regionaler Lebensmittel erprobt – wie aktuell ist dies Thematik in anderen EU Länder bzw. wo gehört der extensive Wintergemüseanbau zur gängigen Praxis?

In Ländern mit vergleichbaren klimatischen / geographischen Voraussetzungen (Deutschland, Schweiz, Tschechien, Ungarn) ist das Thema Wintergemüseanbau weitestgehend unbekannt. Es gibt lediglich kleine Einzelbetriebe die auch über die

Wintermonate Gemüse anbauen. Im größeren Maßstab gibt es kein vergleichbares Unterfangen wie das hiesige Wintergemüseprojekt.

3. Für welche Betriebsstrukturen eignet sich der extensive Winteranbau besonders – welche Voraussetzungen sind notwendig?

Prinzipiell eignet sich der Wintergemüseanbau für alle Betriebsarten (Bio und Konventionell) und Betriebsgrößen. Bisher wurde in eher kleineren Dimensionen angebaut um das Risiko zu verringern, da die Abläufe (Satztermine, Lüftungs- und Wassermanagement) noch nicht erprobt sind. Die Bewegung will organisch wachsen um Fehler zu vermeiden.

Die wichtigste Voraussetzung am Betrieb ist das Vorhandensein eines Gewächshauses egal ob aus Glas oder Folie. Das Gewächshaus sollte im Idealfall elektronisch steuerbar sein um die notwendige Belüftung zu gewährleisten.

4. Welche Hindernisse stehen dem Winteranbau ihrer Meinung nach am meisten im Weg und warum gehört diese Anbauform nicht zur gängigen Praxis?

Eines der entscheidendsten Hindernisse ist der weit verbreitete Denkansatz, dass der Winter nicht zum Gemüseanbau genutzt werden kann. Altes Wissen zu diesem Thema ist verloren gegangen.

Da sich die Expertise noch im Anfangsstadium befindet ist die Umsetzung am Betrieb mit einem Risiko verbunden. Ein gewisses Maß an Eigeninitiative und Mut gehören in der Anfangsphase dazu. Investitionen für Saatgut, Jungpflanzen und Arbeitseinsatz sind notwendig und bei Neueinsteigern mit einem Risiko verbunden. Intensive Betreuung von Beratern kommt hinzu.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass wenn die Abläufe ausgereift sind, der Wintergemüsebau als lohnende Ergänzung zur bisherigen Praxis funktioniert.

Ebenso gab es Betriebe, die keine guten Erfahrungen gemacht haben und oder den Winter aus planerischen Gründen für andere Zwecke nutzen bzw. ruhen lassen.

5. Welche Kulturmaßnahmen sind zur optimalen Bestandsführung besonders zu beachten – erklärt am Beispiel von Karotten, Endivien und Babyleafsalaten?

Für Karotten und andere Wurzelgemüse ist vor allem der rechtzeitige Aussaattermin zu beachten. Generell gilt nicht zu früh und auf keinen Fall zu spät ansetzen.

Beim Blattgemüse ist neben Aussaat/Pflanztermin vor allem das richtige Lüftungsmanagement zu beachten. Ebenso gilt es die Kulturen über die Monate im Folientunnel/haus so trocken wie möglich zu halten.

Am Beispiel des Zinsenhofs wird das Belüftungsmanagement erläutert:

Der mobile Rolltunnel wird nach Temperaturwerten gesteuert – ab einer Außentemperatur (oder innen) von $\sim 5^{\circ}\text{C}$ werden die Fenster geschlossen bzw. geöffnet.

Das zweite verwendete System im anderen Folienhaus orientiert sich an festgelegten Grenzwerten bei Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Unter 90% Luftfeuchtigkeit orientiert sich die Anlage an der Temperaturgrenze von 16°C . Darunter wird geschlossen, darüber belüftet. Überschreitet die Luftfeuchtigkeit die 90% Marke wird das Folienhaus automatisch belüftet.

6. Inwieweit erwarten sie, im Vergleich zu den gleichen Sommerkulturen, Änderungen bei den untersuchten Inhaltsstoffen?

- Vitamin C: geringer durch weniger (UV) Einstrahlung
- lösliche Zucker: Zunahme durch vermehrte Einlagerung als Frostschutz und verringerte Umsetzung von Zuckern zu Stärke unter 5°C
- Carotinoide & Phenole: geringer durch weniger (UV) Einstrahlung
- Trockenmasse: Zunahme durch lange Verweilzeit am Feld = stärkere Faserung

7. Wie sehen sie die Zukunft des Wintergemüseanbaus in Österreich?

Sehr positiv, da das Interesse von Landwirten, Handelspartnern (Anfragen von Billa, Spar) und Kunden sehr stark ist und mit einem zunehmenden Bekanntheitsgrad der Thematik weiter steigen wird. Die Geschichte hinter dem Wintergemüse eignet sich ideal für heutige Marketingzweck.

Wetterdaten des Versuchsstandorts Zinsenhof für die Jahre 2016, 2017 und 2018
(Versuchsanlage Zinsenhof, 2022)



Temperaturstatistik 2016

Jahr	Monat	Durchschnitts- temperatur	Frosttage weniger als 0 Grad	Kalte Tage bis 10 Grad	Sommertage über 25 Grad	Heiße Tage über 30 Grad
2016	Jänner	-0,74	23	28	0	0
	Februar	4,92	12	12	0	0
	März	5,53	13	11	1	0
	April	10,16	6	1	6	1
	Mai	15,05	0	0	16	10
	Juni	19,81	0	0	23	17
	Juli	21,34	0	0	26	22
	August	19,53	0	0	24	21
	September	16,93	0	0	19	12
	Oktober	9,52	0	3	2	0
	November	3,71	14	23	0	0
	Dezember	1,11	22	29	0	0
	Gesamt	10,59	90	107	117	83

Temperaturstatistik 2017

Jahr	Monat	Durchschnitts- temperatur	Frosttage weniger als 0 Grad	Kalte Tage bis 10 Grad	Sommertage über 25 Grad	Heiße Tage über 30 Grad
2017	Jänner	-4,26	29	30	0	0
	Februar	2,74	19	17	0	0
	März	8,18	8	3	2	0
	April	9,33	3	4	6	1
	Mai	16,65	0	0	21	13
	Juni	21,21	0	0	27	25
	Juli	21,46	0	0	26	21
	August	20,67	0	0	21	19
	September	13,81	0	0	5	0
	Oktober	10,95	0	1	3	0
	November	4,99	8	22	0	0
	Dezember	1,24	18	23	0	0
	Gesamt	10,82	85	100	111	79

Temperaturstatistik 2018

Jahr	Monat	Durchschnitts- temperatur	Frosttage weniger als 0 Grad	Kalte Tage bis 10 Grad	Sommertage über 25 Grad	Heiße Tage über 30 Grad
2018	Jänner	2,69	7	18	0	0
	Februar	-1,37	17	20	0	0
	März	2,04	15	13	0	0
	April	13,73	0	1	11	8
	Mai	18,3	0	1	19	10
	Juni	20,15	0	0	16	13
	Juli	21,67	0	0	27	26
	August	21,14	0	0	26	21
	September	15,88	1	1	18	9
	Oktober	10,99	1	3	5	0
	November	6,01	11	13	1	0
	Dezember	1,07	13	25	0	0
	Gesamt	11,02	65	95	123	87

Wetterdaten des Versuchsstandorts Wies, Deutschlandsberg für die Jahre 2016, 2017 und 2018
(ZAMG, 2019)

2016

Monatsauswertung

Deutschlandsberg

Lufttemperatur

Parameter / Monat	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
Mittelwert der Lufttemperatur um 07 MEZ (°C)	-3.7	1.6	2.8	9.1	13.4	17.7	19.6	17.3	13.8	6.3	2.5	-3.2	8.1
Mittelwert der Lufttemperatur um 14 MEZ (°C)	3.6	8.4	10.4	16.4	18.9	23	25.8	23.9	22.8	13.1	8.2	4.1	14.9
Mittelwert der Lufttemperatur um 19 MEZ (°C)	-0.5	4.9	7.1	13.1	16.2	19.9	22.4	19.6	16.8	9.1	4.8	-0.4	11.1
Mittelwert der Lufttemperatur (°C)	-1.1	4.2	5.8	11.5	14.8	18.9	21.2	18.9	16.5	8.7	4.5	-0.7	10.3
mittleres Maximum der Lufttemperatur (°C)	4.3	9.2	11.5	18.3	20.4	24.7	27.1	25.1	23.6	14	8.9	4.8	16
mittleres Minimum der Lufttemperatur (°C)	-4.5	0.9	1.6	5.7	9.3	13.4	15.8	13.5	11.8	5.3	1.7	-3.9	5.9
absolutes Max. der Lufttemperatur (°C)	17.2	19.2	23.1	25.4	29.1	31.7	31.4	29.6	28.6	24.6	18	12.8	31.7
absolutes Min. der Lufttemperatur (°C)	-10.2	-3.3	-2.1	-2.5	2.3	10.1	10.3	6.1	5.7	-0.7	-7.1	-9.5	-10.2
Tag des absoluten Maximums der Lufttemperatur	28	1	31	5	29	24	2	4	12	1	22	2	-
Tag des absoluten Minimums der Lufttemperatur	19	12	18	26	16	3	15	12	23	13	30	31	-

2017

Monatsauswertung

Deutschlandsberg

Lufttemperatur

Parameter / Monat	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
Mittelwert der Lufttemperatur um 07 MEZ (°C)	-8.2	-0.5	4	7.9	13.9	18.6	18.9	18.4	11.5	6.2	1.5	-2.2	7.5
Mittelwert der Lufttemperatur um 14 MEZ (°C)	-1.3	6.5	14.7	15	20.7	24.8	26.3	26.4	17.2	17.4	8.1	4.3	15
Mittelwert der Lufttemperatur um 19 MEZ (°C)	-4.9	3.3	9.9	11.4	18	21.8	22.8	21.8	13.7	10.3	4.4	0.1	11
Mittelwert der Lufttemperatur (°C)	-5.7	2.3	8	10.1	16	20.4	21.1	20.7	13.4	10.1	3.9	-0.1	10
mittleres Maximum der Lufttemperatur (°C)	-0.7	7.6	15.8	16.5	22.5	27.1	28.1	28.1	18.6	18.4	8.9	5.2	16.3
mittleres Minimum der Lufttemperatur (°C)	-9	-1.1	2.3	4.4	9.4	14.2	14.6	14.7	9.8	5.2	0.8	-3.5	5.1
absolutes Max. der Lufttemperatur (°C)	5.3	14.3	22	23.6	30.3	34.1	33.1	34.7	25.5	24.3	16.7	15.7	34.7
absolutes Min. der Lufttemperatur (°C)	-16.1	-6.5	-3	-3.7	4	5.2	9.7	7.1	5	0.1	-4.7	-10.2	-16.1
Tag des absoluten Maximums der Lufttemperatur	1	3	29	10	30	23	10	4	14	5	5	12	-
Tag des absoluten Minimums der Lufttemperatur	11	1	13	21	11	8	16	22	21	31	28	10	-

2018

Monatsauswertung

Deutschlandsberg

Lufttemperatur

Parameter / Monat	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
Mittelwert der Lufttemperatur um 07 MEZ (°C)	-0.2	-3.4	-0.4	11.4	15.3	18.2	19.2	19	13.5	7.9	5.3	-2	8.7
Mittelwert der Lufttemperatur um 14 MEZ (°C)	5.3	1	6.3	20.1	20.6	23.6	25.6	26.6	22.2	17.1	8.9	4.3	15.1
Mittelwert der Lufttemperatur um 19 MEZ (°C)	2	-0.9	3.6	15.4	17.6	20.5	22.7	21.9	16.1	11.1	6.5	0.1	11.4
Mittelwert der Lufttemperatur (°C)	1.7	-1.5	2.3	14	16.8	19.6	21.1	21.1	16.1	10.9	6.5	0	10.7
mittleres Maximum der Lufttemperatur (°C)	6.2	2	7.2	21.6	22.9	25.5	27.3	28.2	23.3	17.8	9.5	4.8	16.4
mittleres Minimum der Lufttemperatur (°C)	-1	-3.9	-1.1	7.8	11.5	14.1	15.3	15.4	11.6	6.9	4.5	-3	6.5
absolutes Max. der Lufttemperatur (°C)	15.9	11.1	15.6	27.9	27.4	31.5	32.2	33.5	28.8	22.2	19.8	13.1	33.5
absolutes Min. der Lufttemperatur (°C)	-4.5	-18.3	-17.5	0.8	7.5	7.3	11.5	7.5	0.1	2.8	-4.6	-9.9	-18.3
Tag des absoluten Maximums der Lufttemperatur	29	1	13	22	28	21	31	9	12	6	11	4	-
Tag des absoluten Minimums der Lufttemperatur	20	28	1	2	16	23	8	27	26	1	30	16	-

