

Universität Kassel

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Studiengang Ökologische Landwirtschaft

Masterarbeit

Zum Thema

**Sichtung von verschiedenen Sorten *Calendula officinalis* L. in
unterschiedlichen Bodenklimaräumen in Hinblick auf pflanzenbauliche
Eigenschaften, Wirkstoffgehalte und Blüteneigenschaften**

1. Prüfende: Prof. Dr. Miriam Athmann
Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau

2. Prüfende: Prof. Dr. Fabian Weber
Fachgebiet Ökologische Lebensmittelqualität

Vorgelegt von

Christina Mühlenbrock (geb. den 22.01.1999, Castrop-Rauxel)
Matrikelnummer: 35690159

Witzenhausen, 15.12.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aktueller Forschungsstand.....	2
2.1	Arznei- und Gewürzpflanzen.....	2
2.2	<i>Calendula officinalis</i> L.	3
2.2.1	Botanik	3
2.2.2	Züchtung und Sorten.....	4
2.2.3	Anbau	5
2.2.4	Wirtschaftliche Kennzahlen zum Ringelblumenanbau in Deutschland	6
2.2.5	Nutzung und wertgebende Inhaltsstoffe.....	7
2.3	Forschungsfragen	11
3	Material und Methoden	12
3.1	Versuchsstandorte	12
3.2	Versuchsdesign	15
3.2.1	Faktor Sorte.....	16
3.3	Versuchsdurchführung.....	17
3.3.1	Aussaat und Pflege	17
3.4	Datenerfassung.....	18
3.5	Statistik und Auswertung	24
4	Ergebnisse	25
4.1	Pflanzenbauliche Eigenschaften.....	25
4.1.1	Feldaufgang	25
4.1.2	Pflanzenhöhe	27
4.1.3	Mehltaubefall	31
4.1.4	Ertrag.....	33
4.1.5	Sortenspezifische, pflanzenbauliche Eigenschaften	34
4.2	Blüteneigenschaften	35
4.2.1	Gefülltheitsgrad	35
4.2.2	Blütendurchmesser	38
4.2.3	Blütenscheibendurchmesser.....	38
4.2.4	Zungenblütenfarbe	40
4.2.5	Farbhomogenität	43
4.2.6	Röhrenblütenfarbe.....	45
4.2.7	Durchwachsene Zungenblüten	46

4.2.8	Sortenspezifische Blüteneigenschaften	49
4.3	Wirkstoffgehalte	50
4.3.1	Standortvergleich	50
4.3.2	Sortenvergleich	52
4.3.3	Einfluss von Gefülltheitsgrad und Erntezeitpunkt.....	53
4.4	Sortenfazit.....	54
5	Diskussion.....	56
5.1	Pflanzenbauliche Eigenschaften.....	56
5.2	Blüteneigenschaften	57
5.3	Wirkstoffgehalte	58
5.4	Methodische Herausforderungen	59
5.5	Ausblick.....	60
6	Abstract.....	61
7	Fazit	62
	Danksagung	63
	Literaturverzeichnis	64
	Anhang.....	71
	Eidesstattliche Erklärung.....	83

Abkürzungsverzeichnis

AuG	Arznei- und Gewürzpflanzen
aq. Dest.	Aqua Destillata
DAS	Tage nach Aussaat
dt	Dezitonne
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V.
ha	Hektar
k.A.	keine Angaben
m ü. NN	Meter über Normal-Null
MW	Mittelwert
nm	Nanometer
N _{min}	mineralisierter Stickstoff
RB	Röhrenblüten
STABW	Standardabweichung
TM	Trockenmasse
v.l.n.r.	von links nach rechts
vs.	versus
WAS	Wochen nach Aussaat
ZB	Zungenblüten

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Farblithographie von <i>Calendula officinalis</i> L. (Köhler 1887).	3
Abb. 2: Die verschiedenen Samenformen von <i>Calendula officinalis</i> L. (Kasielke 2010).	4
Abb. 3: Strukturmodelle von Lutein (links) und Zeaxanthin (rechts) (Schäfer 2017).	10
Abb. 4: Strukturmodell Phenol (Quelle: Mortimer und Müller 2014).	10
Abb. 5: Lage der Versuchsstandorte (grün) innerhalb Deutschlands (eigene Darstellung auf Basis von Weltkarte.com (2023)).	12
Abb. 6: Klimadiagramme der vier Versuchsstandorte (v.l.n.r.: Standort 1, 2, 3, und 4) bzw. örtlicher Wetterstationen. Monate Januar bis November aus 2023. Dezember aus 2022. Datengrundlagen bildeten Daten vom LHL (2023) (Standort 1), Wetterkontor (2023a-c) (Standort 2-3). Grafiken auf Grundlage von Westermann (2023).	14
Abb. 7: Fotos der fünf ausgewählten Sorten (v.l.n.r.): 1, 2, 3 (Pharmasaat 2023a-c), 4 (SALUS 2023) und 5 (Chrestensen 2023).	16
Abb. 8: Zeitspannen, in denen Feldbonituren, Pflegemaßnahmen und Ernten durchgeführt worden sind (eigene Darstellung).	18
Abb. 9: Beispielhafte Parzellenansicht inklusive Boniturrahmen (eigene Darstellung).	20
Abb. 10: Feldaufgang (Pflanzen m ⁻¹) je Standort. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	25
Abb. 11: Feldaufgang (Pflanzen m ⁻¹) je Sorte. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	26
Abb. 12: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	27
Abb. 13: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 2. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	28
Abb. 14: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 3. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	29
Abb. 15: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 4. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	30
Abb. 16: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 2. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$). Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.	31
Abb. 17: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 4. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$). Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.	32
Abb. 18: Ertrag [g TM m ⁻²] je Standort und je Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben unterschieden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	33

Abb. 19: Relativer Anteil (%) der Boniturnoten für den Parameter Gefülltheitsgrad der Sorte 3 je Standort (v.l.n.r. Standort 1, 2, 3, 4).	35
Abb. 20: Carotinoidgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Standort, Sorte 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	50
Abb. 21: Polyphenolgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Standort, Sorte 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	51
Abb. 22: Carotinoidgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Sorte, Standort 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	52
Abb. 23: Polyphenolgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Sorte, Standort 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).	53
Abb. 24: Versuchsplan Standort 3 (eigene Darstellung).	71
Abb. 25: Versuchsplan Standort 1 (eigene Darstellung).	71
Abb. 26: Versuchsplan Standort 2 (eigene Darstellung).	72
Abb. 27: Versuchsplan Standort 4 (eigene Darstellung).	73
Abb. 28: Maßnahmenplan mit Ernteterminen, Pflegemaßnahmen und Bonituren je Standort und Sorte (eigene Darstellung).	74
Abb. 29: Ergänzende Abbildungen aus dem Boniturskatalog von Schäfer (2017) (eigene Darstellung nach Schäfer 2017).	75
Abb. 30: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 1. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$). Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.	79
Abb. 31: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 3. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$). Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.	80
Abb. 32: Polyphenolgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Probenkategorie, Sorte 1, Standort 1.	81
Abb. 33: Carotinoidgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Probenkategorie, Sorte 1, Standort 1.	81
Abb. 34: Carotinoidgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Erntezeitpunkt, Sorte 1, Standort 1.	82
Abb. 35: Polyphenolgehalt ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ TM) je Erntezeitpunkt, Sorte 1, Standort 1.	82

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: <i>Calendula officinalis</i> L.: Wirkstoffgruppen, Wirkstoffe und deren Anteil (%) (angelehnt an Isaac 1992 und Wichtl 2009).....	8
Tab. 2: Zusammensetzung der Carotinoide in gelben und orangefarbenen Ringelblumenblüten (Quelle: Goodwin 1954; Tóth und Szabolcs 1981; Isaac 1992).	9
Tab. 3: Phenolcarbonsäuren in <i>C. officinalis</i> (Quelle: Isaac 1992).	11
Tab. 4: Bodenparameter je Standort (eigene Darstellung).	14
Tab. 5: Versuchsanlagen - Eckdaten der vier Standorte (eigene Darstellung).	15
Tab. 6: Überblick über die ausgesäte Saatgutmenge pro Sorte (eigene Darstellung).	17
Tab. 7: Übersicht der zu erhebenden Parameter (eigene Darstellung).	18
Tab. 8: Boniturskatalog für die Blütenbonitur (eigene Darstellung, angelehnt an Schäfer 2017). (ergänzende Bilder in Abb. 29, Anhang).	21
Tab. 9: Pflanzenbauliche Eigenschaften je Sorte, wobei - geringe Werte und + hohe Werte kennzeichnet. (*für Parameter mit Standort:Sorte-Interaktion gilt: + = Anzahl Orte mit höchstem Wert; - = Anzahl Orte mit niedrigstem Wert).	34
Tab. 10: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen des Parameters Gefülltheitsgrad je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Standort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.	36
Tab. 11: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den drei Boniturstufen zum Parameter Blütendurchmesser je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.	38
Tab. 12: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den drei Boniturstufen zum Parameter Blütenscheibendurchmesser je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.	39
Tab. 13: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen zum Parameter Zungenblütenfarbe je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.	41
Tab. 14: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen zum Parameter Farbhomogenität je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.	44

Tab. 15: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den drei Boniturstufen zum Parameter Röhrenblütenfarbe je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.	45
Tab. 16: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen zum Parameter durchwachsene Zungenblüten je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.	47
Tab. 17: Übersicht der Blüteneigenschaften je Sorte (+ = voll/groß/dunkel/viele; - = ungefüllt/klein/hell/wenige)	49
Tab. 18: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).	76
Tab. 19: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).	77
Tab. 20: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).	78
Tab. 21: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).	79
Tab. 22: FM, TM (g m ⁻²) und Eintrocknungsverhältnisse je Standort und Sorte.	80

1 Einleitung

Der Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen (AuG) hat eine lange Tradition (Adam und Hoppe 2009). Gleichzeitig kann der heimische Anbau von AuG den Bedarf in Deutschland nicht decken, weswegen Großteile der Ware importiert werden (Mielke und Schöber-Butin 2007, Dachler und Pelzmann 2017a). Ein gesteigerter Anbau wäre daher wünschenswert, doch dabei mangelt es an Wissen über den Einfluss des Anbaus und der Sortenwahl auf die Qualität der Drogen (Heeger 1989, FNR 2023a).

Die Ringelblume (*Calendula officinalis* L.) als eine der bedeutendsten AuG hat ein breites Nutzungsspektrum. Ihr großes phytotherapeutisches Potenzial wurde vielfach beschrieben. Grundlage für die Gewinnung von hochwertigen Blütendrogen ist neben der richtigen Ernte- und Anbautechnik, auch die Nutzung qualitativ hochwertiger Sorten. Für die Gewinnung der Calendula-Blütendroge werden bisher Zierpflanzensorten genutzt (Isaak 1992, Novak und Blaschek 2013). Eine gezielte Züchtung hinsichtlich Inhaltsstoffen wäre daher wünschenswert. Auch finden sich in der Literatur Hinweise darauf, dass es Einflüsse der Bodenklimaräume auf den Wirkstoffgehalt gibt (Sausserde und Kampuss 2014), sodass dieser Zusammenhang in Hinblick auf die agronomischen Aspekten untersucht werden sollte.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen daher Sortenbeschreibungen für fünf Ringelblumensorten zu pflanzenbaulichen Eigenschaften, Wirkstoffgehalten und Blüteneigenschaften erstellt werden. Dabei liegt der Fokus der Untersuchungen auf den Unterschieden, die sich aus der Sortenwahl ergeben. Gleichzeitig soll der Einfluss der verschiedenen Bodenklimaräume auf die Qualitätsparameter und die pflanzenbaulichen Eigenschaften untersucht werden.

2 Aktueller Forschungsstand

2.1 Arznei- und Gewürzpflanzen

AuG werden in fünf Kategorien eingeteilt. Dazu zählen Blütendrogen, Körnerdrogen, Krautdrogen, Wurzeldrogen und Blattdrogen (BLE 2020). Ihr Anbau hat eine lange Tradition. Erste Aufzeichnungen beschreiben den Anbau von Küchenkräutern im Erzgebirge im Jahre 1716 (Adam und Hoppe 2009).

AuG werden in geringen Mengen durch Wildsammlungen gewonnen. Der systematische Anbau von Arzneipflanzen bietet neben den höheren Erträgen den Vorteil, dass die Qualität des Erntegutes sowie die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Inhaltsstoffe relativ konstant und reproduzierbar ist. Auch Verunreinigungen durch Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle sind im Feldanbau leichter zu vermeiden. Ursprünglich dienten vor allem Klostergärten der Kultivierung von AuG. Bis heute werden deren Anbau und Wirkungsweise untersucht (FNR 2023a).

Über die Marktsituation von AuG sind nur wenige fragmentarische und teilweise widersprüchliche Informationen zu finden. Schätzungen zufolge betrug das weltweite Handelsvolumen von AuG 2007 rund 83 Mrd. US\$. Die Umsatzzahlen für Phytopharmaka sind dabei leicht steigend. Europa, Asien und Nordamerika sind weltweit die größten Absatzmärkte. Innerhalb Europas führen Deutschland, Frankreich und Italien den Absatzmarkt an (Dachler und Pelzmann 2017a). Gleichzeitig werden Phytopharmaka von wachsenden regulatorischen Anforderungen und konkurrierenden Produktgruppen (z. B. Nahrungsergänzungsmitteln) verdrängt (Armbrüster und Roth-Ehrang 2021).

Der Anbau von AuG in Deutschland machte 2003 mit 10.149 ha (davon 704 ha ökologisch) nur einen geringen Anteil der landwirtschaftlichen Produktion aus. Dabei wurden AuG 2003 zu 70% in Thüringen, Hessen, Niedersachsen und Bayern angebaut. Der Anbau von Kamille (>1000 ha), Lein (500-1000 ha) und Pfefferminze (100-500 ha) hatte dabei den größten Flächenanteil (Hoppe 2005). Im Jahr 2020 wurden von 406 Betrieben auf insgesamt 1.737 ha Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen in ökologischer Qualität angebaut. Für Baden-Württemberg werden die Wachstumspotenziale des ökologischen AuG-Anbaus in den nächsten fünf Jahren insgesamt als „unverändert“ bis „leicht zunehmend“ erwartet (Gebhardt 2022).

In der Züchtung bilden AuG einen lange vernachlässigten Bereich. Gegenwärtig stehen die Ertragsleistung und -sicherheit im Vordergrund. Weitere Zuchtziele sind kulturspezifisch, wie beispielsweise Winterhärte, Dauer des Auflaufens, Trockenheitsresistenz und die

Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten, Schädlingen und Beikraut. Wertgebende Inhaltsstoffe sollen in ausreichender, möglichst konstanter Menge in den Pflanzen enthalten sein (Heeger 1989). Auch die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) beschreibt weiteren Forschungsbedarf bei der Inkulturnahme neuer Arten, der züchterischen Optimierung, Verfahrenstechniken zu Anbau, Ernte, Trocknung und Bekämpfung von Schaderregern (FNR 2023a).

2.2 *Calendula officinalis* L.

2.2.1 Botanik

Die Ringelblume (*Calendula officinalis* L.) gehört zur Familie der Korbblütler (*Asteraceae*) (Wichtl 2009) (Abb. 1). Sie ist eine einjährig, selten auch zweijährig überwinternde, krautige Pflanze, die 30-50 cm hoch wird. Der an der Basis verholzte Stängel bildet weiter oben Verzweigungen mit wechselständigen Laubblättern. Die Blätter der Ringelblume sind weiter oben länglich-lanzettlich, 10-15 cm lang und 3-4 cm breit, weiter unten sind sie eher spatelförmig. Sie haben einen überwiegend glatten, teilweise auch gezähnten Rand und sind leicht behaart (Isaac 1992).



Abb. 1: Farblithographie von *Calendula officinalis* L.
(Köhler 1887).

Die korbformigen Blüten haben einen Durchmesser von 4-7 cm und sind hellgelb- bis dunkelorange. Seltener sind auch Zungenblüten zu finden, die an den Spitzen rot gefärbt sind (Tucker 2007). Sie bilden sich jeweils an der Spitze eines Stängels und bestehen aus einem Hüllkelch, Zungenblüten und Röhrenblüten. Während die Röhrenblüten zwittrig, aber unfruchtbar sind, sind die Zungenblüten rein weiblich und für die Bildung der Fruchtkörper verantwortlich. Gefüllte Sorten haben mehrere Kreise von Zungenblüten, während ungefüllte Sorten nur ein bis zwei Reihen aufweisen (Isaac 1992). Die Ringelblume blüht von Mai bis zum ersten Frost, teilweise bis in den November (Isaac 1992). Die Blüten reagieren auf Sonnenlicht. Sie öffnen sich vormittags um neun Uhr und beginnen sich ab 15 Uhr zu schließen (John und Samaha 2007).

Die Früchte der Ringelblume sind einseitig gekrümmt, teilweise geflügelt und rückseitig mit Dornen versehen (Isaac 1992). Es werden verschiedenförmige Samen gebildet (Heterokarpie). Hierzu gehören Ringel-, Haken- und Kahnfrüchte (Abb. 2) (Novak und Blaschek 2013). Aufgrund der Heterokarpie kann das Tausendkorngewicht der Ringelblume schwanken (Isaac 1992).



Abb. 2: Die verschiedenen Samenformen von *Calendula officinalis* L. (Kasielke 2010).

Die Ringelblume bildet eine etwa 20 cm lange Pfahlwurzel aus, welche von starken Seitenwurzeln (ca. 7 mm) und Faserwurzeln ergänzt wird (Isaac 1992). Ihren Ursprung hat die Ringelblume wahrscheinlich im Atlasgebiet, im Nordwesten Afrikas. Ihr heutiges Verbreitungsgebiet wird im Norden durch die Alpen, im Osten durch Iran, im Süden durch die Sahara und im Westen durch die Azoren begrenzt (Nordlindh 1977, Isaac 1992).

2.2.2 Züchtung und Sorten

Für den Anbau werden vorwiegend gefüllt blühende Sorten mit dottergelb- bis tieforangefarbenen Blüten gewählt (Dachler und Pelzmann 2017b). Spezielle Züchtungen gibt es für die Gewinnung von Calendula-Blüten nicht, weswegen Sorten aus dem

Zierpflanzenbereich gewählt werden müssen (Isaak 1992, Novak und Blaschek 2013). Ursprüngliche Sorteneigenschaften der Ringelblume sind zahlreiche, kleine Blüten und ein einfacher Zungenblütenkreis. „Moderne“ Sorten sind zumeist gefüllt blühend und haben große, hellgelbe bis dunkelorange-farbige Zungenblüten (Novak und Blaschek 2013). Ein wichtiges Zuchtziel bei der Ringelblume ist eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber Echtem Mehltau, da dieser zu großen Ernteverlusten führt (Marquard und Kroth 2001, SALUS 2023). Geläufige Sorten sind unter anderem: 'Balls Orange', 'Erfurter Orange-farbige' und 'Orange King' (Isaak 1992, Dachler und Pelzmann 2017b). Die Züchtungen von *Calendula* sind sehr vielfältig. So beschreibt Bown in seiner Übersicht unter anderem die Sorten 'Greenheart Orange', 'Nana Citrus Cocktail' und 'Pink Surprise', die alle ein sehr unterschiedliches Aussehen haben (Bown 2007).

2.2.3 Anbau

Standortansprüche

Die Ringelblume ist ein eher anspruchsloses Gewächs. Gut geeignet sind leicht erwärmende, lockere Böden (Lenchés 1992). Auch auf Lehm- und Moorböden gedeiht sie. Sie ist zwar wenig kälteempfindlich, neigt jedoch zu Mehltaubefall und sollte daher nicht zu feucht stehen (Dachler und Pelzmann 2017b). Auf sandigen Standorten ist eine Bewässerung sinnvoll, da bei Trockenheit mit einem Ertragsrückgang gerechnet werden muss (Novak und Blaschek 2013).

Aussaat

Die Aussaat sollte zwischen März und Juli erfolgen. Dabei gehen aus der Literatur sehr unterschiedliche Empfehlungen für die Saatstärke, von 5-8 kg ha⁻¹ (Isaac 1992) bis 12-15 kg ha⁻¹ (Marquard und Kroth 2001) hervor. Die Saattiefe sollte bei 2 cm liegen (Dachler und Pelzmann 2017b). Isaac empfiehlt einen Reihenabstand von 30-70 cm. Aufgrund der gekrümmten Form des Saatguts wird die Nutzung der kleinsten Früchte, der Ringelfrüchte empfohlen (Isaac 1992, Novak und Blaschek 2013). Die optimale Keimtemperatur beträgt 8-10 °C (Lenchés 1992). Je nach Bedingungen läuft das Saatgut nach 10-14 Tagen auf (Marquard und Kroth 2001, Mielke und Schöber-Butin 2007, Novak und Blaschek 2013).

Pflegemaßnahmen

Meist kommt es zu einem schnellen Bestandsschluss, was zu einer Beikrautunterdrückung führt. Es ist aber auch eine mechanische Beikrautbekämpfung in der Jugendphase möglich (Dachler und Pelzmann 2017b). Die bedeutendste Krankheit der Ringelblume ist der Echte Mehltau (*Sphaerotheca fuliginosa*), der vorwiegend im August auftritt. Durch diesen kann die Neubildung der Blüten bis zu 40 % reduziert werden (Marquard und Kroth 2001). Folglich wird

eine frühe und häufige Ernte empfohlen (Richter 2007). Gelegentlich tritt außerdem die Blattfleckenkrankheit (*Cercospora beticola* Sacc.) auf. Seltener kommen Saugschäden durch Blattläuse vor (Dachler und Pelzmann 2017b).

Dachler und Pelzmann (2017b) empfehlen im Bioanbau eine Gabe von 15 – 20 t ha⁻¹ Stallmist. Eine zu hohe Stickstoffzufuhr kann den Blütenansatz reduzieren. Insgesamt sollten Grenzen von 40-60 kg N ha⁻¹, 60-80 kg P₂O₅ ha⁻¹ und 80-100 kg K₂O ha⁻¹ bei Grundbodenbearbeitung im Herbst und vor der Aussaat nicht überschritten werden (Novak und Blaschek 2013).

Eine Bewässerung wird nur bis zur Blütenbildung empfohlen. Ergänzend sollte flach gehackt werden. Auch eine Mulchdecke ist sinnvoll, um Wasserverluste zu minimieren (Dachler und Pelzmann 2017b).

In der Kulturpflege kann zur mechanischen Beikrautregulierung eine Roll(-stern-)hacke oder Schar-(Teleskop-)hacke sowie eine Bügelhacke verwendet werden. Eine chemische Beikrautregulierung ist unwirtschaftlich und nicht empfehlenswert (Marquard und Kroth 2001). Für den Anbau sollten Sorten mit einer gleichmäßigen Abreife, hohen Blütenerträgen und Ausfallfestigkeit gewählt werden (Marquard und Kroth 2001).

Ernte und Trocknung

Die Blüten der Ringelblume werden von Juni bis August geerntet. Dabei werden die Blütenköpfchen, bei händischer Ernte, ein- bis zweimal pro Woche geerntet. Eine maschinelle Ernte ist mit umgebauten Kamillenpflückgeräten möglich, erfordert jedoch eine möglichst homogene Reife und ausreichend Abstand zwischen Blatt- und Blühhorizont. Insgesamt fördert eine regelmäßige Ernte die Neubildung von Blüten (Marquard und Kroth 2001, Dachler und Pelzmann 2017b). Die Trocknung sollte möglichst schonend bei maximal 40-50 °C erfolgen. Das Eintrocknungsverhältnis beträgt dabei 7-8:1. Die Literaturangaben zum Ertrag unterscheiden sich. Laut Dachler und Pelzmann (2017b) liegt der Köpfchenertrag bei 180-250 g TM m⁻². Laut Martin und Deo (2000) liegt der Zungenblütenantrag bei einer Saatstärke von 12 kg ha⁻¹ bei 89 g TM m⁻². Richter (2007) beschreibt für die Sorte Erfurter Orangefarbige einen Ertrag von 170 g TM m⁻².

2.2.4 Wirtschaftliche Kennzahlen zum Ringelblumenanbau in Deutschland

Die Anbaufläche von Ringelblumen in Deutschland lag 2003 zwischen 10-50 ha (Hoppe 2005). Der heimische Anbau deckt jedoch nicht den Bedarf der Blütendroge (Mielke und Schöber-Butin 2007), weshalb ein Großteil der Ware aus Ägypten, Ungarn und den Balkanländern importiert wird (Hoppe 2005). Laut FNR (2023b) sind derzeit drei Phytopharmaka und 19 Homöopathika auf dem Markt, die Bestandteile von Ringelblumen enthalten (FNR 2023b).

2.2.5 Nutzung und wertgebende Inhaltsstoffe

Die Ringelblume ist eine Zier-, Heil- und Nutzpflanze, die in verschiedenen Bereichen Anwendung findet. Hierzu zählen vor allem phytotherapeutische und kosmetische Anwendungsgebiete. Auch als Schmuckdroge in Tees, Zierpflanze, Färbemittel und essbare Blüte wird sie verwendet (Novak und Blaschek 2013). Der Gehalt von 0,009% Pyrethrinen würde außerdem eine Nutzung als Insektizid ermöglichen (Tucker 2007).

Die Calendula-Blütendroge besteht vorwiegend aus den getrockneten Zungenblüten, seltener werden auch Röhrenblüten sowie das gesamte Blütenkörbchen genutzt (Novak und Blaschek 2013). Aus den Blütenblättern werden, neben Aufgüssen und Tinkturen, Salben zur innerlichen und äußerlichen Anwendung hergestellt. Letztere werden z. B. für Wunden mit schlechten Heilungstendenzen, bei akuter Dermatitis oder Ödemen verwendet (Tucker 2007, Wichtl 2009).

Al-Snafi (2015) fasst in seinem Review die Wirkungsbereiche als antimikrobiell und antiparasitär, wundheilend, photoprotektiv, entzündungshemmend und schmerzstillend, antioxidativ, zytotoxisch und immunfördernd, sowie (anti-) genotoxisch zusammen. Darüber hinaus beschreibt er Studienergebnisse, die einen Effekt auf die Gehirngesundheit sowie das Herz-Kreislaufsystem, den Gastrointestinaltrakt und die Leber berichten (Al-Snafi 2015). Wichtl (2009) beschreibt die Wirkung der Ringelblume insgesamt als antimykotisch, antiviral, antiphlogistisch, spasmolytisch und antibakteriell (Wichtl 2009).

Antiinflammatorische Bestandteile sind vor allem die freien und veresterten Triterpenalkohole, wobei das Faradiol, die am stärksten vertretene und aktivste Substanz darstellt (Wichtl 2009). Durch den hohen Gehalt an Carotinoiden könnten Ringelblumenblüten außerdem als Lebensmittel zur Krebsvorbeugung genutzt werden (Duke 2007). Eine Übersicht über die Wirkstoffgruppen ist in Tab. 1 zu sehen.

Die Qualitätsanforderungen für *Calendula flos* – also die Blütenblätter der Ringelblume – belaufen sich auf einen Mindestgehalt von 0,4 % Flavonoiden, maximal 5 % Hüllkelchblätter, max. 2 % fremde Bestandteile, max. 10 % Asche und max. 12 % Trocknungsverlust (Europäische Arzneibuch-Kommission 2014).

Tab. 1: *Calendula officinalis* L.: Wirkstoffgruppen, Wirkstoffe und deren Anteil (%) (angelehnt an Isaac 1992 und Wichtl 2009).

Wirkstoffgruppe	Anteil (in %)	Haupt-Wirkstoffe
Flavonoide	0,2-1	Quercetin Isorhamnetinglycoside
ätherisches Öl	0,02 (frische Blüte) - 0,3 (Droge)	
Triterpensaponine	2-10	
Triterpenalkohole	5	Faradiolmonoester
Carotinoide	0,02-4,7	Lycopine (orangeblühende Varianten) Xanthophylle (gelbblühende Varianten)
wasserlösliche Polysaccharide	15	

Carotinoide

Carotinoide sind in der Natur sehr verbreitete Tetraterpene. Bislang konnten über 700 Carotinoide aus natürlichen Quellen isoliert werden. Carotinoide absorbieren kurzwelliges Licht, weshalb ihr Farbspektrum von gelb über orange bis dunkelrot reicht. Im menschlichen Organismus fungieren Carotinoide vor allem als Vorstufe in der Vitamin-A-Synthese (Meyer 2002). Darüber hinaus wirken sie antioxidativ, anticancerogen und immunstimulierend. Die vermehrte Aufnahme von Carotinoiden mit der Nahrung wird mit einem verminderten Risiko für Herz-Kreislauf-erkrankungen, speziellen Formen von Krebs und Makuladegeneration in Verbindung gebracht. Die chemische Zusammensetzung von Carotinoiden kann durch die Formel $C_{40}H_{56}O_n$ beschrieben werden, wobei n zwischen null und sechs liegen kann (Castenmiller und West 1998). Während die reinen Carotinoide nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind ($n = 0$), werden sauerstoffhaltige Derivate Xanthophylle genannt (Gaster 1999).

Carotinoide sind z. B. in Karotten, Paprika, Spinat, Aprikosen und Kürbis enthalten (Watzl und Rechkemmer 2004). Die Ringelblume enthält große Mengen verschiedener Carotinoidderivate (Al-Snafi 2015). Während orangefarbige Blüten von *Calendula officinalis* L. höhere Gehalte an hydrogenhaltigen Carotinoiden aufweisen, kommen in gelbblühenden Ringelblumen vermehrt sauerstoffhaltige Derivate vor (Pintea 2003). Die Zungenblüten der Ringelblume haben mit 1,5 – 3% den höchsten Carotinoidgehalt (Isaac 1992). In der Ringelblume sind Lutein und Zeaxanthin (Abb. 3) die häufigsten Carotinoidderivate (Isaac 1992, Novak und Blaschek 2013). Die unterschiedliche Carotinoid-Zusammensetzung von gelben und orangefarbenen Blüten ist in Tab. 2 zu sehen.

Tab. 2: Zusammensetzung der Carotinoide in gelben und orangefarbenen Ringelblumenblüten (Quelle: Goodwin 1954; Tóth und Szabolcs 1981; Isaac 1992).

Carotinoide in gelben Ringelblumenblüten	Carotinoide in orangefarbenen Ringelblumenblüten
Auroxanthin	Auroxanthin
Cis-Luteoxanthin	Cis-Luteoxanthin
9(')-cis-Lutein	9-cis-Antheraxanthin
Flavoxanthin	9-cis-Luteinepoxid
Luteinepoxid	Luteoxanthin
Lutein	9(')-cis-Lutein
ζ-Carotin	Mutatoxanthin
Phytofluen	Flavoxanthin
Flavochrom	Luteinepoxid
Mutatochrom	Lutein
Chrysanthemaxanthin	
Carotinoide unabhängig von Ringelblumenfarben	
Zeaxanthin	
β-Carotin	
γ-Carotin	
Lycopin	
Violaxanthin	
Rubixanthin	

Die höchsten Carotinoidgehalte in der Untersuchung von Ivasenko et al. (2000) lagen zwischen 0,55 und 0,65 % (im gesamten Blütenköpfchen), wobei die Sorte Orange King einen Carotinoidgehalt von 0,55 % hatte. Die von Raal et al. (2009) analysierten Blütenblätter wiesen einen Carotinoidgehalt zwischen 0,2 und 3,42 % auf. Genannt werden die Sorten 'Orange King' (Herkunft Lettland: 1,63 %; Herkunft Finnland: 2,74 %), 'Ball's Orange' (Herkunft Estland: 2,0 %; Herkunft Finnland: 2,24/1,15 %) und 'Golden Emperor' (Herkunft Finnland: 3,51/3,42 %) (Raal et al. 2009). Sausserde und Kampuss (2014) beschreiben in Ihrem Review den Einfluss der Bodenklimaräume auf den Gehalt und die Zusammensetzung der Carotinoide. So unterschied sich die Anzahl und die Zusammensetzung der Carotinoidderivate bei Proben aus unterschiedlichen Anbauregionen (Sausserde und Kampuss 2014).

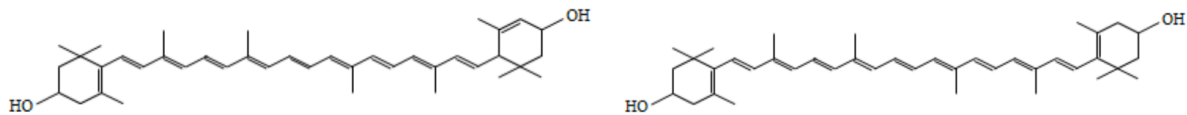


Abb. 3: Strukturmodelle von Lutein (links) und Zeaxanthin (rechts) (Schäfer 2017).

Phenole

Phenole sind Verbindungen, die aus einem aromatischen Ring und einer oder mehreren Hydroxygruppen bestehen (Abb. 4) (Mortimer und Müller 2014). Als Polyphenol definieren Quideau et al. (2011) pflanzliche Sekundärmetabolite, die in ihrer grundlegenden Struktur mehr als einen Phenolring enthalten und keine Stickstofffunktionalitäten tragen (ausgenommen Monophenolstrukturen) (Quideau et al. 2011).

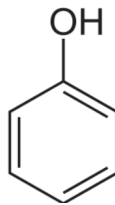


Abb. 4: Strukturmodell Phenol (Quelle: Mortimer und Müller 2014).

Polyphenole dienen Pflanzen als Lock- oder Abwehrstoff (LCI 2003). Auch für den menschlichen Organismus wird Polyphenolen zunehmend eine große Bedeutung zugesprochen. So zeigen El-Ansari, Ibrahim und Sharaf (2019) in Ihrem Review 65 phenolische Verbindungen bzw. pflanzliche Quellen für diese auf, welche in unterschiedlichen Studien anticancerogene Effekte zeigten.

Bekannte Vertreter unter den Polyphenolen sind Quercitin, Flavonoide oder auch Resveratrol (El-Ansari, Ibrahim und Sharaf 2019). Der Polyphenolgehalt in Ringelblumenblüten liegt zwischen $15,12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ TM}$ (Cetkovic et al. 2003) und $28,6 \pm 2,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ TM}$ (Fonseca et al. 2009).

Phenolcarbonsäuren aus *C. officinalis* sind in Tab. 3 zu sehen.

Tab. 3: Phenolcarbonsäuren in *C. officinalis* (Quelle: Isaac 1992).

Phenolcarbonsäuren aus *C. officinalis*

Salicylsäure	p-Cumarsäure
p-Hydroxybenzoesäure	Kaffeesäure
Gentisinsäure	Ferulasäure
Protocatechusäure	Sinapinsäure
Vanillinsäure	Chinasäure
Syringasäure	Zimtsäure
o-Hydroxyphenylessigsäure	Veratrumsäure
o-Cumarsäure	Chlorogensäure

2.3 Forschungsfragen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Sortenprüfung für fünf Sorten von *Calendula officinalis* L. hinsichtlich Anbauparameter, Blüteneigenschaften und Wirkstoffgehalten, an vier Standorten bzw. in unterschiedlichen Bodenklimaräumen durchgeführt.

Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

- 1. Unterscheiden sich die pflanzenbaulichen Eigenschaften, Blüteneigenschaften und Wirkstoffgehalte zwischen den jeweiligen Sorten?**
- 2. Welchen Einfluss haben verschiedene Bodenklimaräume auf die Qualitätsparameter und pflanzenbauliche Eigenschaften?**

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandorte

Die Versuchsreihe wurde deutschlandweit an vier Standorten durchgeführt. Darunter sind mit dem Hollerbuschhof (2) in Tangerhütte und dem SALUS Haus (3) in Bruckmühl zwei Praxisbetriebe sowie zwei Forschungseinrichtungen mit dem Standort des Bundessortenamtes (4) in Dachwig und dem Versuchsbetrieb der Universität Kassel, der Domäne Frankenhausen (1) in Grebenstein (Abb. 5). Im Folgenden werden die Bodenklimaräume der einzelnen Standorte jeweils beschrieben.

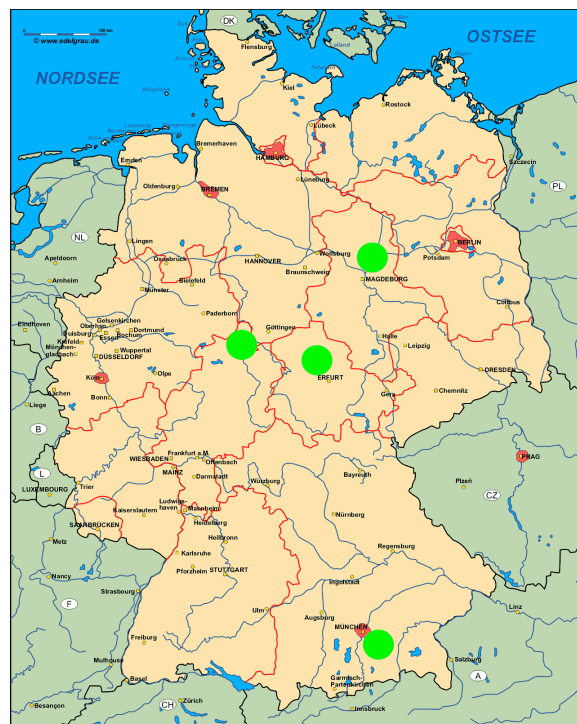


Abb. 5: Lage der Versuchsstandorte (grün) innerhalb Deutschlands (eigene Darstellung auf Basis von Weltkarte.com (2023)).

Hessische Staatsdomäne Frankenhausen (Grebenstein) - 1

Das Versuchsgut der Universität Kassel, die hessische Staatsdomäne Frankenhausen, liegt bei Kassel in Nordhessen auf 231 m ü. NN. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 10,2 °C und der Jahresniederschlag liegt bei 510 mm (Ø 2013-2021) (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen 2023).

Im Versuchszeitraum (Mai – August) lag die Durchschnittstemperatur bei 16,8 °C und die Niederschlagssumme bei 257,3 mm. Die Aussaat konnte aufgrund des sehr nassen und kalten Wetters im April (Ø 38,9 mm; 7,4 °C) (vgl. Abb. 6) erst am 12.05.2023 erfolgen.

Das Versuchsgut wird seit 1998 ökologisch bewirtschaftet. Der Versuch wurde auf einem Teilstück des Schlages Lindenbreite durchgeführt (51,412091° Nord, 9,430988° Ost).

Es handelt sich um den Bodentyp Parabraunerde, der als mitteltoniger Schluff (Bodenklasse Ut3) eingeordnet werden kann (Brandt et al. 2001). Die Bodenwertzahl beträgt 80. Aus einem angrenzenden Versuch mit gleicher Vorfrucht wurden am 13.04.2023 Bodenproben entnommen. In den oberen 30 cm lagen im Vergleich der Standorte geringe Mengen $N_{\min}$ vor (Tab. 4). Die Makronährstoffe für den Standort 1 wurden nicht ermittelt.

Hollerbuschhof (Tangerhütte) - 2

Der Hollerbuschhof liegt in Tangerhütte (52.501217° Nord, 11.758424° Ost), nördlich von Magdeburg im Landkreis Stendal, in Sachsen-Anhalt auf 38 m ü. NN. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 9,7°C und der Jahresniederschlag lag 2022 bei 356 mm (Proplanta 2023). Im Versuchszeitraum (Mai – August) lag die Durchschnittstemperatur bei 17,8 °C und die Niederschlagssumme bei 340,7 mm (Wetterkontor 2023b). Die Aussaat konnte aufgrund des sehr nassen und kalten Wetters im April ($\varnothing$ 36,5 mm; 8,1 °C) (vgl.Abb. 6) erst am 04.05.2023 erfolgen. Der Hollerbuschhof wird ebenfalls biologisch bewirtschaftet. Es liegt ein sandiger Lehm Boden (Humusgley) vor (Sachsen-Anhalt-Viewer 2023). Die Bodenwertzahl liegt zwischen 40 und 45. Der $N_{\min}$ -Gehalt für die Versuchsfläche am Standort 2 war im Vergleich am höchsten. Der Makronährstoffgehalt lag im anzustrebenden Bereich (Tab. 4).

SALUS Haus (Bruckmühl) - 3

Die Firma SALUS Haus Dr. med. Otto Greither Nachf. GmbH & Co. KG hat ihren Sitz in Bruckmühl (47.881571° Nord, 11.912876° Ost), südlich von Rosenheim im Landkreis Rosenheim in Bayern auf 511 m ü. NN. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 10°C und der Jahresniederschlag liegt bei 1046 mm ($\varnothing$ 2018-2023) (Wetterdienst.de 2023). Im Versuchszeitraum (Mai – August) lag die Durchschnittstemperatur bei 18 °C und die Niederschlagssumme bei 676,8 mm (Wetterkontor 2023c). Die Aussaat konnte aufgrund des sehr nassen und kalten Wetters im April ($\varnothing$ 133,5 mm; 7,5 °C) (vgl.Abb. 6) erst am 09.05.2023 erfolgen. Es liegt ein sandiger Lehm Boden vor (Umweltatlas.Bayern 2023). Die Bodenwertzahl liegt zwischen 30 und 35 (Stand 1995). Der $N_{\min}$ -Gehalt ist sehr hoch. Der pH-Wert ist eher niedrig. Der Makronährstoffgehalt reicht von niedrig (K_2O) über mittel (P_2O_5) bis hoch (Mg) (Tab. 4).

Bundessortenamt – Prüfstelle 303 (Dachwig) - 4

Die Prüfstelle für Landwirtschaft und Gartenbau des Bundessortenamtes in Dachwig (51.077286, 10.860893) liegt bei Erfurt im Landkreis Gotha auf 172 m ü. NN. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 10,7 °C und der Jahresniederschlag 403 mm ($\varnothing$ 2022)

(Wetterkontor 2023). Im Versuchszeitraum (Mai – August) lag die Durchschnittstemperatur bei 17,8 °C und die Niederschlagssumme bei 213 mm (Wetterkontor 2023a). Die Aussaat konnte aufgrund des sehr nassen und kalten Wetters im April ($\varnothing$ 57 mm; 7,9 °C) (vgl. Abb. 6) erst am 25.04.2023 erfolgen. Der Versuch stand auf einem tonigen Lehm Boden mit einer Bodenwertzahl von 74. Der $N_{\min}$ -Gehalt für die Versuchsfläche am Standort 3 war ebenfalls eher hoch. Der Makronährstoffgehalt reicht von niedrig (P_2O_5) über mittel (Mg) bis hoch (K_2O). Der pH-Wert ist eher hoch (Tab. 4).

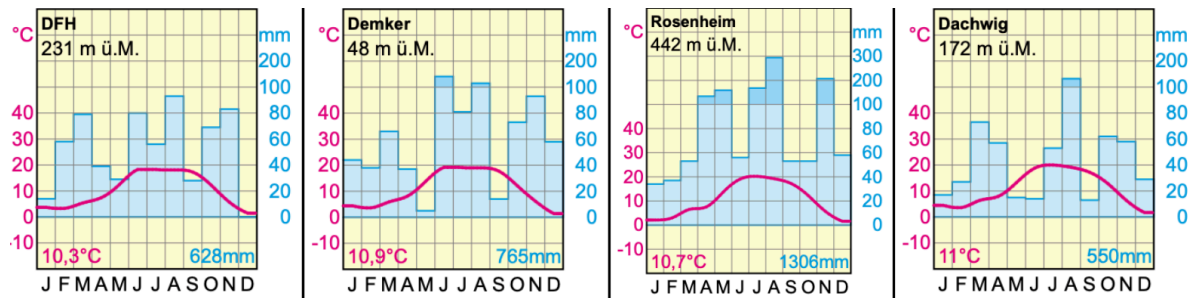


Abb. 6: Klimadiagramme der vier Versuchsstandorte (v.l.n.r.: Standort 1, 2, 3, und 4) bzw. örtlicher Wetterstationen. Monate Januar bis November aus 2023. Dezember aus 2022. Datengrundlagen bildeten Daten vom LHL (2023) (Standort 1), Wetterkontor (2023a-c) (Standort 2-3). Grafiken auf Grundlage von Westermann (2023).

Tab. 4: Bodenparameter je Standort (eigene Darstellung).

	Standort			
	1	2	3	4
$N_{\min}$ 0-30 cm (kg N ha ⁻¹)	18	37	24	20
P_2O_5 (mg / 100g)	-	18	18	11
K_2O (mg / 100g)	-	18	9	29
Mg (mg / 100g)	-	4	13	8
pH-Wert	-	6,5	5,6	7,4

3.2 Versuchsdesign

Zur Sichtung verschiedener Ringelblumensorten wurde im Jahr 2023 ein Feldversuch an vier Standorten angelegt. Den Versuchsfaktor stellten verschiedene Sorten dar. An drei Standorten wurden jeweils dieselben fünf Sorten getestet, während in einem Praxisbetrieb nur vier Sorten untersucht wurden, um den Arbeitsaufwand und den Flächenbedarf zu verringern (Tab. 5). Standort 1 und 4 stellten professionelle Versuchsstandorte dar. Hier wurde der Versuch als einfaktorielle, vollständig randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt (Anhang, Abb. 25 und Abb. 27). Standort 2 und 3 waren praktisch wirtschaftende Betriebe. Hier wurde das Versuchsdesign an das jeweilige Anbausystem und die vorhandene Technik und Arbeitskapazität angepasst. Es wurden ebenfalls Blöcke mit vier Wiederholungen gebildet (Anhang, Abb. 24 und Abb. 26). Die Parzellengröße variierte zwischen 7,5 und 9 m², der Reihenabstand zwischen 33 und 38 cm (Tab. 5).

Tab. 5: Versuchsanlagen - Eckdaten der vier Standorte (eigene Darstellung).

Standorte	1	2	3	4
Betriebsform	Forschung	Praxis	Praxis	Forschung
Eckdaten Versuchsanlage				
Parzellengröße (Länge x Breite, m)	5 x 1,5	6 x 1,5	6 x 1,5	7,10 x 1,32
Reihenabstand (cm)	37,5	35	38	33
Anzahl Wiederholungen	4	4	4	4
Vorfrucht	Kleegrass	Winterweizen	Kleegrass	Winterweizen
Sorten				
1	X	X	X	X
2	X	X	X	X
3	X	X	X	X
4	X	X	X	X
5	X		X	X

3.2.1 Faktor Sorte

Für die Sortenprüfung wurden folgende fünf Sorten (Abb. 7) abhängig von der Verfügbarkeit und auf Grundlage von Praktiker*innenbefragungen des Vereins Ökoplant e.V. ausgewählt. Sorten, die den gewünschten Eigenschaften (z. B. gefüllt, dunkelorange) entsprachen, wurden bevorzugt.

Orange King (1)	Anbieter Pharmasaat. Ökologisch, gefüllt, orange, z.T. dunkler Blütenboden, Samen haben einen hohen Gehalt an fettem Öl, große Blüten (Pharmasaat 2023a).
Erfurter Orangefarbige (2)	Anbieter Pharmasaat. Ökologisch, gefüllt, orange, heller Blütenboden sehr ertragreich mit gutem Regenerierungsvermögen (Pharmasaat 2023b).
Golden Emperor (3)	Anbieter Pharmasaat. Konventionell, gefüllt, gelb, überwiegend heller Blütenboden, dekorativ (Pharmasaat 2023c).
Salucalend (4)	Anbieter Salus Haus. Ökologisch, gefüllt, hochwachsend, gute Mehltautoleranz (SALUS 2023).
Balls Orange (5)	Anbieter N.L. Chrestensen GmbH. k. A.

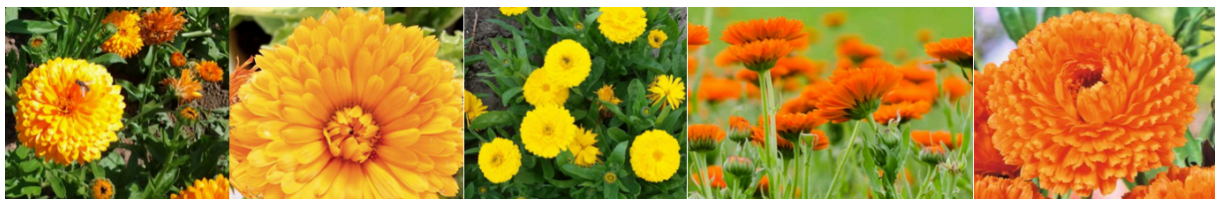


Abb. 7: Fotos der fünf ausgewählten Sorten (v.l.n.r.): 1, 2, 3 (Pharmasaat 2023a-c), 4 (SALUS 2023) und 5 (Chrestensen 2023).

3.3 Versuchsdurchführung

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Standorten herzustellen und den Praxisbetrieben die Mitwirkung zu erleichtern, wurden eine detaillierte Versuchsbeschreibung, das Saatgut sowie alle Boniturunterlagen, durch den Verein für den ökologischen Arznei- und Gewürzpflanzenanbau (Ökoplant e. V.) in Zusammenarbeit mit den Versuchsstandorten erarbeitet und an die einzelnen Standorte versendet. Offen gebliebene Fragen wurden jederzeit beantwortet und in mehreren Online-Meetings abgestimmt. Zudem fand vor Versuchsbeginn ein Treffen an Standort 4 statt, bei dem die Methodik ausprobiert und abgeglichen wurde.

3.3.1 Aussaat und Pflege

Es wurde eine Saatstärke von 100 keimfähigen Körnern m^{-2} angestrebt (Tab. 6).

Tab. 6: Überblick über die ausgesäte Saatgutmenge pro Sorte (eigene Darstellung).

Sorte	Gewicht 100 Körner	Keim- fähigkeit	Gewicht 100 keimfähige Körner	Aussaatmenge
	(g)	(%)	(g)	(kg ha^{-1})
1	0,87	80	1,1	10,9
2	0,81	80	1,0	10,1
3	0,76	80	1,0	9,6
4	0,49	50	1,0	9,8
5	0,71	94	0,8	7,5

Die Aussaat fand an Standort 1 und Standort 4 mit einem Parzellensägerät der Firma Hege statt. An den Praxisstandorten wurde händisch gesät. Eine mechanische Beikrautregulierung erfolgte an allen Standorten sowohl händisch, als auch mit Radhacken.

An Standort 1 wurde die Kultur außerdem nach der Aussaat mit Kulturschutznetzen abgedeckt, um das Auflaufen zu beschleunigen. Außer an Standort 2 wurden alle Versuchsflächen zum Schutz vor Fraßfeinden eingezäunt. Die Zeitspanne, in der Pflegemaßnahmen, Ernten und Bonituren durchgeführt wurden, war standortspezifisch (Abb. 8). Ein detaillierter Maßnahmenplan ist in Abb. 28 (Anhang) zu sehen.

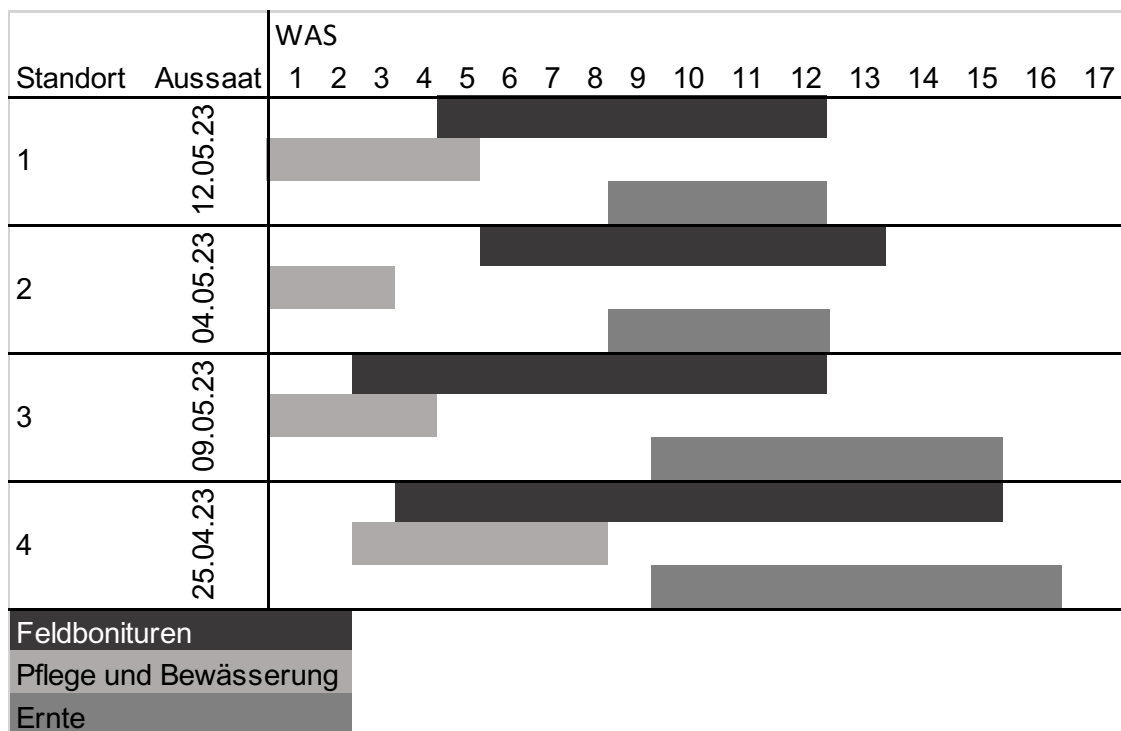


Abb. 8: Zeitspannen, in denen Feldbonituren, Pflegemaßnahmen und Ernten durchgeführt worden sind (eigene Darstellung).

3.4 Datenerfassung

Im Vorfeld der Versuchsreihe wurden Bodenproben entnommen. Dafür wurden pro Parzelle 10 Proben mit einem Pückhauer in einer Tiefe von 0-30 cm gezogen und zu einer Mischprobe zusammengeführt. Nach der Aussaat (ab Ende April) wurden die pflanzenbaulichen Eigenschaften wöchentlich bonitiert. Insgesamt wurden für jede Variante Parameter zu Pflanzenbaulichen Eigenschaften, Blüteneigenschaften und Wirkstoffgehalten erhoben (Tab. 7).

Tab. 7: Übersicht der zu erhebenden Parameter (eigene Darstellung).

Pflanzenbauliche Eigenschaften	Blüteneigenschaften	Wirkstoffkonzentrationen
Feldaufgang (Pflanzen m ⁻¹)	Blütendurchmesser	Carotinoidgehalt
Höhe (cm)	Blütenscheibendurchmesser	Polyphenolgehalt
Mehltaubefall	Gefülltheitsgrad	
Ertrag (FM und TM)	Farbe Zungenblüten (ZB)	
	Farbhomogenität ZB	
	Farbe Röhrenblüten (RB)	
	Anzahl Durchwachsene ZB	

Die Erhebung der Parameter unterschied sich teilweise in ihrem Umfang zwischen ‚Praxis-‘ und ‚Versuchsbetrieben‘. So wurde zur Reduzierung des Mehraufwandes an den Standorten 2 und 3, der Ernterahmen nur einmal je Parzelle geerntet ($0,5 \text{ m}^2$). Am Standort 2 wurden außerdem nur vier Sorten ausgesät. Alle Erhebungen wurden – sofern möglich – im Inneren der Parzellen, also mindestens $0,5 \text{ m}$ entfernt von den Rändern, durchgeführt. Am Standort 1 wurden, bedingt durch einen zu geringen Feldaufgang, jeweils drei Teilstücke ($\approx 0,33 \text{ m}^2$) teilweise in den Randreihen bonitiert. Die jeweiligen Boniturtermine sind in Abb. 28 (Anhang) abzulesen.

Bonitur der pflanzenbaulichen Eigenschaften

Für die Erhebung des Feldaufgangs wurde nach dem Auflaufen die Anzahl der Pflanzen m^{-1} an drei Stellen innerhalb jeder Parzelle erhoben. Die Höhenmessung begann in der vierten bis sechsten Woche nach Aussaat (WAS) und wurde wöchentlich bis zur 12. bzw. 15. WAS durchgeführt.

Die Höhenmessung erfolgte an Standort 1 und 4 wöchentlich, wobei der Messzeitraum von Standort 4 von der dritten bis 15. Woche nach Aussaat (WAS) reichte. Am Standort 1 reichte der Messzeitraum von der fünften bis 12. WAS. An den Standorten 2 und 3 wurden an weniger Messterminen Daten erhoben (Abb. 28). Die Höhenmessungen wurden standortspezifisch ausgewertet. Dabei wurden Sortenunterschiede je Messtermin ermittelt.

An Standort 1 wurden jeweils 20 Pflanzen je Parzelle gemessen. An den anderen Standorten jeweils drei. Bei einer zusätzlichen Höhenmessung wurden von allen Standorten bei ca. 10 WAS, also im gleichen Wachstumsstadium, Höhen gemessen. Bei jeder Höhenmessung erfolgte auch die Quantifizierung der Befallsdichte mit echtem Mehltau pro Parzelle.

Ertragserfassung

Es fanden drei Blüterernten statt, wobei der Erntezeitpunkt je nach Sorte variierte: Die Ernte erfolgte, sobald etwa 50% der Pflanzen einer Sorte in Blüte standen. Auf diese Weise wurden die Blüten jeder Sorte über einen Zeitraum von 15 bis 25 Tagen geerntet (Abb. 28). Für die Ernte wurde ein Boniturrahmen in die mittleren Reihen der Parzelle platziert (Abb. 9). Dadurch wurde die Erntefläche auf 1 m^2 (Versuchsstandorte) bzw. $0,5 \text{ m}^2$ (Praxisbetriebe) begrenzt. Die Position des Boniturrahmens wurde innerhalb der Parzellen markiert, um sicherzustellen, dass der Rahmen bei jeder folgenden Bonitur am gleichen Ort lag. Es wurden alle geöffneten Blüten innerhalb des Boniturrahmens händisch geerntet.

Unmittelbar nach der Ernte wurde die Frischmasse m^{-2} gewogen. Die Blüten wurden an den jeweiligen Standorten getrocknet (30°C , ca. drei Tage) und für eine abschließende

Trockenmassebestimmung nochmals an der Universität Kassel nachgetrocknet und ausgewogen (75 h, 30 °C).

Die Blüten außerhalb des Boniturrahmens wurden in einem Umkreis von einem Meter zum Boniturrahmen parallel zur Ertragserfassung geerntet, damit eine Beeinflussung der beprobten Pflanzen ausgeschlossen werden kann.

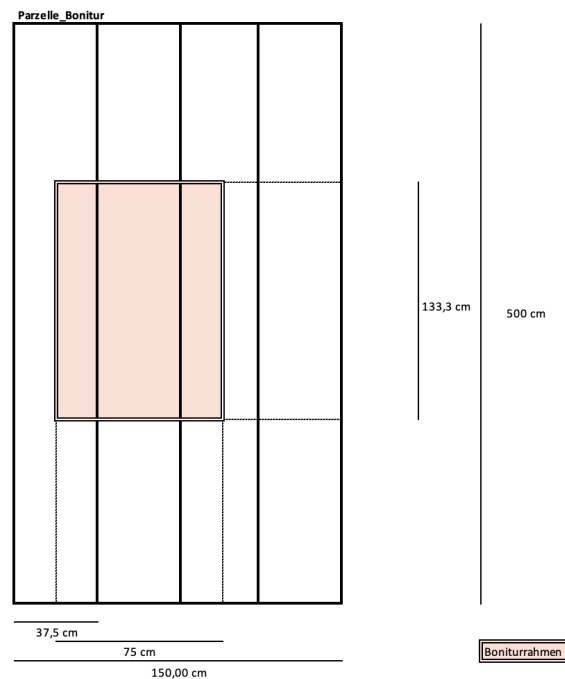


Abb. 9: Beispielhafte Parzellenansicht inklusive Boniturrahmen (eigene Darstellung).

Für die Inhaltsstoffanalytik wurden weitere Blüten innerhalb der Parzelle geerntet und direkt eingefroren. Für den Vergleich der Wirkstoffgehalte je Erntezeitpunkt, wurden aus einer Randparzelle am Standort 1 an drei Tagen jeweils 15 Blüten um 9:00 Uhr und 15:00 Uhr geerntet und eingefroren. Für den Vergleich der Wirkstoffgehalte je Gefülltheitsgrad wurden aus drei Blöcken am Standort 1 jeweils 15 gefüllte und ungefüllte Blüten geerntet und eingefroren.

Blütenbonitur

Der Blütenbonitur wurde der Boniturskatalog (Tab. 8) von Schäfer (2017) zugrunde gelegt. Darüber hinaus wurden Schablonen entwickelt, die eine objektive Bonitur für alle Standorte vereinfachen sollten. Bei einem Treffen aller Versuchsleitenden wurde eine erste Probebonitur durchgeführt, um die Bonitur möglichst objektiv zu halten.

Die Blüten aus einem Ernterahmen werden den Kategorien im Boniturskatalog zugeordnet und die jeweilige Anzahl der Blüten in Boniturlisten eingetragen.

Der Umfang der Bonitur unterschied sich zwischen den Versuchsstandorten und den Praxisbetrieben. Die Erfassung der Blütenparameter erfolgte an den Versuchsstandorten an allen geernteten Blüten aus den Boniturrahmen. Von den Praxisbetrieben wurden nur 15 zufällig ausgewählte Blüten bonitiert.

Tab. 8: Boniturskatalog für die Blütenbonitur (eigene Darstellung, angelehnt an Schäfer 2017).
(ergänzende Bilder in Abb. 29, Anhang).

Parameter	Einheit	Boniturnote
Blütendurchmesser	cm	
Blütenscheibendurchmesser	cm	
Gefülltheitsgrad	Boniturnote	1. ungefüllt 2. wenig gefüllt 3. halb gefüllt 4. weitestgehend gefüllt 5. voll gefüllt
Farbe der ZB	Boniturnote	1. hellgelb 2. gelb 3. orangegelb 4. orange 5. dunkelorange
Farbhomogenität der ZB	Boniturnote	1. sehr inhomogen 2. inhomogen 3. mittel homogen 4. homogen 5. sehr homogen
Farbe der Scheibe bzw. der RB	Boniturnote	1. gelb 2. dunkelgelb 3. hellbraun 4. braun 5. dunkelbraun
Durch die Scheibe durchwachsende ZB	Boniturnote	1. keine 2. wenige 3. mittel viele 4. viele 5. sehr viele

Inhaltsstoffanalytik

Die Inhaltsstoffanalyse wurde im Labor des Fachgebiets für Lebensmittelqualität der Universität Kassel am Standort Witzenhausen durchgeführt. Für die Analyse wurden die frischen, eingefrorenen ZB und RB der Blütenproben je Parzelle genutzt. Diese wurden mit einer Probennummer versehen und bei -14 °C aufbewahrt. Die Blüten wurden erst unmittelbar vor der Wirkstoffextraktion aus dem Gefrierraum genommen.

Das Analytikset umfasste die Bestimmung der Gesamtgehalte von Polyphenolen und Carotinoiden. Um Standortunterschiede zu ermitteln, wurden Blüten der Sorte 1 von allen vier Standorten analysiert. Um Sortenunterschiede zu ermitteln, wurden alle Sorten von Standort 1 in die Analyse eingeschlossen. Außerdem wurden die Wirkstoffgehalte gefüllter und ungefüllter Blüten aus drei Blöcken (Standort 1), sowie solche von Blüten, die an drei Terminen, morgens bzw. abends geerntet wurden (Standort 1), untersucht.

Im Vorfeld wurden Testreihen durchgeführt, um methodische Fehler gering zu halten. Im Folgenden werden die Analyseverfahren für den Gesamtgehalt an Carotinoiden und den Gesamtgehalt an Polyphenolen beschrieben.

Bestimmung Gesamtgehalt der Carotinoide

Die Analyse der Carotinoide erfolgte angelehnt an die Methode von Raal et al. (2009).

Je Parzellenprobe einer Sorte und Feldwiederholung wurde dreimal ca. 1 g Blütenblätter (frisch, gefroren) in ein verdunkeltes Schraubdeckelröhrchen eingewogen und beschriftet. Anschließend wurden 15 ml Extraktionsmittel [Hexan + Aceton (1:1)] je Röhrchen aufgefüllt und mit einem Ultra Turrax T25 der Marke IKA für ca. drei Sekunden püriert. Um die Rückstände am Mixer abzunehmen, wurde mit einem weiteren Probenröhrchen mit 10 ml Extraktionsmittel erneut drei Sekunden püriert und die Lösung anschließend in das Probenröhrchen überführt. Dieses Schema wurde jeweils für zwei Proben à drei Wiederholungen, also insgesamt mit sechs Röhrchen parallel durchgeführt. Alle Röhrchen wurden für fünf Minuten in ein Ultraschallbad gestellt, um die Extraktionsrate zu erhöhen. Anschließend wurde der Extrakt jeweils aus den Röhrchen in einen 50 ml Messkolben überführt. Die Messkolben wurden verschlossen und lichtgeschützt gelagert. Das zurückbleibende "Blütenpürree" in den Röhrchen wurde jeweils erneut mit 15 ml Extraktionsmittel aufgefüllt, kurz geschüttelt und anschließend bei 6000 G für fünf Minuten (bei 4 °C) in eine Zentrifuge (Heraeus Multifuge X3R – Thermo Scientific) gestellt. Anschließend wurde der Extrakt wie zuvor in den jeweils zugehörigen Messkolben überführt und der abgesetzte Blütenpellet entsorgt. Die Messkolben wurden mit Extraktionsmittel auf exakt 50 ml aufgefüllt und abschließend einmal geschüttelt.

Für die Gehaltbestimmung wurde ein Spektrometer (Cary 3500 UV-Vis Multicell Peltier der Firma Agilent) genutzt. Bei einer Wellenlänge von $\lambda = 540$ nm wurden die Proben gemessen. Da die erzeugten Lösungen für eine exakte Messung zu stark dosiert waren, wurden die Proben jeweils verdünnt. Je Küvette wurden 0,5-0,7 ml Probe eingefüllt und auf jeweils 2 ml mit Extraktionsmittel aufgefüllt.

Im Anschluss an die Messung der Absorptionsraten wurde eine vier-Punkt Kallibrierreihe ($R^2 = 0,9985$) mit Konzentrationen von 0,3-6 mg β -Carotin erstellt. Auf dieser Grundlage wurden die Absorptionsraten in Wirkstoffgehalte umgerechnet. Abschließend wurden Verdünnungsverhältnisse, Einwaagen und Wassergehalt herausgerechnet.

Bestimmung Gesamtgehalt der Polyphenole

Die Bestimmung der Gesamtgehalte der Polyphenole erfolgte nach dem Folin-Ciocalteu assay. Sie basiert auf der Methode von Singleton, Orthofer und Lamuela-Raventós (1999). Abänderungen wurden aus der Arbeit von Kleinod (2020) übernommen.

Es wurden frische, gefrorene Blütenblätter von verschiedenen Blüten einer Probe verwendet. Je Probe wurde ca. 1 g Frischmasse in ein verdunkeltes Schraubdeckelröhrchen eingewogen und beschriftet. Anschließend wurden 15 ml Extraktionsmittel [Methanol + (1%) Essigsäure (70%) + aq. Dest. (30 %)] auf die Blütenblätter geschüttet und das Gemenge für ca. drei Sekunden püriert (Gerät s.o.). Um die Überreste der Blütenblätter vom Mixer zu entfernen, wurden nochmal 10 ml der Lösung in ein extra Röhrchen gefüllt und gemixt. Die Lösung aus dem zweiten Röhrchen wurde in das erste überführt. Dieser Prozess wurde für sechs Proben gleichzeitig durchgeführt. Die Proben wurden im Anschluss für fünf Minuten in ein Ultraschallbad gestellt und weitere fünf Minuten zentrifugiert (6000 G, 5 Min., bei 4 °C). Der Extrakt wurde anschließend in einen 50 ml Messkolben überführt und mit Extraktionsmittel exakt aufgefüllt. Alle Proben wurden zwischen den Arbeitsschritten dunkel gelagert.

Die entstandenen Samples wurden im Anschluss photometrisch auf ihren Polyphenolgehalt analysiert. Hierfür wurden in dreifacher Wiederholung je Probe 600 μ l aq. dest., 250 μ l der Probe, 50 μ l Folin Ciocalteu und nach drei Min. Pause 100 μ l Na_2CO_3 (gesättigte Lösung in aq. Dest.) hinzugefügt und 60 Min. abgedunkelt aufbewahrt. Nach genau einer Stunde wurden die drei Replikate von jeder Probe bei 720 nm im Spektrometer (s.o.) gemessen.

Es wurde eine fünf-Punkt Kallibrierreihe ($R^2 = 0,9917$) mit Konzentrationen von 4-20 mg Kaffeesäure erstellt. Auf dieser Grundlage wurden die Absorptionsraten in Wirkstoffgehalte umgerechnet. Abschließend wurden Verdünnungsverhältnisse, Einwaagen und Wassergehalt herausgerechnet.

Für die Trockenmassebestimmung wurden jeweils parallel zu den Extraktionen einzelne Blütenblätter der Proben mit einem Moisture Analyzer (Sartorius, Modell MA37) gemessen.

3.5 Statistik und Auswertung

Die statistische Auswertung der erhobenen Parameter erfolgte mittels der Statistiksoftware RStudio© (Version 2023.09.1+494 (2023.09.1+494)). Die Daten wurden hierfür mit Microsoft Excel© (Version 16.75.2 (23071901)) vorbereitet. Für die standortübergreifende Auswertung wurde ein lineares Modell (*lm*) mit Sorte, Standort und Block als fixen Faktoren aufgestellt, gefolgt von einer Varianzanalyse (ANOVA). Für den Ertrag, die Blütenparameter und die Wirkstoffe wurde jeweils der Erntetermin bzw. der Gefülltheitsgrad als fixer Faktor in das Modell aufgenommen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Wenn eine signifikante Interaktion zwischen Sorte und Standort vorlag, wurde die ANOVA separat für jeden Standort ausgeführt. Die Residuen wurden auf Normalverteilung mittels Quantil-Quantil (QQ) Diagrammen getestet und die Homogenität der Varianzen mit einem Diagramm der Residuen gegen die angepassten Werte überprüft (Kozak und Piepho, 2018). Um die Kriterien zu erfüllen, wurden die Daten gegebenenfalls entweder $\log(x+1)$ -, Wurzel- oder Boxcoc-transformiert. Für den Vergleich der Mittelwerte wurde der Tukey's HSD-Test verwendet. Alle Grafiken wurden im Rahmen der Auswertung mit der Statistiksoftware RStudio© oder Microsoft Excel© erzeugt.

Die Ergebnisse der beiden Wirkstoffanalysen wurden vor Durchführung der ANOVA mittels Z-Scores auf Ausreißer untersucht. Diese wurden ab einer Abweichung des MW von der STABW von 10% ausgeschlossen. So wurde von jeweils drei Laborwiederholungen je Probe bei den Carotinoidgehalten ein Wert und bei den Polyphenolgehalten insgesamt ein Wert ausgeschlossen.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Untersuchung der pflanzenbaulichen Eigenschaften, Wirkstoffgehalte und Blütereigenschaften (vgl. Tab. 7) aufgeführt. Nicht signifikante Ergebnisse sind im Anhang abgebildet. Der Grad der Signifikanzen wird im Folgenden mit Sternchen markiert, wobei * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$ und *** = $p < 0,001$ darstellt. Die Überprüfung der Voraussetzungen der jeweiligen statistischen Tests befindet sich im Anhang (Tab. 18, Tab. 19, Tab. 20 und Tab. 21).

4.1 Pflanzenbauliche Eigenschaften

4.1.1 Feldaufgang

Bei der Auswertung des Parameters Feldaufgang wurde keine Standort:Sorte-Interaktion festgestellt, weswegen eine standortübergreifende Auswertung möglich war. Der Feldaufgang (Pflanzen m^{-1}) je Ort unterschied sich signifikant ($p = 2e-16$ ***). Am Standort 4 war dieser mit Abstand am höchsten, gefolgt von Standort 1 und 3. Den geringsten Feldaufgang zeigte Standort 2 (Abb. 10).

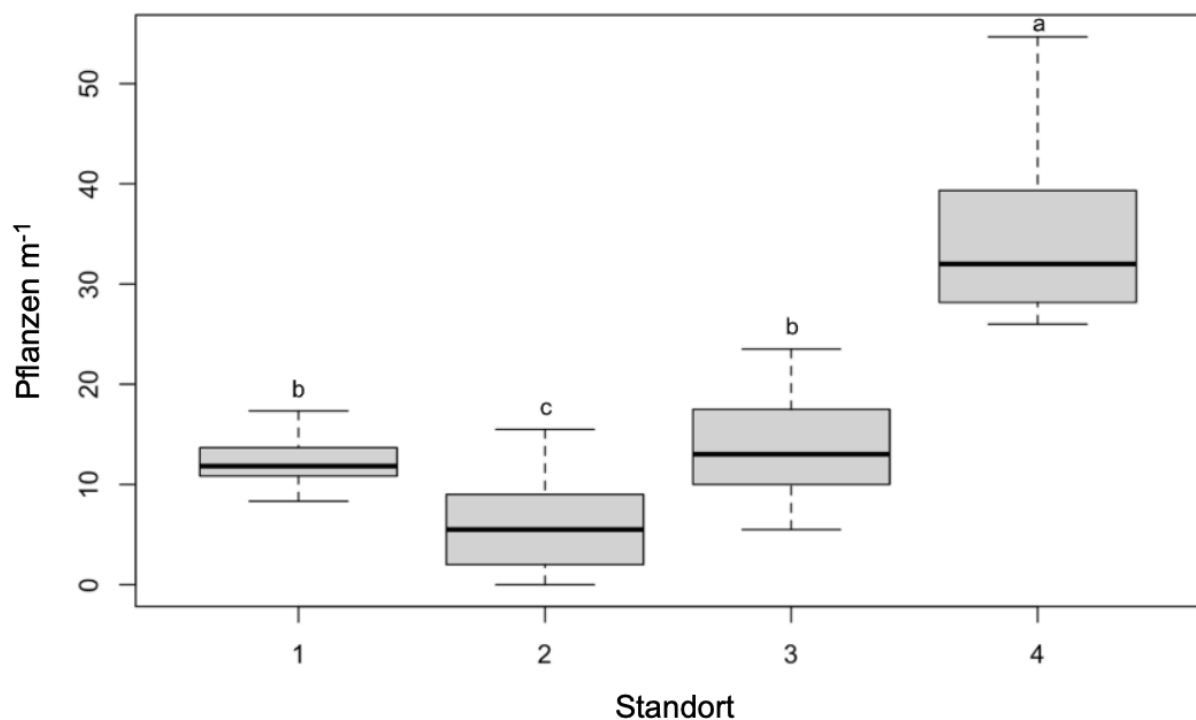


Abb. 10: Feldaufgang (Pflanzen m^{-1}) je Standort. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

Der Feldaufgang je Sorte unterschied sich signifikant ($p = 0.000698$ ***). Sorte 4 zeigte einen höheren Feldaufgang als die Sorten 1 und 2. Alle anderen Sorten zeigten einen vergleichbaren Feldaufgang (Abb. 11).

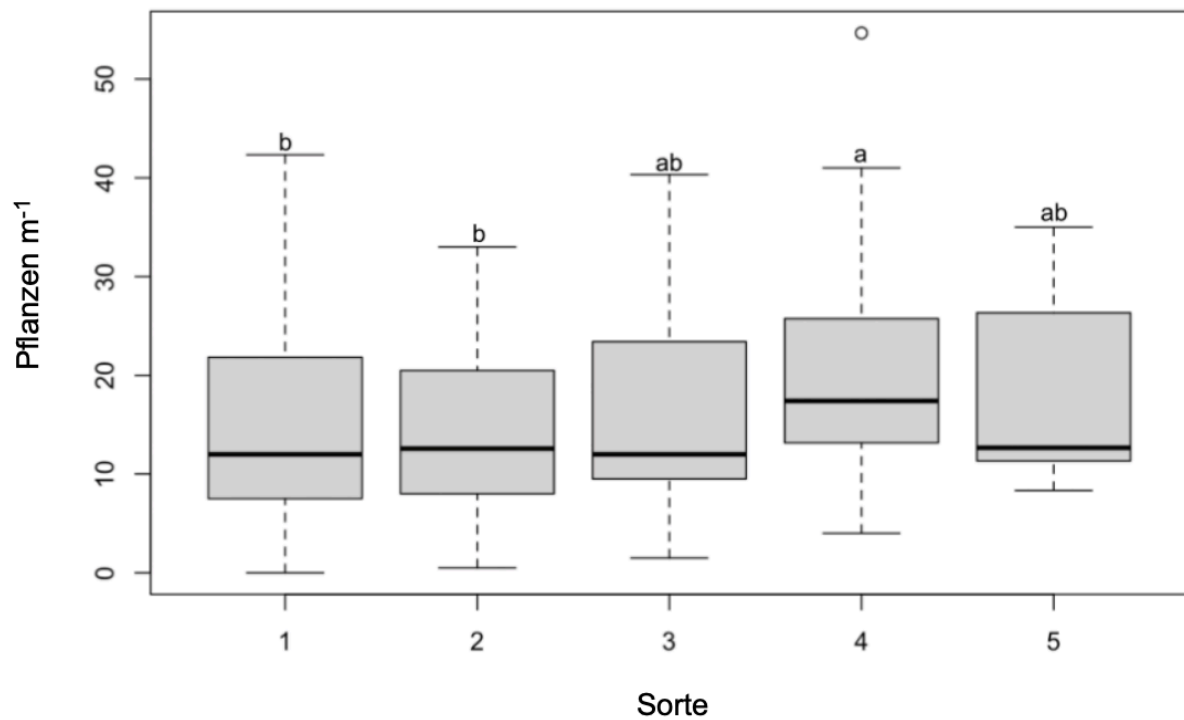


Abb. 11: Feldaufgang (Pflanzen m⁻¹) je Sorte. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

4.1.2 Pflanzenhöhe

Die Auswertung des Parameters Höhe ergab eine Standort:Sorte-Interaktion, weswegen die Auswertung je Standort erfolgte.

Am Standort 1 wurden bei WAS 6, 7, 9, 10 und 12 signifikante Sortenunterschiede gemessen. Dabei wies Sorte 3 zu jedem Messtermin die geringste Höhe auf. Die Sorten 1,2 und 5 unterschieden sich nur bei WAS 7 signifikant voneinander. Während Sorte 4 sich bei WAS 6 nicht von den Sorten 1,2 und 5 unterschied, zeichnete sich ab WAS 9 eine geringere Höhe ab. Zum letzten Messtermin (WAS 12) lag die Sorte 4 durchschnittlich zwischen der kleinsten Sorte 3 und den drei höheren Sorten 1, 2 und 5 (Abb. 12).

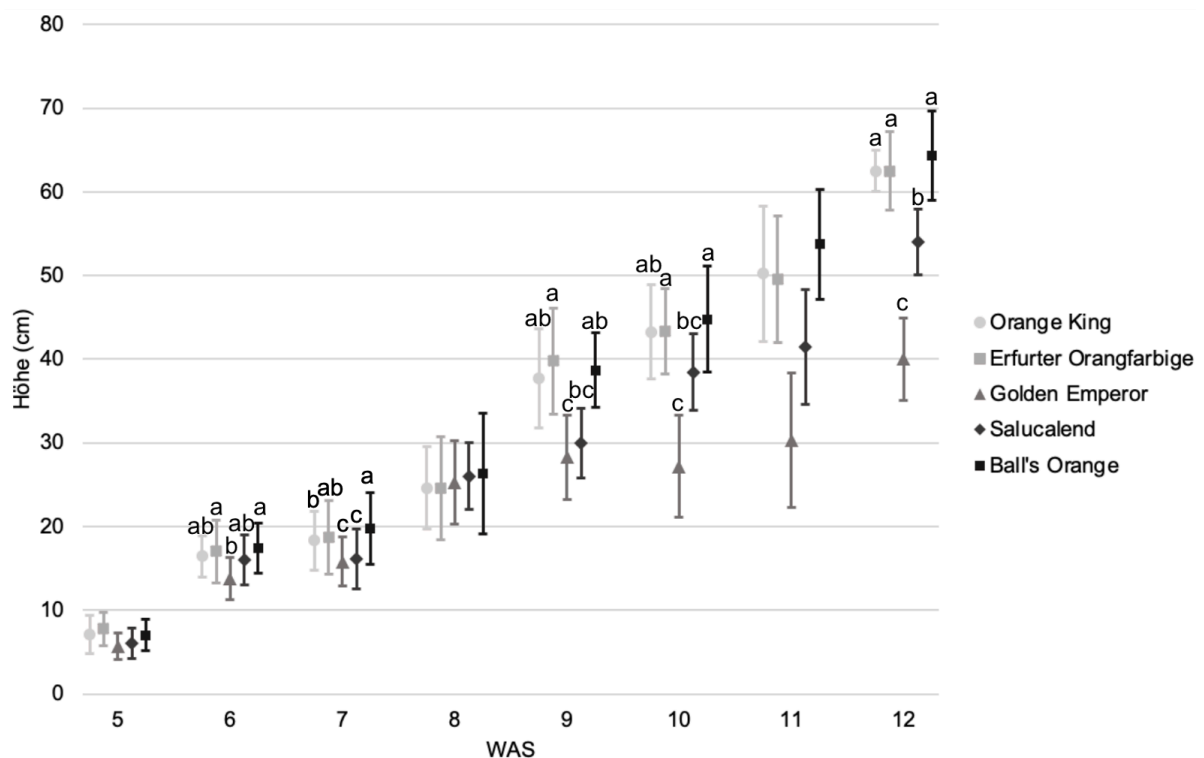


Abb. 12: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

Am Standort 2 wurden an drei Terminen die Höhen der Pflanzen erfasst. Während 5 WAS noch keine Sortenunterschiede messbar waren, unterscheiden sich bei WAS 7 Sorte 1 und 4 signifikant voneinander. Bei WAS 10 unterscheiden sich die Sorten 1, 2 und 4 signifikant von der niedrigsten Sorte 3. Außerdem unterscheiden sich die Sorten 1 und 4 signifikant voneinander (Abb. 13).

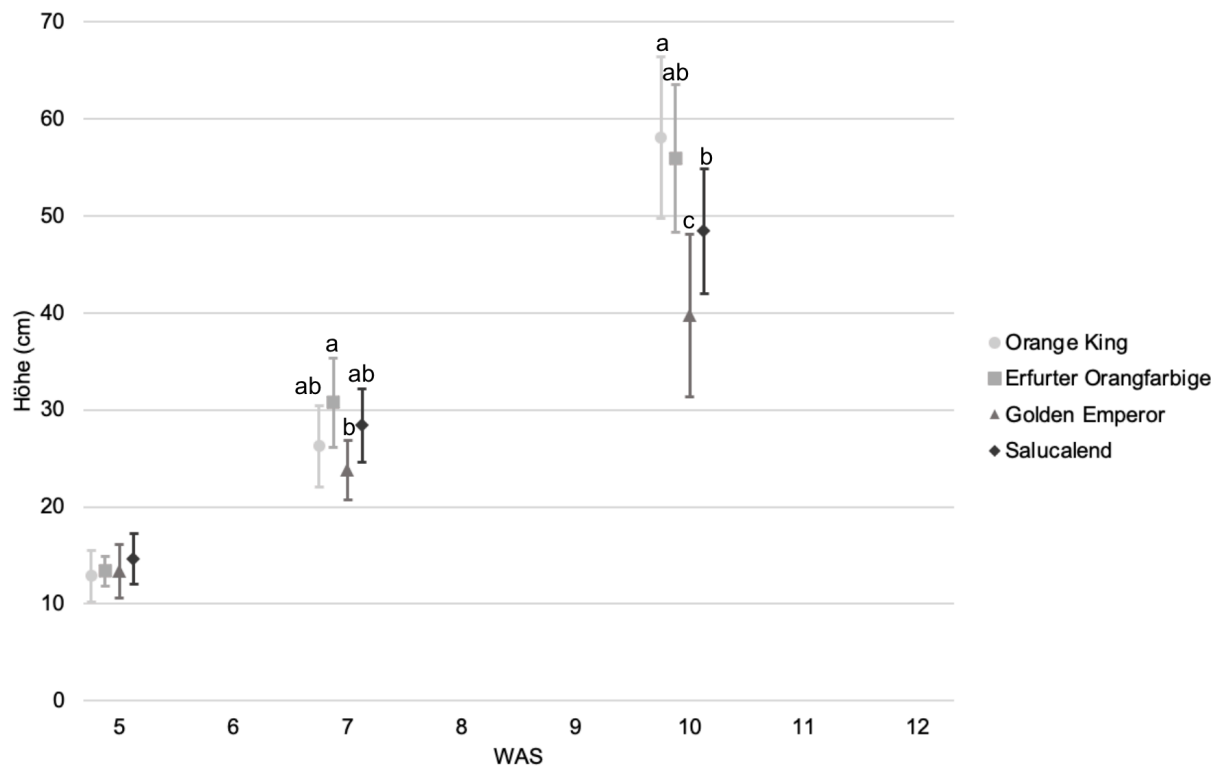


Abb. 13: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 2. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

Am Standort 3 konnten signifikante Höhenunterschiede zwischen den Sorten an den Messterminen WAS 5, 10 und 12 festgestellt werden. Bei WAS 5 unterschieden sich die Sorten 1 und 4 signifikant voneinander. Bei WAS 10 unterschieden sich die Sorten 1, 2 und 5 signifikant von den Sorten 3 und 4. Beim letzten Messtermin (WAS 12) unterschieden sich die Sorten 1, 3 und 4 signifikant voneinander. Sorte 2 und 5 unterschieden sich signifikant von Sorte 3 mit der geringsten Pflanzenhöhe (Abb. 14).

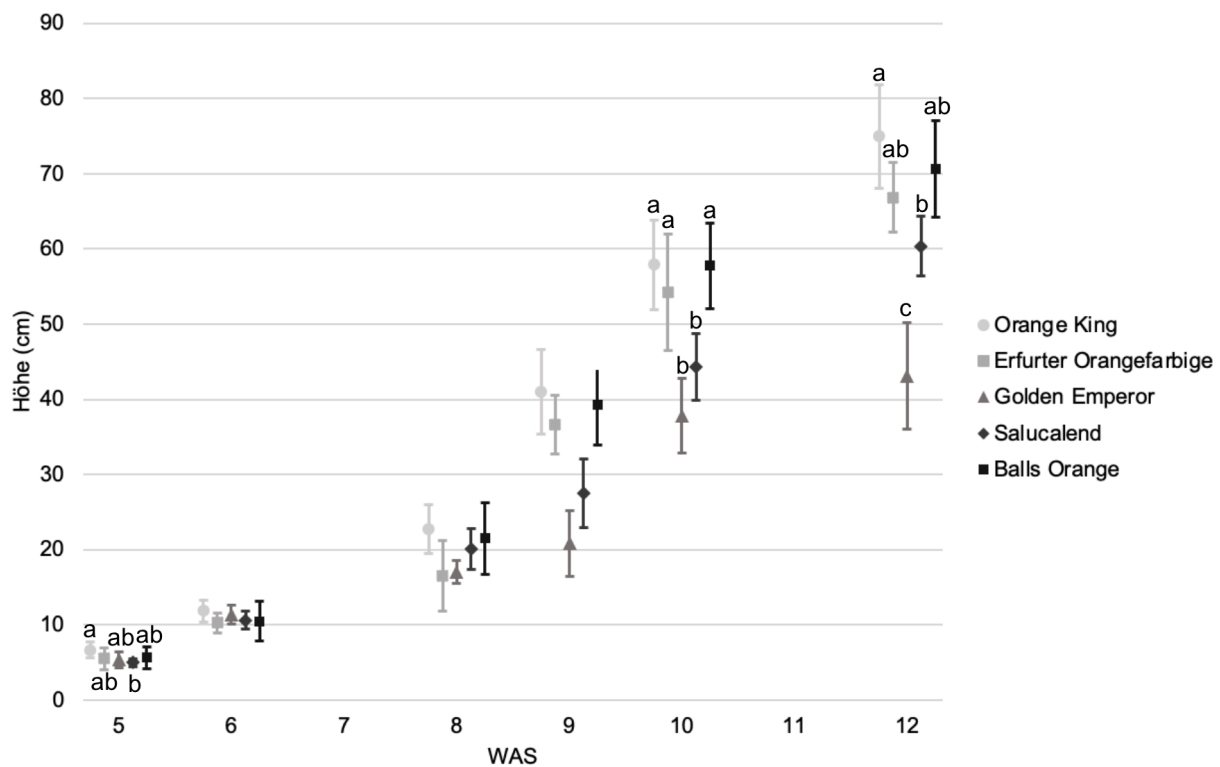


Abb. 14: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 3. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

Am Standort 4 wurden Höhendaten aus insgesamt 12 Wochen erhoben. Signifikante Höhenunterschiede zwischen den Sorten konnten bei WAS 6 und 12 gemessen werden. Bei WAS 6 unterschieden sich die Sorten 1 und 4 signifikant voneinander. Bei WAS 12 unterschieden sich Sorte 1 signifikant von Sorte 2, 3 und 4. Außerdem unterschieden sich Sorte 2 und 5 signifikant von Sorte 3 und 4 (Abb. 15).

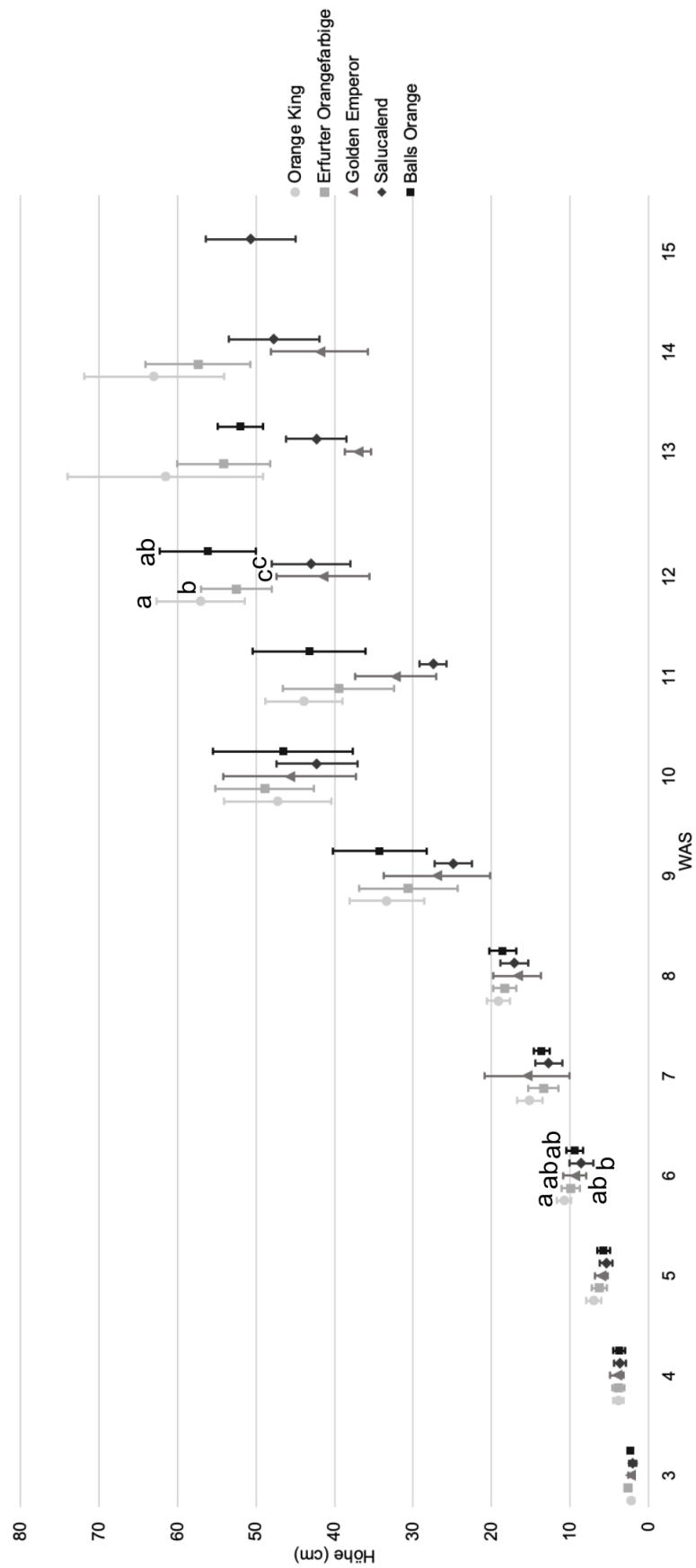


Abb. 15: Pflanzenhöhe (cm) nach WAS, Standort 4.
 Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante
 Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

4.1.3 Mehltaubefall

Der Mehltaubefall war durch eine Standort:Sorte-Interaktion nicht standortübergreifend auswertbar. Daher werden im Folgenden Diagramme der Befallshäufigkeit in Abhängigkeit vom Messtermin (in WAS) je Standort dargestellt. Zu jedem Messtermin wurde eine statistische Auswertung durchgeführt und, falls vorhanden, signifikante Unterschiede mit Buchstaben gekennzeichnet.

Am Standort 1 wurde der Bestand bis zur 11. WAS auf die Befallshäufigkeit mit Mehltau untersucht. Erst bei der letzten Messung konnte ein Mehltaubefall festgestellt werden. Dabei unterschieden sich die Sorten nicht signifikant in ihrem Mehltaubefall (Anhang, Abb. 30).

Am Standort 2 trat ebenfalls erst bei der letzten Bonitur (WAS 13) Mehltau auf. Dabei unterschieden sich die Sorten signifikant ($p = 4.27e-06$ ***) voneinander. Sorte 3 wies den höchsten Befall auf und unterschied sich damit signifikant von allen anderen Sorten. Des Weiteren unterschieden sich die Sorten 2 und 4 voneinander. Die Befallshäufigkeit von Sorte 1 lag zwischen der Sorte 2 und 4 (Abb. 16).

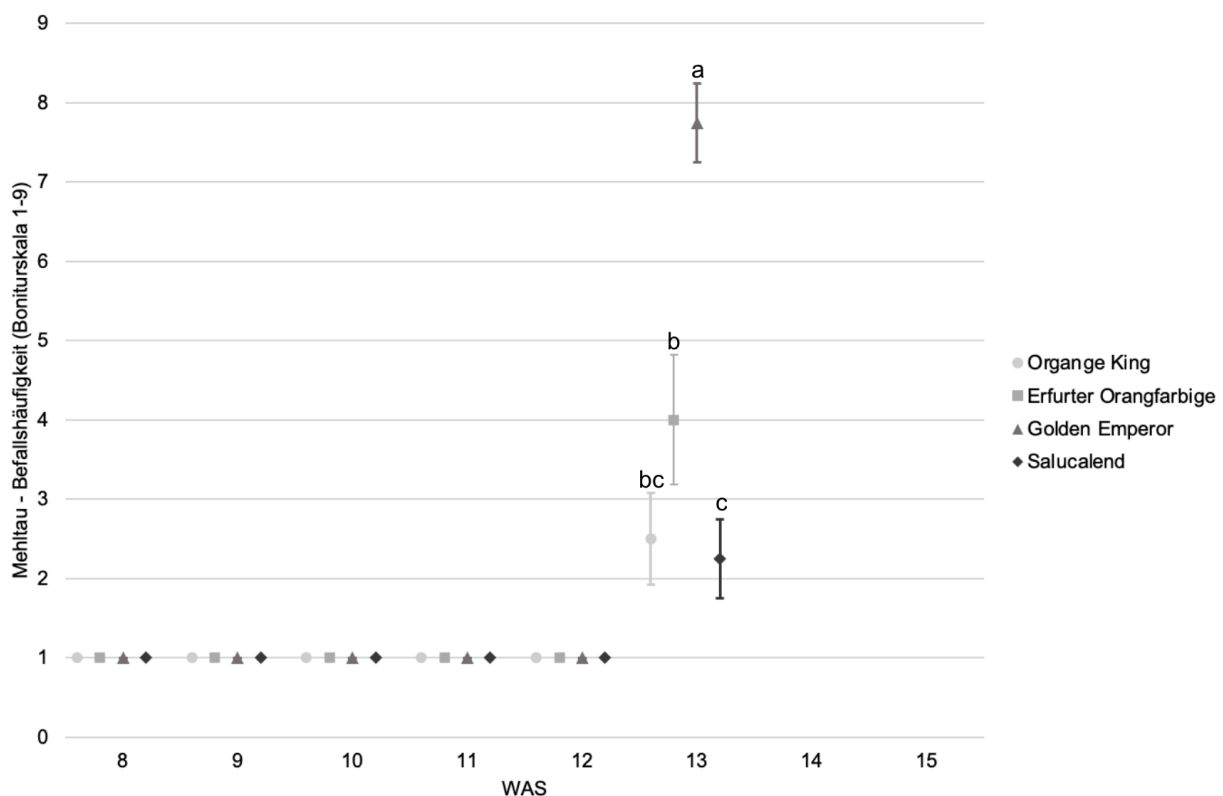


Abb. 16: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 2. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$). Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.

Am Standort 3 wurde bei WAS 11 Mehltaubefall festgestellt. Dabei unterschied sich die Befallshäufigkeit nicht signifikant zwischen den Sorten (Anhang, Abb. 31).

Am Standort 4 wurde bei WAS 13 der erste Mehltaubefall bonitiert. Während bei dieser Bonitur alle Sorten untersucht wurden, wurde bei den zwei folgenden Bonituren nur Sorte 4 berücksichtigt. Im Sortenvergleich zum Zeitpunkt der 13. WAS unterschieden sich die Sorten 3 und 4 signifikant. Die Sorten 1, 2 und 5 unterschieden sich weder von Sorte 3, noch von Sorte 4 signifikant (Abb. 17).

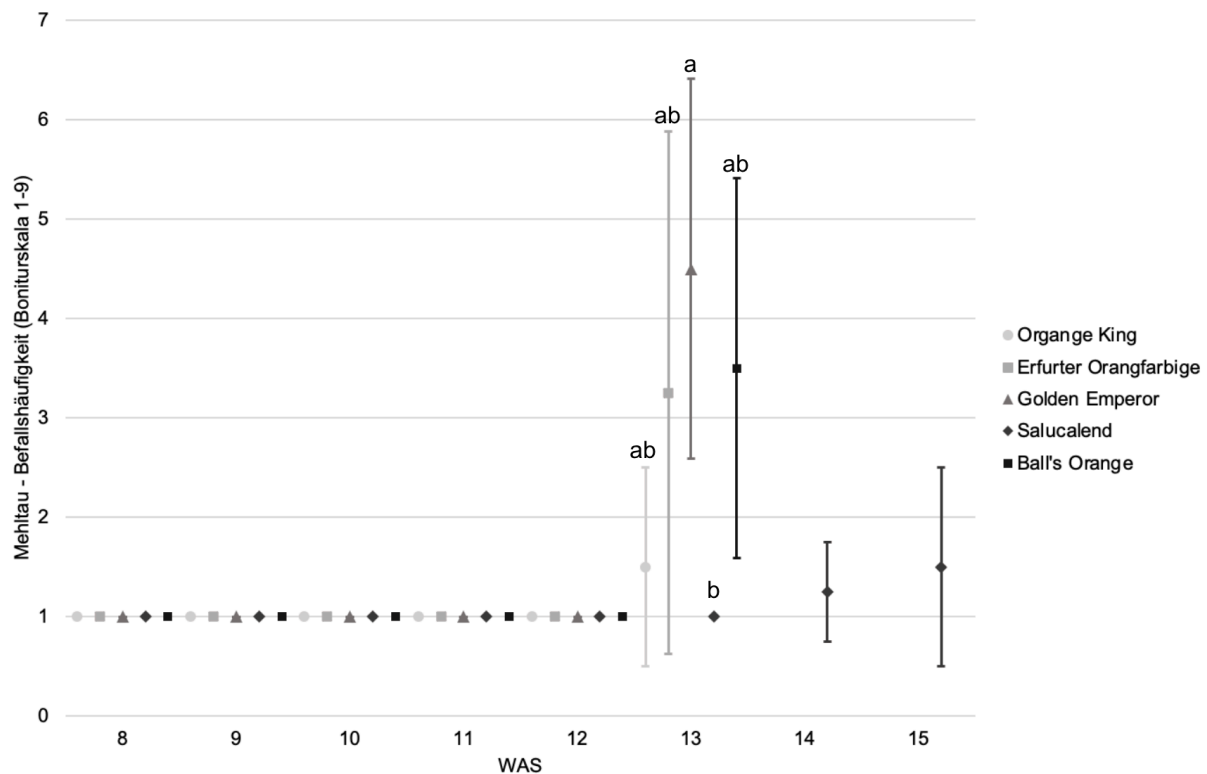


Abb. 17: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 4. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$).

Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.

4.1.4 Ertrag

Die Ertragsauswertungen konzentrieren sich aufgrund der höheren Vergleichbarkeit im Folgenden auf den TM-Ertrag. Dabei wird der Gesamtertrag der einzelnen Standorte und Sorten miteinander verglichen. Auf den Vergleich von Erträgen einzelner Ernten wird an dieser Stelle verzichtet, da sich die Abstände der einzelnen Ernten teilweise stark unterschieden.

Die Auswertung der Trockenmasse ergab keine Standort:Sorte-Interaktion, weswegen der Ertrag insgesamt je Standort und Sorte ausgewertet wurde. Das Ertragsniveau von Standort 2 und 4 ist signifikant höher als das von Standort 1 und 3. Im Sortenvergleich unterscheiden sich die Sorten 1 und 5 signifikant voneinander (Abb. 18). Das Eintrocknungsverhältnis je Sorte ist im Anhang in (Tab. 22) zu sehen.

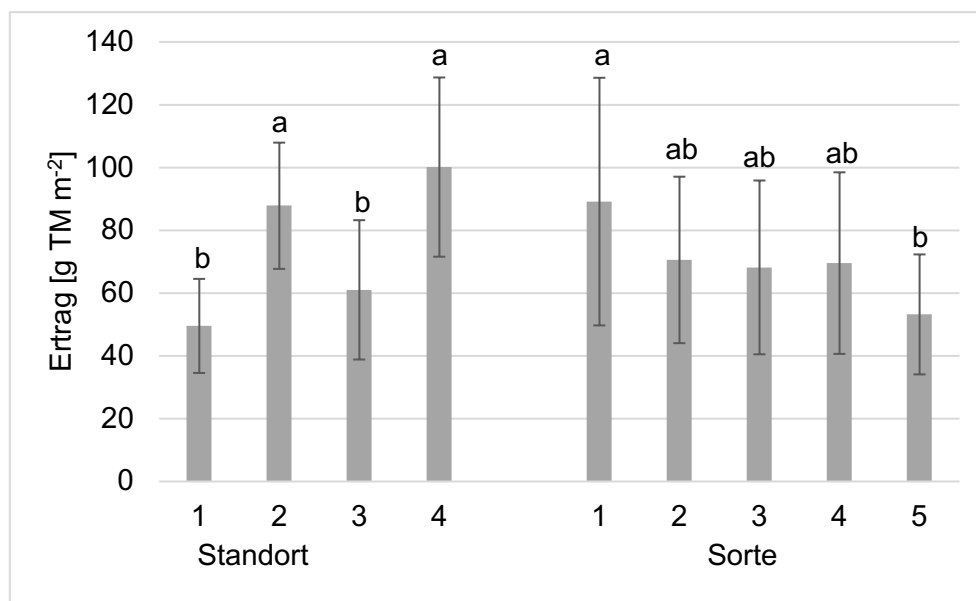


Abb. 18: Ertrag [g TM m⁻²] je Standort und je Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben unterschieden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

4.1.5 Sortenspezifische, pflanzenbauliche Eigenschaften

Aus den in Kapitel 4.1 beschriebenen Ergebnissen lassen sich Tendenzen zu den jeweiligen pflanzenbaulichen Eigenschaften je Sorte ableiten (Tab. 9).

Tab. 9: Pflanzenbauliche Eigenschaften je Sorte, wobei - geringe Werte und + hohe Werte kennzeichnet. (*für Parameter mit Standort:Sorte-Interaktion gilt: + = Anzahl Orte mit höchstem Wert; - = Anzahl Orte mit niedrigstem Wert).

Sorte	Parameter			
	Feldaufgang	Höhe*	Mehltaubefall*	Ertrag (TM)
1	-	+++	+++	+
2	-			
3		----		
4	+		----	
5		+	+	-

4.2 Blüteneigenschaften

Die Auswertung der Blüteneigenschaften ergab für alle sieben Parameter eine Standort:Sorte-Interaktion. Am Parameter Gefülltheitsgrad der Sorte 3 im Standortvergleich wird sichtbar, wie sehr sich die Verteilung der Boniturnoten je Standort unterschied. An den Standorten 1, 2 und 4 wurden alle Boniturnoten vergeben. Am Standort 3 wurden keine Blüten als vollgefüllt beschrieben. Während am Standort 1 über 50 % der Blüten als mind. weitgehend gefüllt beschrieben wurden, wurden am Standort 2 und 4 insgesamt nur etwa 10-20 % der Blüten in diese Kategorien eingeordnet (Abb. 19).

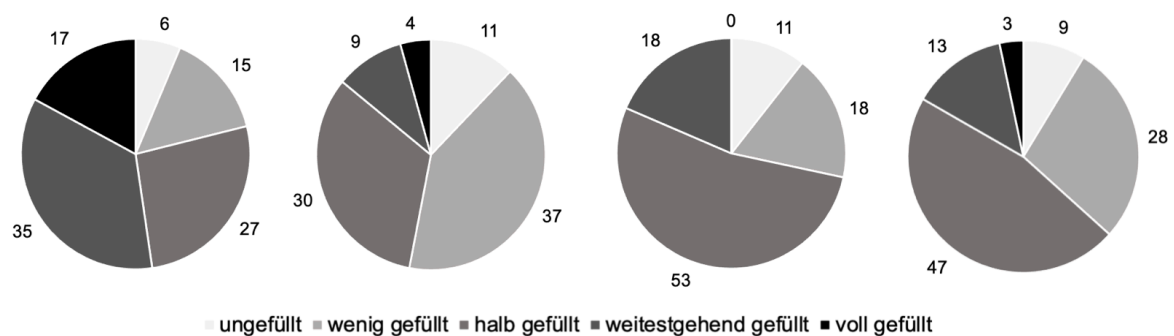


Abb. 19: Relativer Anteil (%) der Boniturnoten für den Parameter Gefülltheitsgrad der Sorte 3 je Standort (v.l.n.r. Standort 1, 2, 3, 4).

Im Folgenden wird je Parameter der relative Anteil an den zugehörigen Boniturnoten je Sorte und Standort gezeigt. Herausstechende Werte werden beschrieben.

4.2.1 Gefülltheitsgrad

An je zwei Standorten wiesen die Sorten 3 und 5 den höchsten Anteil der Boniturnote "ungefüllt" auf. Dem gegenüber stehen die Sorten 2 und 4, welche an jeweils zwei Standorten den größten Anteil an der Boniturnote "voll gefüllt" hatten (Tab. 10).

Tab. 10: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen des Parameters Gefülltheitsgrad je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Standort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.

		ungefüllt		wenig gefüllt		halb gefüllt		weitestgehend gefüllt		voll gefüllt	
Standort*Sorte	p-Wert	0,001		0,000		0,000		0,057		0,01	
Sorte		MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1								20 ^a	$\pm 17,9$		
2								28 ^a	$\pm 19,9$		
3								22 ^a	$\pm 25,3$		
4								24 ^a	$\pm 17,2$		
5								9	$\pm 17,3$		
	p-Wert							0,006			
Standort											
1								23	$\pm 26,6$		
2								17	± 16		
3								21	$\pm 13,1$		
4								20	$\pm 13,8$		
	p-Wert							0,187			
Standort	Sorte										
1	1	4	$\pm 8,2$	30 ^a	$\pm 16,9$	43 ^a	$\pm 15,4$	20	$\pm 21,0$	3 ^c	$\pm 9,5$
	2	10	$\pm 13,8$	24 ^{ab}	$\pm 24,3$	20 ^{bc}	$\pm 16,2$	35	$\pm 26,7$	11 ^{bc}	$\pm 21,2$
	3	6	$\pm 10,0$	15 ^{bc}	$\pm 17,2$	27 ^b	$\pm 27,2$	35	$\pm 33,8$	17 ^b	$\pm 13,6$
	4	4	$\pm 9,8$	7 ^c	$\pm 9,6$	12 ^c	$\pm 13,2$	18	$\pm 15,8$	59 ^a	$\pm 23,4$
	5	45	$\pm 31,6$	26 ^{ab}	$\pm 19,8$	21 ^{bc}	$\pm 26,0$	7	$\pm 23,1$	0 ^c	$\pm 1,3$
	p - Wert	0,000		0,000		0,000				0,000	
2	1	5 ^{ab}	$\pm 11,5$	48 ^a	$\pm 12,5$	24	$\pm 8,2$	15	$\pm 13,4$	0 ^b	$\pm 0,0$
	2	9 ^a	$\pm 12,5$	37 ^{ab}	$\pm 19,7$	27	$\pm 17,0$	17	$\pm 15,3$	0 ^b	$\pm 0,0$
	3	11 ^a	$\pm 11,3$	37 ^{ab}	$\pm 25,7$	30	$\pm 16,9$	9	$\pm 10,7$	4 ^b	$\pm 9,5$
	4	0 ^b	$\pm 0,0$	17 ^b	$\pm 15,1$	35	$\pm 17,6$	26	$\pm 19,6$	10 ^a	$\pm 11,5$
	p - Wert	0,001		0,011		0,423				0,004	
3	1	0 ^b	$\pm 0,0$	15 ^b	$\pm 6,9$	63 ^a	$\pm 12,4$	22	$\pm 17,7$	2 ^b	$\pm 4,1$
	2	1 ^b	$\pm 1,9$	19 ^b	$\pm 6,3$	27 ^b	$\pm 10,3$	27	$\pm 9,8$	21 ^a	$\pm 10,3$
	3	11 ^a	$\pm 9,2$	18 ^b	$\pm 15,2$	53 ^a	$\pm 20,4$	18	$\pm 11,7$	0 ^b	$\pm 0,0$
	4	2 ^b	$\pm 3,1$	13 ^b	$\pm 14,7$	25 ^b	$\pm 9,8$	29	$\pm 9,1$	31 ^c	$\pm 23,5$
	5	23 ^a	$\pm 18,9$	56 ^a	$\pm 16,5$	8 ^c	$\pm 6,6$	11	$\pm 8,2$	3 ^b	$\pm 4,7$
	p - Wert	0,000		0,000		0,000				0,000	

4	1	4 ^{bc}	± 5,2	24 ^a	± 16,5	41 ^b	± 16,6	23	± 14,8	8 ^{bc}	± 7,5
	2	10 ^b	± 7,7	25 ^a	± 13,6	25 ^c	± 11,8	24	± 5,0	16 ^a	± 11,6
	3	9 ^b	± 5,6	28 ^a	± 13,1	47 ^b	± 15,1	13	± 9,5	3 ^{bc}	± 4,0
	4	1 ^c	± 2,1	8 ^b	± 5,4	62 ^a	± 19,0	29	± 19,2	0 ^c	± 0,0
	5	31 ^a	± 12,4	32 ^a	± 19,2	22 ^c	± 12,5	12	± 7,9	4 ^b	± 3,8
p - Wert		0,000		0,000		0,000				0,000	

4.2.2 Blütendurchmesser

An den Standorten 2 und 4 hatte die Sorte 4 den höchsten Anteil an der Boniturnote „klein“. An den Standorten 1 und 3 galt dies für die Sorten 3 und 5 bzw. nur 5. Den größten Anteil an der Boniturnote „groß“ hatte an den Standorten 1, 2 und 3 Sorte 1. Am Standort 4 hatten die Sorten 1, 2, 3 und 5 jeweils gleichgroße Anteile an der Boniturnote „groß“ (Tab. 11).

Tab. 11: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den drei Boniturstufen zum Parameter Blütendurchmesser je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.

		klein		mittel		groß	
Standort*Sorte	p-Wert	0,0223		0,000		0,000	
Standort	Sorte	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1	1	5 ^c	$\pm 7,9$	14 ^a	$\pm 13,3$	81 ^a	$\pm 17,4$
	2	32 ^b	$\pm 23,8$	29 ^{ab}	$\pm 18,6$	39 ^b	$\pm 25,3$
	3	50 ^{ab}	$\pm 33,0$	22 ^{bc}	$\pm 21,0$	27 ^c	$\pm 26,6$
	4	15 ^c	$\pm 19,0$	38 ^{ab}	$\pm 24,8$	47 ^b	$\pm 28,5$
	5	45 ^{ab}	$\pm 28,3$	30 ^{ab}	$\pm 18,8$	25 ^c	$\pm 26,8$
	p-Wert	0,000		0,000		0,000	
2	1	10 ^c	$\pm 8,7$	66	$\pm 12,6$	24 ^a	$\pm 7,9$
	2	35 ^{ab}	$\pm 25,3$	61	$\pm 22,5$	4 ^c	$\pm 7,8$
	3	28 ^{bc}	$\pm 12,4$	61	$\pm 10,8$	12 ^b	$\pm 12,7$
	4	55 ^a	$\pm 31,7$	45	$\pm 31,7$	0 ^c	$\pm 0,0$
	p-Wert	0,117		0,046		0,000	
3	1	1 ^c	$\pm 2,6$	8 ^c	$\pm 9,5$	91 ^a	$\pm 10,4$
	2	31 ^b	$\pm 11,6$	30 ^b	$\pm 12,3$	39 ^b	$\pm 15,3$
	3	27 ^b	$\pm 11,6$	42 ^a	$\pm 7,3$	30 ^b	$\pm 17,3$
	4	19 ^b	$\pm 13,6$	38 ^{ab}	$\pm 8,9$	43 ^b	$\pm 10,7$
	5	48 ^a	$\pm 23,7$	37 ^{ab}	$\pm 16,8$	15 ^c	$\pm 10,2$
	p-Wert	0,014		0,000		0,000	
4	1	53 ^b	$\pm 30,1$	34 ^a	$\pm 22,0$	13 ^a	$\pm 10,7$
	2	56 ^b	$\pm 30,2$	31 ^{ab}	$\pm 20,4$	13 ^a	$\pm 11,2$
	3	63 ^b	$\pm 26,9$	25 ^b	$\pm 18,4$	12 ^a	$\pm 14,0$
	4	86 ^a	$\pm 17,3$	11 ^c	$\pm 13,3$	3 ^b	$\pm 4,7$
	5	62 ^b	$\pm 17,6$	24 ^b	$\pm 11,6$	14 ^a	$\pm 8,4$
	p-Wert	0,000		0,000		0,003	

4.2.3 Blütenscheibendurchmesser

An den Standorten 1, 2 und 3 hatte gehörte Sorte vier zur Gruppe mit dem größten Anteil an der Boniturnote „klein“. Gleiches galt für Sorte 1 für die Boniturnote „groß“ (Tab. 12).

Tab. 12: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den drei Boniturstufen zum Parameter Blütenscheibendurchmesser je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.

		klein		mittel		groß	
Standort*Sorte		p-Wert		0,000		0,412	
						0,009	
Sorte		MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1				31	$\pm 19,3$		
2				41	$\pm 23,9$		
3				43	$\pm 26,2$		
4				23	$\pm 17,2$		
5				40	± 25		
p-Wert				0,093			
Standort							
1				40	± 27		
2				56	$\pm 24,1$		
3				38	$\pm 13,8$		
4				23	$\pm 12,3$		
p-Wert				0,000			
Standort	Sorte	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1	1	9 ^c	$\pm 10,7$	26	$\pm 19,3$	66 ^a	$\pm 25,6$
	2	14 ^c	$\pm 16,6$	45	$\pm 26,3$	41 ^b	$\pm 28,4$
	3	13 ^c	$\pm 16,5$	56	$\pm 27,4$	31 ^b	$\pm 28,6$
	4	65 ^a	$\pm 17,3$	21	$\pm 15,8$	13 ^c	$\pm 17,3$
	5	28 ^b	$\pm 20,9$	51	$\pm 26,2$	20 ^c	$\pm 21,5$
p-Wert		0,000				0,000	
2	1	13 ^c	$\pm 13,0$	62	$\pm 21,4$	28 ^a	$\pm 25,5$
	2	22 ^{bc}	$\pm 17,4$	72	$\pm 14,1$	8 ^b	$\pm 9,3$
	3	39 ^{ab}	$\pm 16,9$	45	$\pm 32,3$	19 ^{ab}	$\pm 19,1$
	4	51 ^a	$\pm 15,9$	47	$\pm 17,0$	0 ^c	$\pm 0,0$
p-Wert		0,000				0,000	
3	1	1 ^c	$\pm 2,9$	39	$\pm 13,4$	59 ^a	$\pm 11,5$
	2	22 ^b	$\pm 12,1$	33	$\pm 11,8$	43 ^{ab}	$\pm 16,1$
	3	24 ^b	$\pm 9,7$	43	$\pm 8,1$	35 ^{bc}	$\pm 14,9$
	4	48 ^a	$\pm 20,2$	29	$\pm 15,9$	21 ^c	$\pm 18,6$
	5	35 ^{ab}	$\pm 22,8$	44	$\pm 15,4$	27 ^{bc}	$\pm 16,9$
p-Wert		0,000				0,000	
4	1	58	$\pm 16,0$	29	$\pm 11,8$	13	$\pm 15,4$
	2	59	$\pm 12,4$	26	$\pm 9,6$	14	$\pm 6,4$
	3	57	$\pm 23,3$	24	$\pm 11,5$	19	$\pm 14,1$
	4	66	$\pm 28,1$	16	$\pm 12,0$	18	$\pm 18,4$
	5	61	$\pm 12,2$	23	$\pm 13,3$	17	$\pm 10,1$
p-Wert		0,537				0,647	

4.2.4 Zungenblütenfarbe

Für den Parameter Zungenblütenfarbe wurde an Standort 2 und 4 die Note "hellgelb" nicht vergeben. Am Standort 1 wurden 100% der Blüten von Sorte 3 der Boniturnote "hellgelb" zugeordnet. Am Standort 3 hatten die Blüten der Sorten 3 und 5 den größten Anteil der hellsten Farbe. Am Standort 2 und 4 wurden 100% der Blüten von Sorte 3 als "gelb" eingeordnet. Am Standort 3 wurden über 75% der Sorte 3 als "gelb" eingestuft. Die dunkelste Zungenblütenfarbe wurde an den Standorten 1 und 2 kaum vergeben. Am Standort 4 wurden jedoch 93% der Blüten von Sorte 1 dieser Boniturnote zugeordnet. An den Standorten 1, 2 und 4 hatte Sorte 4 jeweils den größten Anteil an der Boniturnote "orange" (Tab. 13).

Tab. 13: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen zum Parameter Zungenblütenfarbe je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.

		hellgelb		gelb		orange gelb		orange		dunkelorange	
Standort*Sorte		p-Wert		0,528		0,315		0,000		0,009	
		0,000									
Sorte		MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1		0	$\pm 2,8$	2	$\pm 7,8$						
2		1	$\pm 3,4$	1	$\pm 5,9$						
3		43	$\pm 48,6$	56	$\pm 48,5$						
4		1	$\pm 4,5$	1	$\pm 4,8$						
5		4	$\pm 15,2$	2	± 6						
p-Wert		0,345		0,585							
Standort											
1		19 ^a	$\pm 39,1$	0	$\pm 0,4$						
2		0 ^b	± 0	27	$\pm 44,7$						
3		10 ^{ab}	$\pm 20,4$	22	± 33						
4		0 ^b	$\pm 0,8$	20	$\pm 39,9$						
p-Wert		0,000		0,000							
Standort		Sorte									
1	1	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 1,0$	74 ^a	$\pm 36,5$	26 ^c	$\pm 36,6$	0 ^b	$\pm 0,0$
	2	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	35 ^b	$\pm 28,7$	60 ^b	$\pm 26,8$	6 ^a	$\pm 14,5$
	3	100	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	0 ^d	$\pm 0,0$	0 ^d	$\pm 0,0$	0 ^b	$\pm 0,0$
	4	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	13 ^c	$\pm 14,2$	87 ^a	$\pm 14,2$	0 ^b	$\pm 0,0$
	5	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	70 ^a	$\pm 27,6$	30 ^c	$\pm 27,6$	0 ^b	$\pm 0,0$
p-Wert						0,000		0,000		0,008	
2	1	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	36 ^b	$\pm 36,0$	64 ^a	$\pm 36,0$	0	$\pm 0,0$
	2	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	78 ^a	$\pm 10,9$	22 ^b	$\pm 10,9$	0	$\pm 0,0$
	3	0	$\pm 0,0$	100	$\pm 0,0$	0 ^c	$\pm 0,0$	0 ^b	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$

3	p-Wert	4	0	± 0,0	0	± 0,0	29 ^b ± 22,2	71 ^a ± 22,2	0	± 0,0
		1	3	± 6,8	12	± 17,8	19 ^b ± 12,4	50 ^a ± 28,0	16	± 17,5
		2	3	± 8,3	9	± 13,8	15 ^b ± 5,7	41 ^{ab} ± 16,6	31	± 7,7
		3	17	± 24,7	77	± 30,2	6 ^b ± 6,7	0 ^c ± 0,0	1	± 1,9
		4	6	± 11,2	7	± 11,5	13 ^b ± 15,5	28 ^b ± 13,7	45	± 15,9
		5	21	± 32,9	7	± 12,5	36 ^a ± 25,5	36 ^{ab} ± 28,6	0	± 0,0
4	p-Wert						0,000	0,000		0,000
	p-Wert	1	0	± 0,0	0	± 0,4	0 ^b ± 0,0	7 ^c ± 6,6	93 ^a ± 6,5	
		2	0	± 1,7	0	± 1,7	47 ^a ± 33,3	50 ^b ± 33,3	2 ^b ± 5,4	
		3	0	± 0,0	100	± 0,9	0 ^b ± 0,9	0 ^c ± 0,0	0 ^b ± 0,0	
		4	0	± 0,0	0	± 0,4	10 ^b ± 7,7	90 ^a ± 7,6	0 ^b ± 0,0	
		5	0	± 0,0	2	± 4,1	58 ^a ± 30,4	40 ^b ± 29,1	0 ^b ± 0,0	
	p-Wert						0,000	0,000		0,000

4.2.5 Farbhomogenität

Die Boniturnote "sehr inhomogen" wurde nur für die Blüten der Sorte 5 am Standort 3 und die Sorte 2 am Standort 4 verwendet. Die Boniturnote "inhomogen" wurde ebenfalls sehr selten vergeben. Auch hier stechen die Sorten 5 und 2 von Standort 3 und 4 mit jeweils 19 % heraus. Den größten Anteil an der Boniturnoten "sehr homogen" hatte an allen Standorten die Sorte 3. Die Sorten 2 und 4 hatten jeweils an drei Standorten den höchsten Anteil an der Boniturnoten "homogen" (Tab. 14).

Tab. 14: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen zum Parameter Farbhomogenität je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.

		sehr inhomogen		inhomogen		mittel homogen		homogen		sehr homogen	
Standort*Sorte	p-Wert	0,004		0,000		0,015		0,017		0,000	
Standort	Sorte	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1	1	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	20	$\pm 29,4$	80 ^b	$\pm 29,4$	0 ^b	$\pm 0,0$
	2	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,6$	19	$\pm 26,3$	81 ^b	$\pm 26,5$	0 ^b	$\pm 0,0$
	3	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	67 ^c	$\pm 47,9$	33 ^a	$\pm 47,9$
	4	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	10	$\pm 17,1$	90 ^a	$\pm 17,1$	0 ^b	$\pm 0,0$
	5	0	$\pm 0,0$	3	$\pm 15,2$	54	$\pm 27,1$	42 ^d	$\pm 24,9$	2 ^b	$\pm 8,7$
	p-Wert					0,000		0,000		0,000	
2	1	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	9	$\pm 17,6$	91 ^a	$\pm 17,6$	0 ^c	$\pm 0,0$
	2	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	19	$\pm 31,2$	81 ^a	$\pm 31,2$	0 ^c	$\pm 0,0$
	3	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	2 ^b	$\pm 4,7$	98 ^a	$\pm 4,7$
	4	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	0	$\pm 0,0$	91 ^a	$\pm 17,4$	9 ^b	$\pm 17,4$
	p-Wert					0,000		0,000		0,000	
3	1	0	$\pm 0,0$	0 ^b	$\pm 0,0$	7 ^c	$\pm 15,6$	28 ^a	$\pm 7,8$	66 ^{ab}	$\pm 17,0$
	2	0	$\pm 0,0$	1 ^b	$\pm 3,2$	22 ^{ab}	$\pm 7,5$	25 ^a	$\pm 11,7$	52 ^b	$\pm 14,2$
	3	0	$\pm 0,0$	2 ^b	$\pm 3,5$	8 ^{bc}	$\pm 11,7$	11 ^b	$\pm 14,3$	80 ^a	$\pm 24,8$
	4	0	$\pm 0,0$	2 ^b	$\pm 3,0$	14 ^{bc}	$\pm 12,9$	29 ^a	$\pm 8,4$	56 ^b	$\pm 20,0$
	5	4	$\pm 9,7$	19 ^a	$\pm 10,5$	29 ^a	$\pm 17,2$	37 ^a	$\pm 17,0$	11 ^c	$\pm 5,9$
	p-Wert	0,09		0,092		0,000		0,000		0,000	
4	1	0	$\pm 0,0$	0 ^b	$\pm 0,0$	5 ^c	$\pm 9,0$	9 ^{bc}	$\pm 6,1$	86 ^b	$\pm 13,1$
	2	4	$\pm 5,1$	19 ^a	$\pm 10,2$	40 ^b	$\pm 17,5$	26 ^a	$\pm 15,9$	10 ^c	$\pm 13,0$
	3	0	$\pm 0,4$	1 ^b	$\pm 2,6$	1 ^c	$\pm 3,4$	3 ^c	$\pm 6,1$	95 ^a	$\pm 9,6$
	4	0	$\pm 0,0$	0 ^b	$\pm 0,0$	0 ^c	$\pm 0,0$	11 ^b	$\pm 7,4$	89 ^b	$\pm 7,4$
	5	0	$\pm 0,0$	0 ^b	$\pm 0,0$	56 ^a	$\pm 27,0$	28 ^a	$\pm 28,3$	17 ^c	$\pm 5,8$
	p-Wert	0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	

4.2.6 Röhrenblütenfarbe

Die Blütenscheiben der Sorte 3 wurden an allen vier Standorten zu 98-100 % der Boniturnote "gelb" zugeordnet. Den größten Anteil an der Boniturnote "braun" hatte an den Standorten 3 und 4 die Sorte 5 (Tab. 15).

Tab. 15: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den drei Boniturstufen zum Parameter Röhrenblütenfarbe je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.

		gelb		orange		braun	
Standort*Sorte	p-Wert	0,268		0,132		0,009	
Sorte		MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1		1	$\pm$ 3,2	91	$\pm$ 25,0		
2		46	$\pm$ 28,9	41	$\pm$ 30,6		
3		99	$\pm$ 4,0	1	$\pm$ 2,8		
4		2	$\pm$ 4,6	86	$\pm$ 30,3		
5		39	$\pm$ 33,9	49	$\pm$ 30,3		
	p-Wert	0,106		0,016			
Standort							
1		43	$\pm$ 42,0	56 ^a	$\pm$ 42,5		
2		39	$\pm$ 41,2	16 ^b	$\pm$ 28,9		
3		43	$\pm$ 36,4	50 ^a	$\pm$ 38,5		
4		26	$\pm$ 40,3	66 ^a	$\pm$ 39,4		
	p-Wert	0,063		0,000			
Standort	Sorte						
1	1	0	$\pm$ 1,4	100	$\pm$ 1,4	0	$\pm$ 0,0
	2	57	$\pm$ 31,7	42	$\pm$ 32,0	1	$\pm$ 3,6
	3	98	$\pm$ 4,8	0	$\pm$ 0,9	1	$\pm$ 4,4
	4	1	$\pm$ 4,2	95	$\pm$ 17,1	3	$\pm$ 16,7
	5	60	$\pm$ 27,2	37	$\pm$ 26,3	2	$\pm$ 4,5
	p-Wert					0,467	
2	1	0	$\pm$ 0,0	31	$\pm$ 40,3	69 ^a	$\pm$ 40,3
	2	42	$\pm$ 19,1	7	$\pm$ 7,6	51 ^a	$\pm$ 22,2
	3	98	$\pm$ 5,8	2	$\pm$ 5,8	0 ^b	$\pm$ 0,0
	4	5	$\pm$ 7,2	29	$\pm$ 37,1	65 ^a	$\pm$ 35,0
	p-Wert					0,000	
3	1	6	$\pm$ 6,0	94	$\pm$ 6,0	0 ^b	$\pm$ 0,0
	2	48	$\pm$ 13,1	44	$\pm$ 18,3	7 ^b	$\pm$ 9,7
	3	100	$\pm$ 0,0	0	$\pm$ 0,0	0 ^b	$\pm$ 0,0
	4	6	$\pm$ 4,3	87	$\pm$ 20,9	8 ^b	$\pm$ 19,5
	5	51	$\pm$ 16,4	27	$\pm$ 14,0	23 ^a	$\pm$ 13,3
	p-Wert					0,000	

4	1	0	± 0,0	98	± 3,3	2 ^b	± 3,3
	2	31	± 28,1	55	± 28,5	14 ^a	± 13,0
	3	99	± 2,9	1	± 2,9	0 ^b	± 0,3
	4	0	± 0,0	100	± 0,5	0 ^b	± 0,5
	5	1	± 2,1	79	± 16,7	20 ^a	± 16,6
p-Wert						0,000	

4.2.7 Durchwachsene Zungenblüten

Für den Parameter Anzahl durchwachsener Zungenblüten wurden die Boniturnoten “viele“ und “sehr viele“ tendenziell seltener vergeben als die Boniturnoten “keine“, “wenige“ und mittel viele“. Sorte 5 zeigte einen signifikant höheren Anteil an der Boniturnote “keine“ als die anderen Sorten. Darüber hinaus lassen sich kaum sortenspezifische Tendenzen erkennen (Tab. 16).

Tab. 16: Relativer Anteil in % (MW $\pm$ STABW) an den fünf Boniturstufen zum Parameter durchwachsene Zungenblüten je Standort und Sorte. Werte mit verschiedenen Buchstaben je Boniturnote und Ort unterscheiden sich signifikant (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$). Werte der Gruppe mit höchsten Werten wurden eingefärbt.

		keine		wenige		mittel viele		viele		sehr viele	
Standort*Sorte	p-Wert	0.240		0.000234 ***		0.00117 **		7.33e-06 ***		0.088538 .	
Sorte		MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
1		31c	$\pm 33,1$							1	$\pm 4,1$
2		33c	$\pm 24,6$							1	$\pm 3,6$
3		43b	$\pm 24,3$							2	$\pm 5,6$
4		53b	$\pm 42,9$							5	$\pm 15,2$
5		61a	$\pm 26,6$							0	$\pm 1,4$
	p-Wert	4.11e-15 ***								0.103889	
Standort											
1		33b	$\pm 29,7$							0b	$\pm 2,7$
2		27b	$\pm 21,5$							3b	$\pm 6,9$
3		28b	$\pm 26,1$							8a	$\pm 17,0$
4		73a	$\pm 23,6$							1b	$\pm 2,8$
	p-Wert	< 2e-16 ***								0.000129 ***	
Standort	Sorte										
1	1	12	$\pm 15,0$	79 ^a	$\pm 26,3$	3 ^b	$\pm 7,4$	4	$\pm 17,4$	1	$\pm 5,8$
	2	32	$\pm 27,3$	46 ^b	$\pm 24,7$	16 ^a	$\pm 12,8$	6	$\pm 9,1$	0	$\pm 0,0$
	3	38	$\pm 26,2$	51 ^b	$\pm 27,5$	9 ^{ab}	$\pm 24,4$	2	$\pm 8,1$	0	$\pm 0,0$
	4	39	$\pm 41,7$	37 ^b	$\pm 39,3$	6 ^{ab}	$\pm 13,0$	5	$\pm 11,7$	0	$\pm 0,0$
	5	44	$\pm 25,0$	36 ^b	$\pm 24,6$	12 ^{ab}	$\pm 17,2$	8	$\pm 24,0$	0	$\pm 1,1$
	p-Wert			0,000		0,002		0,470			
2	1	10	$\pm 8,1$	42 ^a	$\pm 17,9$	13	$\pm 8,3$	34 ^a	$\pm 23,1$	0	$\pm 0,0$
	2	20	$\pm 14,2$	39 ^a	$\pm 7,4$	24	$\pm 7,1$	14 ^a	$\pm 9,5$	2	$\pm 3,9$
	3	30	$\pm 12,7$	33 ^a	$\pm 19,0$	22	$\pm 20,7$	8 ^b	$\pm 11,2$	7	$\pm 11,5$
	4	45	$\pm 27,7$	14 ^b	$\pm 10,9$	24	$\pm 36,9$	6 ^b	$\pm 8,1$	2	$\pm 4,3$
	p-Wert			0,007		0,694		0,000			
3	1	7	$\pm 10,7$	43 ^a	$\pm 15,1$	26 ^a	$\pm 14,8$	20 ^{ab}	$\pm 18,7$	2	$\pm 3,5$
	2	21	$\pm 16,5$	29 ^{ab}	$\pm 9,9$	20 ^{ab}	$\pm 8,0$	18 ^{ab}	$\pm 4,5$	4	$\pm 6,2$
	3	38	$\pm 9,9$	37 ^a	$\pm 11,0$	16 ^{ab}	$\pm 9,9$	6 ^b	$\pm 8,0$	2	$\pm 3,9$
	4	7	$\pm 10,9$	18 ^{bc}	$\pm 14,7$	11 ^b	$\pm 10,1$	24 ^a	$\pm 15,4$	30	$\pm 27,8$
	5	67	$\pm 15,4$	11 ^c	$\pm 10,6$	13 ^{ab}	$\pm 10,3$	7 ^b	$\pm 7,8$	1	$\pm 2,8$

4	p-Wert			0,000		0,008		0,002			
	1	78	± 10,1	8 ^b	± 8,5	13 ^b	± 7,1	1 ^b	± 2,3	0	± 0,0
	2	48	± 20,2	24 ^a	± 15,3	22 ^a	± 13,2	4 ^a	± 4,4	2	± 3,7
	3	59	± 24,0	22 ^a	± 15,2	12 ^b	± 11,4	3 ^a	± 3,9	3	± 4,1
	4	98	± 4,2	1 ^b	± 2,7	0 ^c	± 2,2	0 ^b	± 0,0	0	± 0,0
	5	84	± 10,2	8 ^b	± 4,9	7 ^{bc}	± 6,6	1 ^b	± 3,1	0	± 0,0
	p-Wert			0,000		0,000		0,000			

4.2.8 Sortenspezifische Blüteneigenschaften

Aus den in Kapitel 4.2 beschriebenen Ergebnissen lassen sich Tendenzen zu den jeweiligen Blüteneigenschaften der untersuchten Sorten ableiten (Tab. 17).

Tab. 17: Übersicht der Blüteneigenschaften je Sorte (+ = voll/groß/dunkel/viele;
- = ungefüllt/klein/hell/wenige)

Parameter	Sorte				
	1	2	3	4	5
Gefülltheitsgrad		+	-	+	-
Blütendurchmesser	+	+	+/-	-	+/-
Blütenscheibendurchmesser	+			-	
ZB-Farbe	+		-	+	
Homogenität		+/-	+	+	-
RB-Farbe			-		+
Durchwachsene ZB					-

4.3 Wirkstoffgehalte

4.3.1 Standortvergleich

Carotinoidgehalt

Bei der Untersuchung der Carotinoidgehalte der gewonnenen Proben wurden Werte zwischen 2,20-5,70 mg·g⁻¹ TM ermittelt. Im Vergleich der Wirkstoffgehalte der einzelnen Standorte für Sorte 1 konnten signifikante Unterschiede ($p = 2.27\text{e-}09$ ***) zwischen den Carotinoidgehalten festgestellt werden.

Standort 2 wies demnach für Sorte 1 die höchsten Carotinoidgehalte auf und unterschied sich signifikant von allen anderen Standorten. Standort 1 und 4 unterschieden sich signifikant von Standort 2 und 3. Standort 3 zeigte den geringsten Carotinoidgehalt der Sorte 1 (Abb. 20).

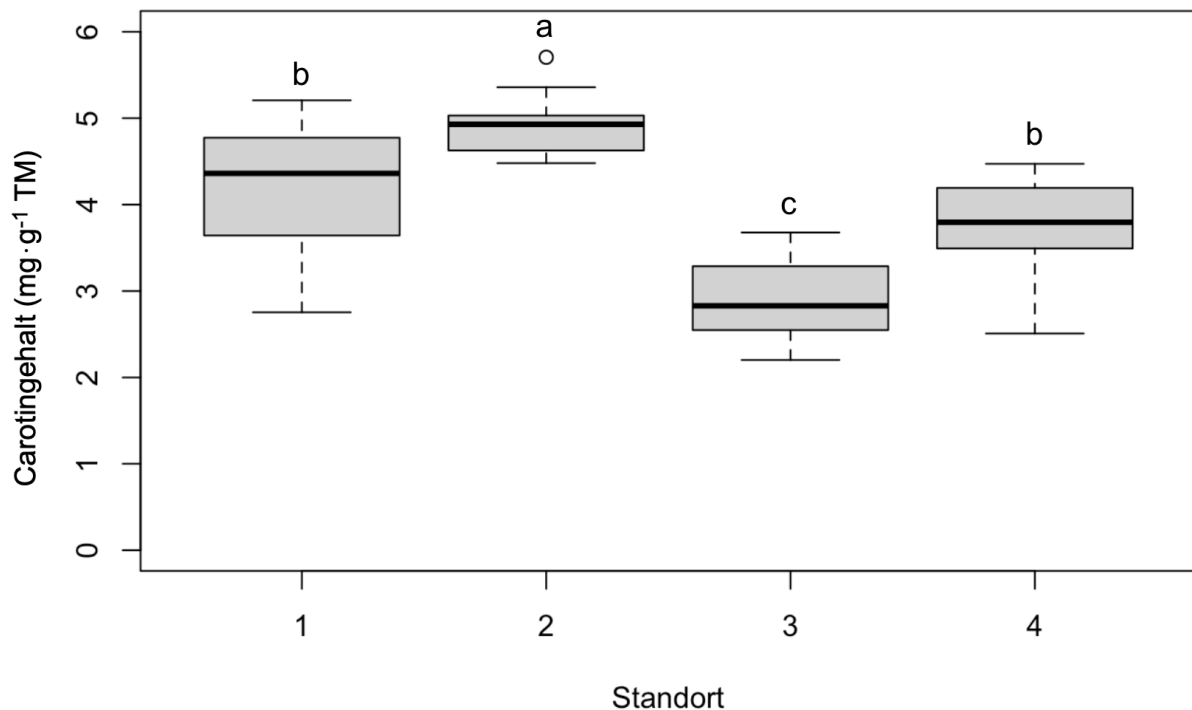


Abb. 20: Carotinoidgehalt (mg·g⁻¹ TM) je Standort, Sorte 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

Polyphenolgehalt

Im Vergleich der Wirkstoffgehalte der einzelnen Standorte für Sorte 1 konnten signifikante Unterschiede ($9.10\text{e-}11$ ***) zwischen den Polyphenolgehalten festgestellt werden. Dabei zeigte Standort 2 signifikant höhere Werte als alle anderen Standorte. Standort 1 und 3 zeigten mittlere Werte und unterschieden sich signifikant von den anderen Standorten. Standort 4 zeigte die geringsten Polyphenolgehalte (Abb. 21).

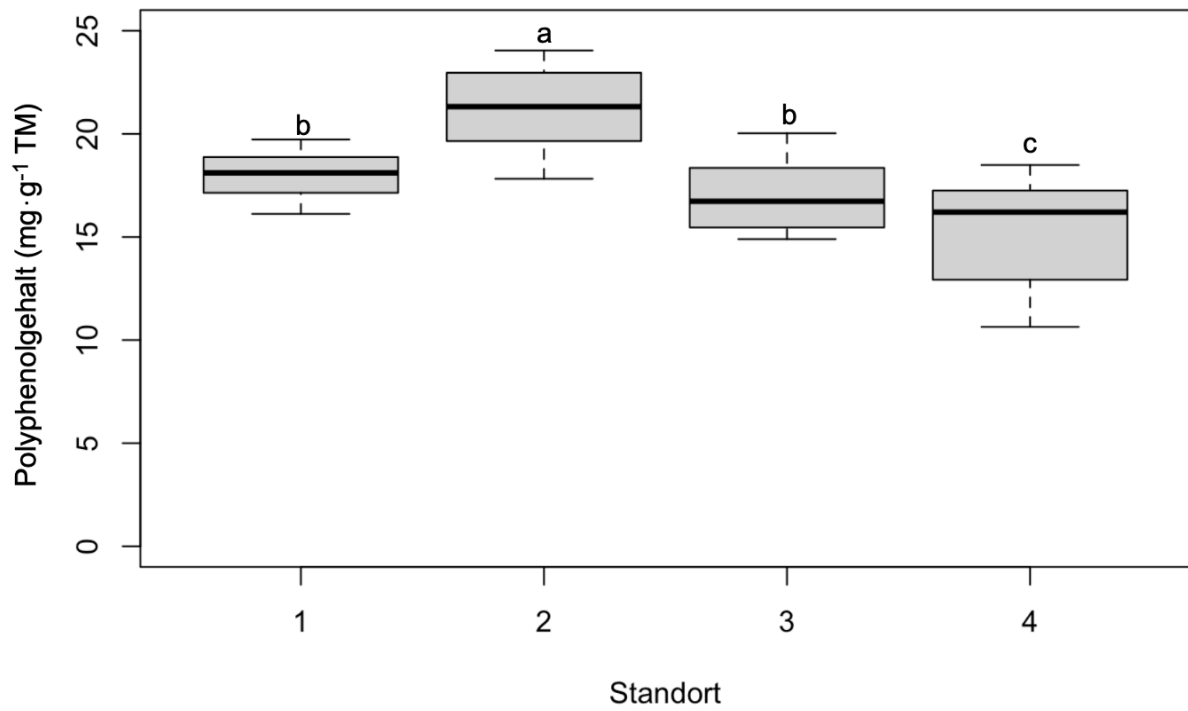


Abb. 21: Polyphenolgehalt (mg·g⁻¹ TM) je Standort, Sorte 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

4.3.2 Sortenvergleich

Im Folgenden wird der Sortenunterschied für den Polyphenol- und Carotinoidgehalt für alle Sorten von Standort 1 beschrieben.

Carotinoidgehalt

Der Carotinoidgehalt der Sorten von Standort 1 unterschied sich signifikant ($p = 7.41e-08$ ***). Die Sorten 1 und 4 zeigten höhere Werte als die Sorten 2, 3 und 5 (Abb. 22).

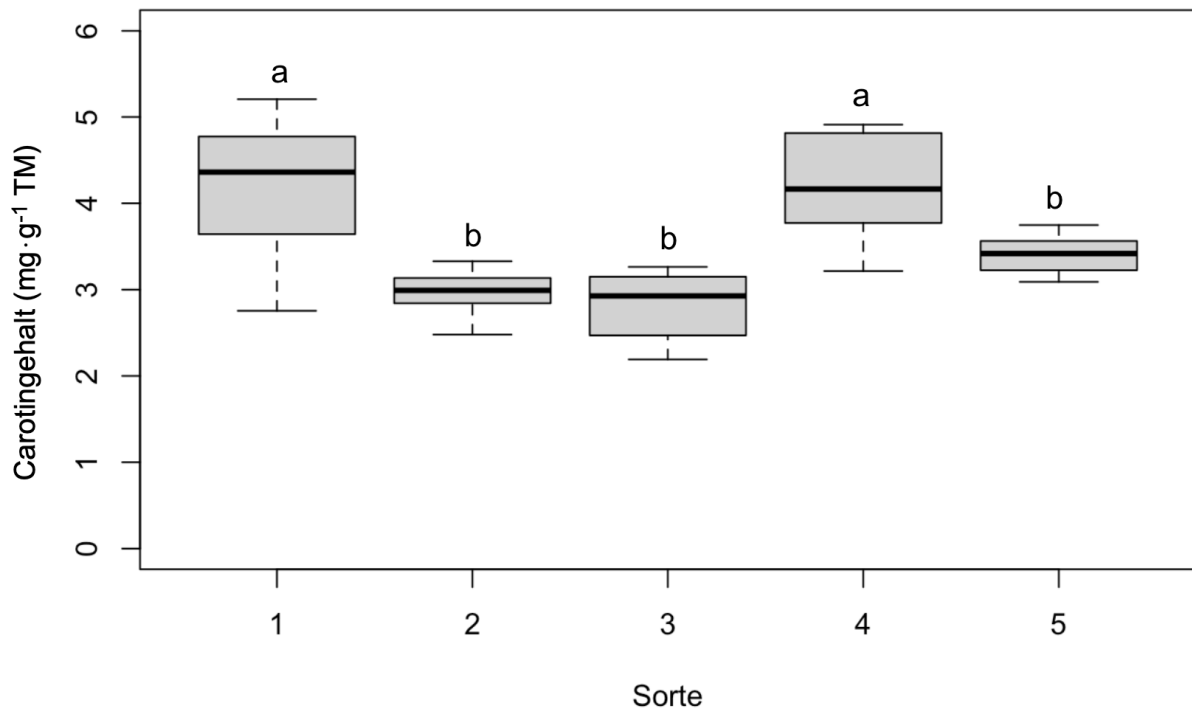


Abb. 22: Carotinoidgehalt (mg·g⁻¹ TM) je Sorte, Standort 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

Polyphenolgehalt

Der Polyphenolgehalt unterschied sich ebenfalls signifikant zwischen den Sorten ($p = 2.38e-06$ ***). Den höchsten Polyphenolgehalt zeigten die Sorten 3, 4 und 5, wobei sich die Sorten 4 und 5 signifikant von Sorte 1 und 2 unterschieden. Sorte 3 unterschied sich signifikant von Sorte 1 und Sorte 2 signifikant von Sorte 4 und 5. Sorte 1 wies den geringsten Polyphenolgehalt auf und unterschied sich damit signifikant von Sorte 3, 4 und 5 (Abb. 23).

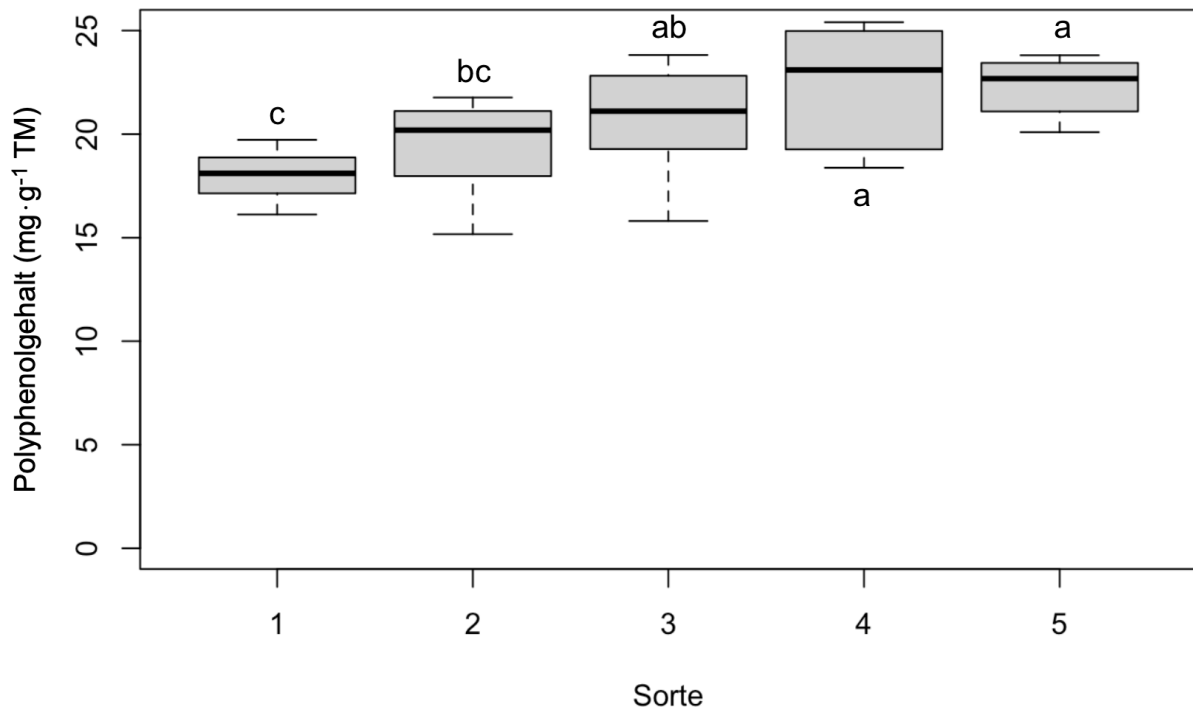


Abb. 23: Polyphenolgehalt ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ TM}$) je Sorte, Standort 1. Unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede (Tukey's HSD-Test, $\alpha = 0,05$).

4.3.3 Einfluss von Gefülltheitsgrad und Erntezeitpunkt

Bei den Wirkstoffanalysen von Blüten, deren Erntezeitpunkt oder Gefülltheitsgrad sich unterschied, handelte es sich um Vorversuche, bei denen die räumliche bzw. zeitliche Wiederholung fehlte. Diese Ergebnisse können daher nur erste Anhaltspunkte geben. Sie deuten jedoch darauf hin, dass der Erntezeitpunkt einen Einfluss auf die Wirkstoffgehalte hat (Anhang, Abb. 32, Abb. 33, Abb. 34 und Abb. 35).

4.4 Sortenfazit

Orange King (1)

Die Sorte Orange King hat bei den pflanzenbaulichen Parametern insgesamt gut abgeschnitten. Sie erwies sich an drei Standorten als eine der höchsten Sorten und erbrachte an zwei Standorten insgesamt die höchsten TM-Erträge. Jedoch war auch der Mehltaubefall von Sorte 1 an drei Standorten am höchsten.

In der Beschreibung der Blüteneigenschaften sind ein großer Blüten- und Blütenscheibendurchmesser, sowie eine orange bis tieforangene Farbe der ZB aufgefallen. Der Carotinoidgehalt von Sorte 1 zeigte sich im Vergleich zu den anderen Sorten als einer der höchsten. Der Polyphenolgehalt von Sorte 1 war dagegen am geringsten.

Erfurter Orangefarbige (2)

Die Sorte Erfurter Orangefarbige zeigte bei den pflanzenbaulichen Parametern durchschnittliche Ergebnisse. Lediglich ihr TM-Ertrag brachte an einem Standort den höchsten Wert.

In der Beschreibung der Blüteneigenschaften ist ein großer Blütendurchmesser bei gleichzeitig hohem Gefülltheitsgrad positiv aufgefallen. Die Farbhomogenität von dieser Sorte divergierte zwischen den Standorten.

Die Wirkstoffgehalte (Carotinoide und Polyphenole) zeigten niedrige Werte.

Golden Emperor (3)

Die Sorte Golden Emperor ist im Feldanbau an allen Standorten durch ihre geringe Höhe aufgefallen (ca. 40 cm). Ihr TM-Ertrag war an einem Standort am höchsten.

In der Beschreibung der Blüteneigenschaften konnte Sorte 3 lediglich mit einer hohen Farbhomogenität punkten. Die Farbe der ZB und RB war sehr hell. Der Blütendurchmesser unterschied sich teilweise stark.

Der Carotinoidgehalt von Sorte 3 war eher gering. Der Polyphenolgehalt gehörte zu den höchsten.

Salucalend (4)

Die Sorte Salucalend stach vor allem durch ihre Widerstandsfähigkeit gegen Mehltau hervor. So zeigte sie an allen Standorten den geringsten Befall. Während der TM-Ertrag an zwei Standorten am zweithöchsten war, war dieser an einem Standort am geringsten.

In der Beschreibung der Blüteneigenschaften zeigte Sorte 4 einen hohen Gefülltheitsgrad, hohe Farbhomogenität und tieforangene Blüten. Der Durchmesser von Blüte und Blütenscheibe war eher gering.

Sorte 4 zeichnete sich durch den höchsten Gehalt an Carotinoiden und Polyphenolen aus.

Balls Orange (5)

Die Sorte Balls Orange war an drei Standorten die Sorte mit dem geringsten Ertrag. Auch war der Mehltaubefall für Sorte 5 an einem Standort am höchsten. Positiv aufgefallen ist sie insgesamt durch ihre Größe, wobei sie an einem Standort sogar die höchsten Werte aufwies. In der Beschreibung der Blüteneigenschaften zeigte Sorte 5 einen geringen Gefülltheitsgrad, teilweise geringe Blütendurchmesser, kaum durchwachsene Zungenblüten und geringe Farbhomogenität. Neben mittleren Werten für die Farbe der ZB fiel die Farbe der RB als überwiegend dunkel auf.

Der Polyphenolgehalt von Sorte 5 gehörte zu den höchsten, während der Carotinoidgehalt zu den geringsten zählte.

5 Diskussion

Im Folgenden werden die beschriebenen Ergebnisse in die bestehende Literatur eingeordnet und diskutiert. Grundlage hierfür bieten die aufgestellten Forschungsfragen nach dem Einfluss der Bodenklimaräume und der Sortenwahl auf die gemessenen Parameter. Anschließend werden Herausforderungen der Methodik diskutiert und ein Ausblick gegeben.

5.1 Pflanzenbauliche Eigenschaften

Die Auswertung der agronomischen Parameter der fünf Ringelblumensorten zeigten tendenzielle, teilweise auch signifikante Sortenunterschiede für die Parameter Feldaufgang, Höhe, Mehltaubefall und Ertrag.

Der hohe Feldaufgang von Standort 2 und 4 könnte mit der jeweiligen Bodenwertzahl zusammenhängen. Der trotz hoher Bodenwertzahl geringe Feldaufgang am Standort 1 steht dem jedoch entgegen, wobei hier der sehr lückige Feldaufgang, bedingt durch das nasskalte Frühjahr, keinen Vergleich zulässt. Der Feldaufgang der Sorten 1, 2 und 5 ist vergleichbar mit der Untersuchung von Schäfer (2017). Sorte 4 zeigte die höchste Anzahl Pflanzen m^{-1} . Hier lag die Keimfähigkeit eventuell doch höher als vorangegangene Untersuchungen der Keimfähigkeit erwarten ließen. Insgesamt zeigte der Feldaufgang der fünf Sorten keine starken Abweichungen.

Die Pflanzenhöhen waren zwar nicht standortübergreifend auswertbar, zeigten aber an allen Standorten vergleichbare Tendenzen. Es sind lediglich zeitliche Verschiebungen der Höhen je Standort zu erkennen. Hieraus lässt sich ableiten, dass sich die Höhen der einzelnen Sorten, unabhängig vom Bodenklimaraum, entsprechend zueinander verhalten. Dabei zeigten die Höhenmessungen von Sorte 1, 2 und 5 mit Schäfer (2017) vergleichbare Ergebnisse. Die geringe Höhe von Sorte 3 lag an allen Standorten 10 cm unter der Produktbeschreibung derzeitiger Anbieter (Samenhaus 2023).

Der Boniturzeitraum beleuchtete nicht die gesamte Vegetationsperiode der Ringelblumen. Aus diesem Grund zeigte sich nur bei den letzten Bonituren ein Befall mit echtem Mehltau. Trotzdem ist zu erkennen, dass Sorte 4 an allen Standorten tendenziell den geringsten Befall aufwies. Da die Sorte jedoch auch einen späteren Erntezeitraum (Anhang, Abb. 28) hatte, sind dadurch nicht unbedingt höhere Gesamterträge während einer ganzen Saison zu erwarten. Hierfür wäre eine Ertragserhebung während einer gesamten Saison nötig. Insgesamt konnten an allen Standorten Sortenunterschiede festgestellt werden. Dabei wurden

Standortunterschiede vermutlich primär durch abweichende Verteilung der Regenmengen im Juni und Juli hervorgerufen.

Die Ertragssummen der TM zeigten klare Standortunterschiede. Der hohe TM-Ertrag von Standort 4 könnte durch eine längere Ernteperiode bedingt sein. Die sehr ertragreiche Ernte von Standort 2, bei niedrigerer Bodenwertzahl, geringerem Feldaufgang und kürzerem Erntezeitraum, widerspricht dieser Annahme jedoch. Insgesamt zeigen die Bodenwertzahlen und Erntesummen hier keinen Zusammenhang. Der geringe Ertrag von Standort 1 könnte mit dem geringeren Feldaufgang zusammenhängen, wobei durch Verlegung der Boniturahmen in dichtere Randreihen keine Auswirkungen zu erwarten gewesen wären. Auch der Abgleich der Klimadiagramme im Versuchszeitraum lässt auf keine Ursachen schließen, weswegen über diesen Standortunterschied keine Aussage getroffen werden kann.

Die Gesamterträge der einzelnen Sorten sind 55-75 % geringer als die Jahreserträge, die Dachler und Pelzmann (2017b) angeben. Die Literaturangaben für Blütenerträge der Ringelblume unterscheiden sich jedoch stark. Demnach entsprechen die vorliegenden Ergebnisse den Angaben von Martin und Deo (2000). Beim Vergleich muss beachtet werden, dass es sich um die Ertragssumme aus drei Ernten handelt und nicht um die Gesamterträge eines Jahres.

Die sortenspezifische Auswertung der Erträge zeigt, wie in der Arbeit von Schäfer (2017), für Sorte 1 signifikant höhere Erträge als für Sorte 5. Sorte 2 ergab im Mittel eine Ertragssumme von 70 g TM m^{-2} und liegt damit unter einem Jahresertrag von 170 g TM m^{-2} den Richter (2007) beschrieb. Auch hier sind voraussichtlich höhere Jahreserträge erwartbar. Für Sorte 4 sind durch die höhere Mehlauresistenz ein verlängerter Erntezeitraum, und damit verbunden, höhere Erträge denkbar. Gleichzeitig liegt hier aber das Erntezeitfenster weiter hinten, sodass sich dieser Effekt aufheben könnte. Eine Untersuchung über eine ganze Saison wäre sinnvoll.

5.2 Blüteneigenschaften

Die Auswertung der Blüteneigenschaften ergab für alle sieben Parameter eine Standort:Sorte-Interaktion. Bei der Betrachtung einzelner Parameter zeigen sich große Standortunterschiede. Unklar ist dabei, ob diese Unterschiede aufgrund der verschiedenen bodenklimatischen Räume entstanden sind oder durch subjektive Einschätzungen der bonitierenden Personen. Die Ergebnisse der Blütenbonituren bieten dennoch erste Einblicke in tendenziell sortenspezifische Blüteneigenschaften, welche es in weiteren Untersuchungen zu belegen gilt. Da diese Methode gerade erst entwickelt wurde und im Rahmen dieser Arbeit erst zum zweiten Mal Anwendung fand, liegt nur eine vergleichbare Untersuchung vor (Schäfer 2017), mit der die Ergebnisse für Sorte 1, 2 und 5 verglichen werden können.

Blüten der Sorte 1 wurden in beiden Arbeiten als eher groß und tieforange beschrieben. Die Blüten der Sorte 2 zeigten in der Untersuchung von Schäfer (2017) einen geringeren

Blütendurchmesser und Gefülltheitsgrad als die Blüten, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden. Blüten der Sorte 5 zeigten bei Schäfer (2017) im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit eher gelbe Blütenscheiben. Übereinstimmend wurde die Sorte 5 als eher ungefüllt und inhomogen gefärbt beschrieben (Schäfer 2017). Beim Vergleich der beiden Arbeiten sind Einflüsse durch sich unterscheidende Saatgutherkünfte, Bodenklimaräume und Pflegemaßnahmen anzunehmen. Beschreibungen der Blüten der Sorten 3 und 4 finden sich nicht in der Literatur und können daher nicht erörtert werden.

5.3 Wirkstoffgehalte

Die Wirkstoffanalysen ergaben klare Standortunterschiede, womit ein starker Einfluss der Bodenklimaräume auf einzelne Wirkstoffgehalte bestätigt werden konnte (Sausserde und Kampuss 2014). Dabei zeigen sich keine einheitlichen Zusammenhänge, da für einzelne Standorte zwar hohe Carotinoidgehalte, aber nur niedrige Polyphenolgehalte gemessen wurden.

Auch die standortspezifische Kulturführung kann einen Einfluss auf die Wirkstoffkonzentration gehabt haben. So waren die Bewässerung und Pflegemaßnahmen von der Ausstattung der Versuchsstandorte und dem Ermessen der versuchsleitenden Personen abhängig.

Die Literaturangaben für den Gesamtgehalt von Carotinoiden unterscheiden sich teilweise stark, was durch methodische Unterschiede begründet sein kann. Während Raal et al. (2009) ZB und RB von den getrockneten Blüten analysiert haben, haben Ivasenko et al. (2000) das gesamte Blütenköpfchen analysiert, was niedrigere Carotinoidgehalte begründet (vgl. Isaac 1992). Aber auch sortenspezifische Carotinoidgehalte unterscheiden sich scheinbar sehr stark. So variierten die Carotinoidgehalte verschiedener Sorten in Vorversuchen von Toom et al. (2007) teilweise um das 17-fache.

Der Carotinoidgehalt dieser Versuchsreihe ist geringer als die durchschnittlichen Gehalte die Raal et al. (2009) beschrieben haben. Im direkten Vergleich der Sorten liegen die Werte für die Sorten 1, 3 und 5 sogar etwa 90 % unter denen von Raal et al. (2009).

Dieser große Unterschied kann methodische Ursachen haben. So wurden die beprobten Pflanzen in der Untersuchung von Raal et al. (2009) in drei Hausgärten ohne biologische Wiederholung angebaut. Bodenart, Bodenwertzahl und jeweilige Nährstoffversorgung der Pflanzen wurden nicht erläutert, könnten jedoch zu höheren Werten geführt haben.

Die von Ivasenko et al. (2000) ermittelten Werte stimmen mit den hier beschriebenen Ergebnissen überein, wobei eigentlich die Vergleichbarkeit durch methodische Unterschiede eingeschränkt ist, da in der vorliegenden Arbeit mit frischen, gefrorenen Blütenblättern (ZB und RB) gearbeitet wurde.

Der Polyphenolgehalt der Sorten 1 bis 5 bewegt sich genau zwischen den Angaben aus der Literatur (vgl. Cetkovic et al. 2003, Fonseca et al. 2009). Sortenspezifische Polyphenolgehalte anderer Untersuchungen liegen derzeit nicht vor.

Abschließend kann man festhalten, dass Sorte 4 für beide Wirkstoffe sehr gute Ergebnisse zeigte. Die anderen Sorten schnitten je Wirkstoff unterschiedlich ab.

5.4 Methodische Herausforderungen

Die größte methodische Herausforderung dieser Arbeit lag in der Umsetzung des Versuchsdesigns an den verschiedenen Standorten. Neben der technischen Ausstattung unterschied sich vor allem die zeitliche Kapazität der einzelnen Standorte, was eine Anpassung des Versuchsdesigns erforderte. Diese Herausforderung konnte durch engen Kontakt zu den versuchsleitenden Personen und ausführliche Absprachen gut gemeistert werden. So konnte zusätzlich zur Untersuchung der pflanzenbaulichen Parametern und Wirkstoffgehalte geernteter Blüten erstmals auch eine standortübergreifende Blütenbonitur für Ringelblumen durchgeführt werden.

Feldversuch und Bonitur pflanzenbaulicher Parameter

Am Standort 1 war der Feldaufgang sehr lückig. In den Randreihen war er jedoch bedeutend höher, was darauf hindeutet, dass der Reifendruck der Sämaschine den nötigen Bodenschluss zur Keimung ergeben hat. Bei weiteren Versuchen wäre eine Erhöhung des Bodenschlusses durch Walzen daher sinnvoll.

Da der Grad der Verzweigung nicht erhoben wurde, kann nicht bewertet werden, inwieweit der Raum, der den Pflanzen in der Breite zur Verfügung stand, die Höhe beeinflusst hat. So könnte der lückige Feldaufgang am Standort 1 zu mehr Verzweigungen je Pflanze geführt haben. Diese unbekannte Variable wäre ein wichtiger Ertragsparameter.

Durch den begrenzten Versuchszeitraum konnten Gesamtertrag und Mehлтаubeständigkeit nicht allumfassend beurteilt werden. Hier wäre die Versuchsausweitung auf ein gesamtes Wirtschaftsjahr wünschenswert.

Blütenbonitur

Die Blütenbonitur war sehr zeitaufwändig und für die Praxisbetriebe nur schwer in den Arbeitsalltag zu integrieren. Insgesamt ist daher eine Reduzierung des Bonitumfangs sinnvoll. Dabei sollte vordergründig diskutiert werden, welche Blüteneigenschaften relevant sind. Da der Zusammenhang von Blüteneigenschaften und Wirkstoffgehalten unklar ist, stellt sich diese Entscheidung jedoch als schwierig dar. Eine weitere Möglichkeit wäre die Reduzierung der Anzahl an Boniturnoten, da sich bei der Auswertung zeigte, dass einige Noten kaum verwendet wurden. Grund hierfür könnte eine zu unklare Trennung der einzelnen Boniturnoten (z. B.: "mittel viele" vs. "viele" vs. "sehr viele") sein. Hier wären drei Boniturnoten

eindeutiger. Die Durchführung der Bonituren von einem geschulten, mobilen Boniturteam kann ebenfalls eine Alternative darstellen. Hierdurch würden auch subjektive Einschätzungen der Bonitierenden minimiert werden. Für zukünftige Forschungsvorhaben empfiehlt sich außerdem die Entwicklung einer parameterübergreifenden Auswertungsmethode.

Wirkstoffmessung

Da die Ergebnisse der sortenspezifischen Wirkstoffgehalte nicht auf andere Standorte übertragbar sind, wäre die Analyse der Proben aller Standorte sehr wichtig. Die exakten Einflussvariablen auf die einzelnen Wirkstoffe können nur unter standardisierten Bedingungen eindeutig gemessen werden. Hierfür bieten sich Topfversuche im Gewächshaus an. Neben agronomischen Parametern gilt es, auch Blüteneigenschaften hinsichtlich ihres Einflusses auf den Wirkstoffgehalt zu untersuchen.

5.5 Ausblick

Insgesamt zeigt die vorliegende Arbeit, dass es bei der Beschreibung einzelner Ringelblumensorten nur wenig Vergleichsliteratur und somit noch große Wissenslücken gibt. Erst eine Wiederholung der durchgeführten Versuchsreihe in einem weiteren Jahr würde zeigen, ob die Ergebnisse repräsentativ sind. Dabei wird eine Untersuchung mit Versuchsanlagen an mehreren, möglichst heterogenen Standorten dringend empfohlen. Auch die Untersuchung anderer Sorten und Herkünfte würde das Gesamtbild erweitern. Da die Qualitätsparameter für AuG im Allgemeinen sehr breit gefächert sind, sollten zukünftig möglichst viele Wirkstoffgruppen in die Qualitätsmessung aufgenommen werden. Untersuchungen, die den Einfluss von Anbau- und Ernteverfahren, sowie Blüteneigenschaften auf die Wirkstoffgehalte erforschen, wären ebenfalls sinnvoll.

6 Abstract

Marigold (*Calendula officinalis* L.) is one of the most widely used medicinal and aromatic plants and is mainly used in phytomedicine. The present study investigated five varieties of marigold from different pedoclimatic regions for differences in terms of agronomic performance, flower characteristics and concentrations of substances. The influences of different pedoclimatic regions and variety-specific properties were summarized. Further studies are needed to describe the influence of different varieties and pedoclimatic regions on the resulting flower drug more comprehensively.

7 Fazit

In Zusammenarbeit mit den vier Versuchsstandorten konnten im Rahmen dieser Arbeit umfassende Daten zu den agronomischen Besonderheiten, Wirkstoffgehalten und Blüteneigenschaften von fünf Ringelblumensorten gesammelt werden. Hierfür wurde ein breites Methodenspektrum zusammengestellt. Dazu gehörte die erstmalige Durchführung einer standortübergreifenden Blütenbonitur. Dabei entstandene Herausforderungen konnten für folgende Forschungsvorhaben gesammelt und kenntlich gemacht werden. Spezifische Sorteneigenschaften wurden zusammengetragen und Einflüsse der verschiedenen Bodenklimaräume beschrieben.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Miriam Athmann und Fabian Weber für die Bereitstellung des Themas und die professionelle Betreuung danken. Darüber hinaus danke ich Hanna Blum für die fachliche Beratung und den Kontakt zu Praxisbetrieben und Forschungsnetzwerken. Ich danke allen Beteiligten an den vier Versuchsstandorten, ohne deren Engagement diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Besonderer Dank gilt Charlotte Junker für die enge Zusammenarbeit, fachliche Begleitung und viele Telefonate über das gesamte Versuchsjahr. Ich danke allen beteiligten Fachgebieten der Universität Kassel, allem voran dem Versuchswesen der Domäne Frankenhausen und den Laborleiterinnen. Für Rückenwind und Korrektur danke ich meiner Familie und meinen Freunden, ihr bedeutet mir die Welt.

Literaturverzeichnis

Adam, L. Hoppe, B. (Hrsg.) 2009. Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus – Band 1. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA e.V., Bernburg, 15-20.

Al-Snafi, A. E. 2015. The chemical constituents and pharmacological effects of *Calendula officinalis*-A review. Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research, 5(3), 172-185.

Armbrüster, N. Roth-Ehrang, R. 2021. Fit für die Zukunft! Phytopharmaka müssen attraktiver werden. Zeitschrift für Phytotherapie, 42(02), 95-99. DOI 10.1055/a-1336-6262.

BLE. 2020. Was sind Arznei- und Gewürzpflanzen? [online] Verfügbar unter: <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/spezieller-pflanzenbau/arznei-und-gewuerzpflanzen/> [Stand: 01.08.2023].

Bown, D. 2007. Cultivars of *Calendula*. In: The herb society of America, 2007. *Calendula* – An Herb Society of America Guide, 14-18.

Brandt, M. Wildhagen H. Hess, J. 2001. Bodenmonitoring auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen. Kartier- und Analysenergebnisse. GhK, Fachgebiet Bodenkunde (Arbeitsberichte/Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich 11, Fachgebiet Bodenkunde), Witzenhausen.

Castenmiller, J. J. M. West, C. E. 1998. Bioavailability and Bioconversion of Carotenoids. Annual Review of Nutrition, 18(1), 19–38. DOI:10.1146/annurev.nutr.18.1.19.

Cetkovic, G. Djilas, S. Canadanovic-Brunet, J. Tumbas, V. 2003. Thin-Layer Chromatography Analysis and Scavenging Activity of Marigold (*Calendula officinalis* L.) Extracts. Acta Period. Technol, 34, 93–102.

Dachler, M. Pelzmann, H. 2017a. Arznei- und Gewürzpflanzen -Lehrbuch für Anbau, Ernte und Aufbereitung. Cadmos Verlag GmbH, München, 30-33.

Dachler, M. Pelzmann, H. 2017b. Arznei- und Gewürzpflanzen -Lehrbuch für Anbau, Ernte und Aufbereitung. Cadmos Verlag GmbH, München, 236-238.

Duke, M. 2007. The Medicinal Point of View - An Herb A Day: Pot Marigold — Can Calendula Check Cancer? In: The herb society of America, 2007. Calendula – An Herb Society of America Guide, 11-12.

El-Ansari, M. A., Ibrahim, L. F. Sharaf, M. 2019. Natural phenolics: a source of anticancer agents. Egyptian Pharmaceutical Journal, 18(1), 1-7.

Europäische Arzneibuch-Kommission [Hrsg.] 2014: Europäisches Arzneibuch (Ph.Eur.8.0) Grundwerk 2014, Band 2: Monographiegruppen, Monographien A-G. 8. Ausgabe, Deutscher Apothekerverlag, Berlin, 2037-2039.

FNR. 2023a. Arzneipflanzenproduktion. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. [online] Verfügbar unter: <https://pflanzen.fnr.de/industriepflanzen/arzneipflanzen/arzneipflanzenproduktion> [Stand: 01.05.2023].

FNR. 2023b. Arzneipflanzen – Ringelblume (*Calendula officinalis* L.). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. [online] Verfügbar unter: <https://pflanzen.fnr.de/industriepflanzen/arzneipflanzen/pflanzen-auswahl/ringelblume> [Stand: 01.05.2023].

Fonseca, Y. M., Catini, C. D., Vicentini, F. T., Nomizo, A., Gerlach, R. F., Fonseca, M. J. V. 2010. Protective effect of *Calendula officinalis* extract against UVB-induced oxidative stress in skin: Evaluation of reduced glutathione levels and matrix metalloproteinase secretion. Journal of ethnopharmacology, 127(3), 596-601. DOI:10.1016/j.jep.2009.12.019.

Gaster, C. 1999. Carotinoide: Rot und Gelb halten fit. UGB – Forum 1/99. [pdf] Verfügbar unter: <https://www.fairberaten.net/ernaehrungsplan-praevention/carotinoide/druckansicht.pdf> [Stand: 06.08.23].

Gebhardt, B. 2022. Status Quo und Potentiale des ökologischen Heil-, Kosmetik- und Gewürzpflanzenanbaus in Baden-Württemberg. Studienbericht & Supplement. DOI:10.22004/ag.econ.320311.

Goodwin, T. W. 1954. Studies in carotenogenesis. 13. The carotenoids of the flower petals of *Calendula officinalis*. Biochemical Journal, 58(1), 90. DOI: 10.1042/bj0580090.

Heeger, E. F. 1989. Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaues. Repr. d. 1. Auflage (1956). Deutscher Landwirtschaftsverlag, Frankfurt am Main.

Hoppe, B. 2005. Studie zum Stand des Anbaus von Arznei- und Gewürzpflanzen in Deutschland (2003) und Abschätzung der Entwicklungstrends in den Folgejahren. [pdf]. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Verfügbar unter: <https://digital.bibliothek.uni-halle.de/pe/urn/urn:nbn:de:gbv:3:2-46519> [Stand 02.05.2023].

Isaac, O. 1992. Die Ringelblume – Botanik, Chemie, Pharmakologie, Toxikologie, Pharmazie und therapeutische Verwendung. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.

John, M. Samaha, S. M. 2017. Myths and Legends of Calendula. In: The herb society of America, 2007. Calendula – An Herb Society of America Guide, 5-6.

Kasielke, T. 2010. Pflanzenporträt: *Calendula officinalis* – Garten-Ringelblume, Heilpflanze des Jahres 2009 und *Calendula arvensis* – Acker-Ringelblume (Asteraceae). Jahrbuch Bochumer Botanik, Bochum, 193-196.

Kleinod, K. 2020. Evaluation and preparation of grape pomace extract as a potential replacement of ethoxyquin in fish meal. [Masterthesis] Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Köhler, H. A. 1887. Köhler's Medizinal-Pflanzen in naturgetreuen Abbildungen mit kurz erläuterndem Texte. Atlas zur *Pharmacopoea germanica, austriaca, belgica, danica, helvetica, hungarica, rossica, suecica, Neerlandica, British pharmacopoeia*, zum Codex *medicamentarius*, sowie zur *Pharmacopoeia* of the United States of America.

Kozak, M. Piepho, H. P. 2018. What's normal anyway? Residual plots are more telling than significance tests when checking ANOVA assumptions. Journal of agronomy and crop science, 204(1), 86-98.

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH). 2023. Wetterstation Domäne Frankehausen. [online] Verfügbar unter: <https://www.wetter.llh-hessen.de/Internet/AM/NotesHeAM.nsf/heamweb/a8220d008f57386bc1257c7000501eec?OpenDocument&TableRow=2.1.1,2.6#2.1>. [Stand: 24.10.23].

LCI (Lebensmittelchemisches Institut des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e.V.). 2003. Was sind eigentlich Polyphenole? SÜSSWAREN, 2003(9).

Marquard, R. Kroth, E. 2001. Anbau und Qualitätsanforderungen ausgewählter Arzneipflanzen. Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.

Martin, R. J. Deo, B. 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production, New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 28(1). 37-44. DOI: 10.1080/01140671.2000.9514120.

Meyer, K. 2002. Carotinoide — Bedeutung und technische Synthesen: Farbenfrohe Antioxidantien. Chemie in unserer Zeit, 36(3), 178-192.

Mielke, H. Schöber-Butin, B. 2007. Mitteilung aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem - Heil- und Gewürzpflanzen -Anbau und Verwendung. Arno Brynda, Berlin, 140-143.

Mortimer, C. E. und Müller, U. 2014.: Chemie. das Basiswissen der Chemie. Thieme, Stuttgart, 520-521.

Nordlindh, T. *Calendulae* – Systematic Review. In: Heywood, V. H., Harborne, J. B., Turner, B. (Hrsg.) 1977. The Biology and Chemistry of the *Compositae*. Academic Press, London, 961-987.

Novak, J. Blaschek, W. 2013. Ringelblume (*Calendula officinalis* L.) In: Hoppe, B. (Hrsg.) 2013. Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus – Band 5. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen Saluplanta, 369-379.

Pharmasaat. 2023a. *Calendula officinalis*, Ringelblume, Orange King, BIO. [online] Verfügbar unter: <https://www.pharmasaat.de/onlineshop/Biosaatgut-fuer-Kraeuter/Calendula-officinalis-Ringelblume-Orange-King-BIO::49.html>. [Stand: 28.11.2023].

Pharmasaat. 2023b. *Calendula officinalis*, Ringelblume, Erfurter Orangefarbige, BIO. [online] Verfügbar unter: <https://www.pharmasaat.de/onlineshop/Biosaatgut-fuer-Kraeuter/Calendula-officinalis-Ringelblume-Erfurter-Orangefarbige-BIO::67.html> [Stand: 28.11.2023].

Pharmasaat. 2023c. *Calendula officinalis*, Ringelblume ‚Golden Emperor‘. [online] Verfügbar unter: <https://www.pharmasaat.de/onlineshop/Kraeuter-Saatgut/Calendula-officinalis-Ringelblume-Golden-Emperor::344.html> [Stand: 28.11.2023].

Pintea, A. 2003. HPLC analysis of carotenoids in four varieties of *Calendula officinalis* L. flowers. *Acta Biologica Szegediensis*, 47(1-4), 37-40.

Proplanta. 2023. Agrarwetter Deutschland – Niederschlagsmenge Tangerhütte-Windberge. Verfügbar unter: https://www.proplanta.de/wetter-statistik/niederschlag/proplanta_dwd_wetterstatistiken.php [Stand: 24.10.2023].

Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., Pouységu, L. 2011. Pflanzliche Polyphenole: chemische Eigenschaften, biologische Aktivität und Synthese. *Angewandte Chemie*, 123(3), 610-646. DOI: <https://doi.org/10.1002/ange.201000044>.

Raal, A., Kirsipuu, K., Must, R., Tenno, S. 2009. Content of total carotenoids in *Calendula officinalis* L. from different countries cultivated in Estonia. *Natural product communications*, 4(1), DOI: 1934578X0900400109.

Richter, C. 2007. Commercial Cultivation – *Calendula*. In: *The herb society of America*, 2007. *Calendula – An Herb Society of America Guide*, 22-25.

Röhricht, C., Karte, T., Schubert, M. 2003. Analyse der ökologischen Produktionsverfahren von Heil- und Gewürzpflanzen in Deutschland. [pdf] Verfügbar unter: <https://orgprints.org/id/eprint/4250/1/4250-02OE156-ble-lfl-sachsen-2003-heil-u-gewuerz.pdf> [Stand 05.05.2023].

Sachsen-Anhalt-Viewer. 2023. Boden-Basisdaten. Verfügbar unter: https://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de/mapapps/resources/apps/viewer_v40/index.html?lang=de [Stand: 24.10.2023].

SALUS. 2023. Anbau und Züchtung – Salucalend. [online] Verfügbar unter: <https://www.salus.de/ueber-salus/qualitaet/rohstoffe/> [Stand: 28.11.2023].

Samenhaus. 2023. Ringelblume – Golden Emperor. Herkunft: Horti Tops. [online] Verfügbar unter: <https://www.samenhaus.de/ringelblume-golden-emperor-ringelblumensamen-von-hortitops/a-545708> [Stand: 28.11.2023].

Sausserde, R., Kampuss, K. 2014. Composition of carotenoids in calendula (*Calendula officinalis* L.) flowers. Proceedings of the 9th Baltic Conference on Food Science and Technology "Food for Consumer Well-Being, 13-18.

Schäfer A. 2017. Sichtung verschiedener Sorten und Herkünfte von *Calendula officinalis* L. im Hinblick auf pflanzenbauliche und blütenphänologische Merkmale sowie Flavonoidgehalte – Erstmalige Erfassung blütenbesuchender Insekten. [Masterthesis] Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Singleton, V. L. Orthofer, R. Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in enzymology. Academic press, 299, 152-178.

Toom, M. Vares, L. Kirsipuu, K. Must, R. Tenno, S. Raal, A. 2007. Content of the carotenoids in the Pot marigold's sorts cultivated in Estonia. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 1(32), 25. DOI: 10.1016/j.ejps.2007.05.052.

Tóth, G., Szabolcs, J. 1981. Occurrence of some mono-cis-isomers of asymmetric C40-carotenoids. Phytochemistry, 20(10), 2411-2415. DOI:10.1016/S0031-9422(00)82677-1.

Tucker, A. 2007. Description and Chemistry of *Calendula*. In: The herb society of America, 2007. Calendula – An Herb Society of America Guide, 9-10.

Umweltatlas.Bayern. 2023. Bodenübersichtskarte von Bayern. Verfügbar unter: <https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de> [Stand: 24.20.2023].

Watzl, B. Rechkemmer, G. 2004. Einfluss sekundärer Pflanzenstoffe auf die Gesundheit. DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V.) (Hrsg.) (2004): Ernährungsbericht, 325-346.

Weltkarte.com. 2023. Landkarte Deutschland. [online] Verfügbar unter: <https://www.weltkarte.com/europa/landkarten-und-stadtplaene-vondeutschland/landkarte-deutschland-staedte-deutschland.htm> [Stand: 02.05.2023].

Westermann. 2023. Diercke Klimagraph. [online] Verfügbar unter: <https://diercke.de/sites/klimagraph/klimagraph.php> [Stand: 24.10.2023].

Wetterdienst.de. 2023. Wetterdienst.de – Wetter und Klimaberatung – Bruckmühl. [online] Verfügbar unter: https://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Bruckmuehl_Bruckmuehl_Mangfall/Klima/ [Stand: 24.10.2023].

Wetterkontor. 2023a. Monats- und Jahreswerte für Dachwig (Lkr. Gotha, Thüringer Becken). [online] Verfügbar unter: <https://www.wetterkontor.de/wetter-rueckblick/monats-und-jahreswerte.asp?id=M348> [Stand: 24.10.2023].

Wetterkontor. 2023b. Monats- und Jahreswerte für Demker (Lkr. Stendal, Altmark). [online] Verfügbar unter: <https://www.wetterkontor.de/wetter-rueckblick/monats-und-jahreswerte.asp?id=N272&jr0=2023&jr1=2023&mo0=1&mo1=12> [Stand: 24.10.2023].

Wetterkontor. 2023c. Monats- und Jahreswerte für Rosenheim (Oberbayern). [online] Verfügbar unter: <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/monatswerte-station.asp?id=P877> [Stand: 24.10.2023].

Wichtl, M. 2010. Teedrogen und Phytopharmaka. Ein Handbuch für die Praxis auf Wissenschaftlicher Grundlage. 5. Auflage. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 140-143.

Anhang

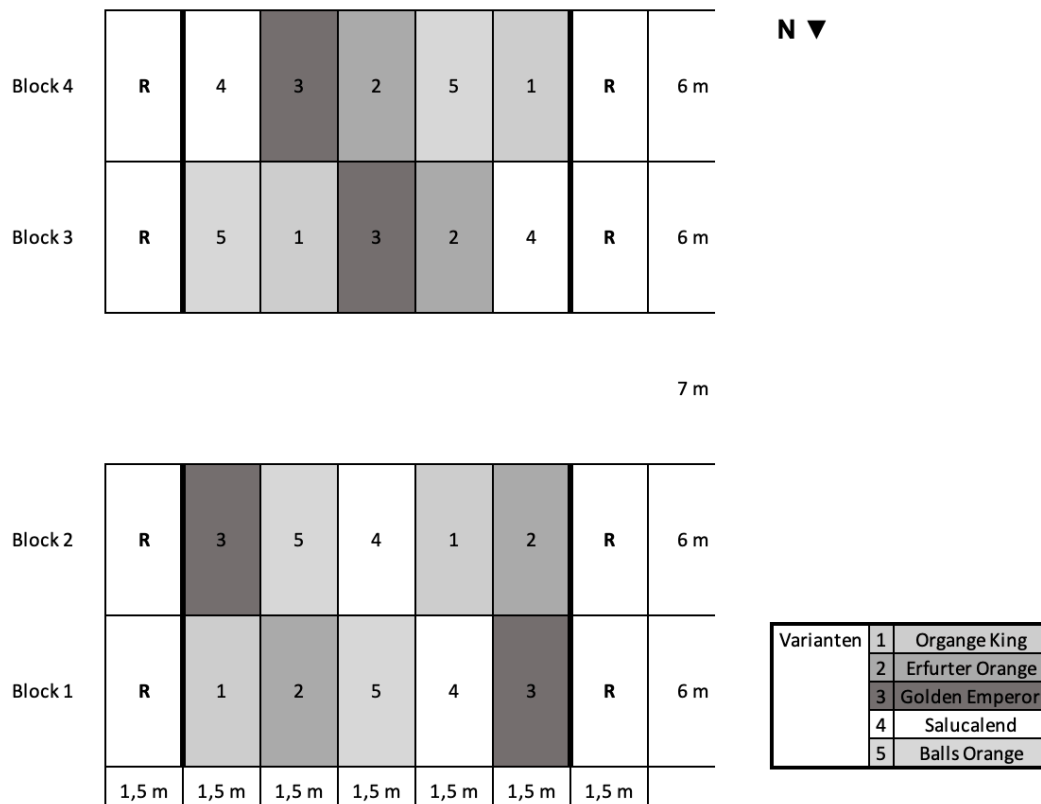


Abb. 25: Versuchsplan Standort 1 (eigene Darstellung).

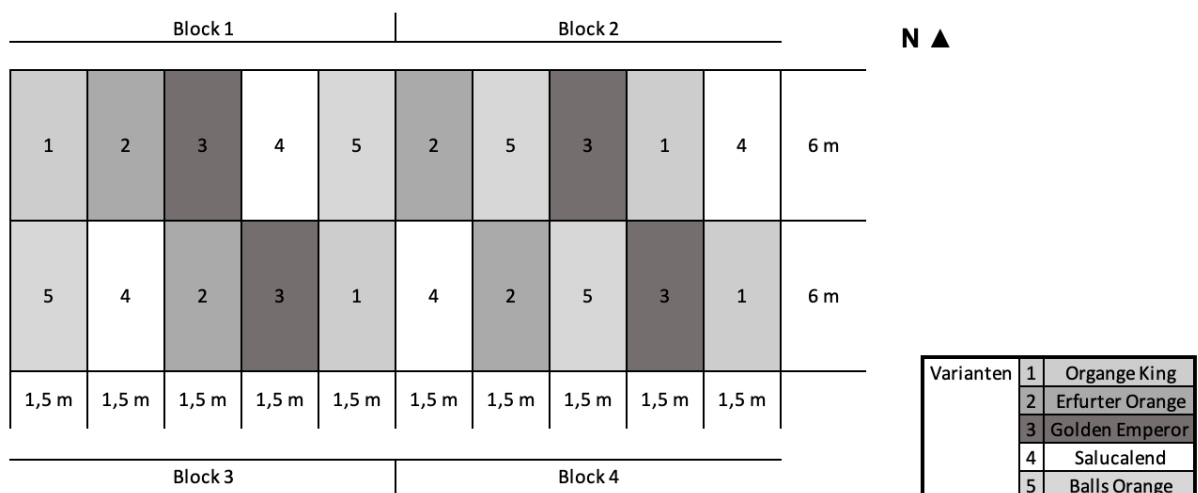


Abb. 24: Versuchsplan Standort 3 (eigene Darstellung).

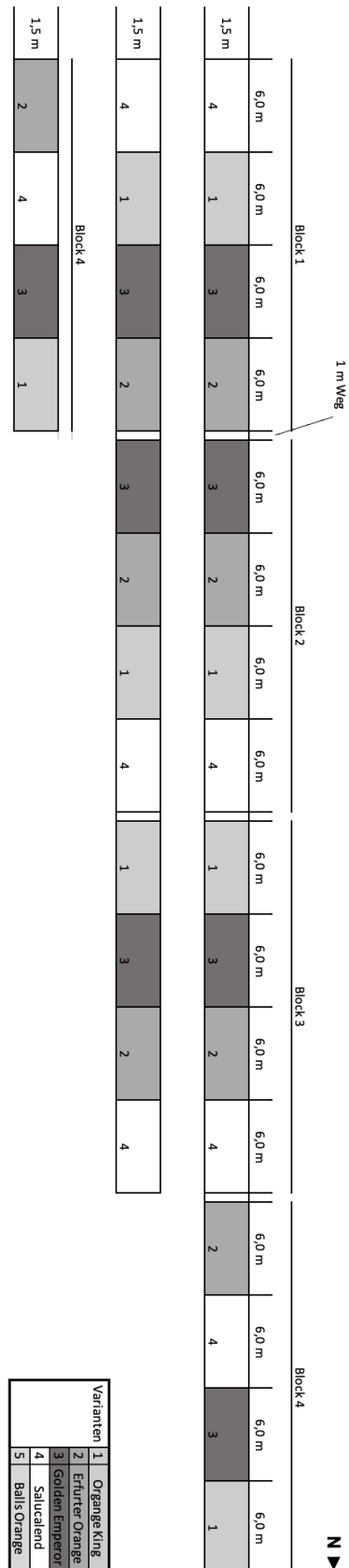


Abb. 26: Versuchsplan Standort 2 (eigene Darstellung).

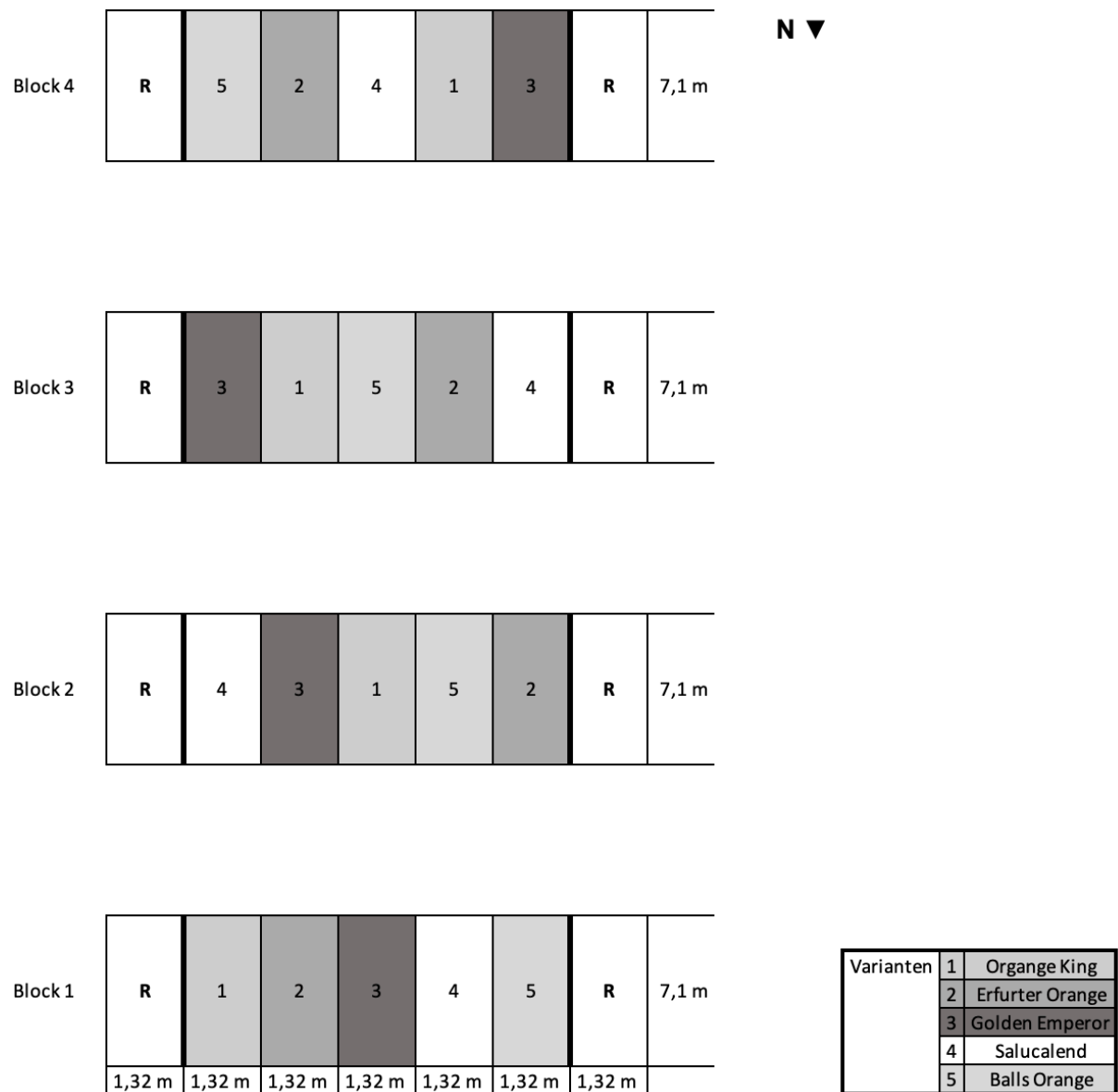


Abb. 27: Versuchsplan Standort 4 (eigene Darstellung).



Abb. 29: Ergänzende Abbildungen aus dem Bonitürkatalog von Schäfer (2017) (eigene Darstellung nach Schäfer 2017).

Tab. 18: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).

Parameter			Faktoren	p-Werte	DF		MW		STABW	QQ-Plot	Residuenplots
Ertrag (TM_total_Timing)			Ort	7.5e-15 ***	203					normal	keine Muster
			Sorte	0.005036 **							
			Block	0.000516 ***							
			Ort:Sorte	0.128893							
			Ort			4	33.4a	± 8,2			
						2	29.3a	± 15,6			
						3	20.3b	± 10,2			
						1	16.6b	± 14,6			
			Sorte			1	29.1a	± 16,7			
						2	25.7a	± 11,6			
						3	24.7ab	± 15,1			
						4	24ab	± 12,7			
						5	18.3b	± 11,4			
Parameter			Faktoren	p-Werte	DF		Faktorstufen	MW	STABW	QQ-Plot	Residuenplots
Höhe_max	WAS 5		Ort	<2e-16 ***	54					normal	keine Muster
			Sorte	0.2540							
			Block	0.5700							
			Ort:Sorte	0.0674 .							
			Ort	<2e-16 ***		2	13.5625 a	± 2,0	normal	keine Muster	
						1	6.7325b	± 1,7			
						4	6.0750bc	± 0,5			
						3	5.6250c	± 1,0			
	WAS 6		Ort	< 2e-16 ***	42					normal	keine Muster
			Sorte	0.01604 *							
			Block	0.10590							
			Ort:Sorte	0.00533 **							
		Standort 1	Sorte	0.00943 **	5	17.4375a	± 3	normal	keine Muster		
			Block	0.01868 *	2	17.0250a	± 3,8				
					1	16.4375ab	± 2,4				
					4	16.0000ab	± 3				
					3	13.8125b	± 2,5				
		Standort 3	Sorte	0.193					normal	keine Muster	
			Block	0.485							
		Standort 4	Sorte	0.00634 **	1	10.733333a	± 0,9	normal	keine Muster		
			Block	0.41202	2	9.908333ab	± 1,2				
					3	9.425000ab	± 1,4				
					5	9.366667ab	± 1,5				
					4	8.550000b	± 1,1				
	WAS 7		Ort	<2e-16 ***	39					normal	keine Muster
			Sorte	0.080 .							
			Block	0.213							
			Ort:Sorte	0.010 *							
		Standort 1	Sorte	1.18e-06 ***	5	19.7750a	± 4,1	normal	keine Muster		
			Block	8.56e-07 ***	2	18.7125ab	± 2,3				
					1	18.3375b	± 5,2				
					4	16.1500c	± 2,5				
					3	15.8375c	± 2,4				
		Standort 2	Sorte	0.0458 *	2	30.750a	± 6,1	normal	keine Muster		
			Block	0.0741 .	4	28.375ab	± 5,3				
					1	26.250ab	± 2,3				
					3	23.750b	± 1,3				
		Standort 4	Sorte	0.0891 .				normal	keine Muster		
			Block	0.2839							
	WAS 8		Ort	4.16e-09 ***	42					normal	keine Muster
			Sorte	0.143							
			Block	0.684							
			Ort:Sorte	0.442							
			Ort	4.16e-09 ***	1	25.38000a	± 0,5	normal	keine Muster		
					3	19.57500b	± 0,5				
					4	17.96667b	± 2.4				

Tab. 19: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).

WAS 9_Blatt		Ort	0.206	42				normal	keine Muster
		Sorte	9e-07 ***						
		Block	0.201						
		Ort:Sorte	0.133						
		Sorte	9e-07 ***	1	32.32222a	± 2,7	normal	keine Muster	
				5	31.89306a	± 5,3			
				2	29.72778ab	± 5,1			
				4	26.54861bc	± 2,5			
				3	23.58472c	± 2,4			
WAS 9_Blüte		Ort	0.5484	23				normal	keine Muster
		Sorte	2.83e-08 ***						
		Block	0.4989						
		Ort:Sorte	0.0472 *						
	Standort 1	Sorte	0.000732 ***	2	39.63538a	± 6,3	normal	keine Muster	
		Block	0.471568	5	38.62798ab	± 4,5			
				1	37.08470ab	± 5,9			
				4	31.63333bc	± 4,1			
				3	27.61667c	± 5,0			
	Standort 3	Sorte	0.000646 ***	1	41.00000a	± 5,6	normal	keine Muster	
		Block	0.868101	5	38.50000a	± 5,4			
				2	36.66667a	± 3,9			
				3	21.25000b	± 4,4			
WAS 10_Blatt		Ort	2.70e-12 ***	54				normal	keine Muster
		Sorte	5.09e-10 ***						
		Block	0.2548						
		Ort:Sorte	0.0469 *						
	Standort 1	Sorte	6.72e-07 ***	5	35.9750a	± 4,4	normal	keine Muster	
		Block	0.177	2	34.6500a	± 4,0			
				1	33.5375ab	± 4,3			
				4	30.5500b	± 3,6			
				3	23.2125c	± 4,6			
	Standort 2	Sorte	0.000431 ***	1	44.3625a	± 6,8	normal	keine Muster	
		Block	0.163557	2	44.1625a	± 6,3			
				4	38.2500a	± 5,3			
				3	30.4750b	± 5,4			
	Standort 3	Sorte	3.91e-05 ***	5	48.2500a	± 5,3	normal	keine Muster	
		Block	0.0606 .	1	47.0125a	± 5,8			
				2	45.0625a	± 7,8			
				4	37.1500b	± 3,9			
				3	31.3250b	± 4,3			
	Standort 4	Sorte	0.724				normal	keine Muster	
		Block	0.141						
WAS 10_Blüte		Ort	2.53e-09 ***	54				normal	keine Muster
		Sorte	1.57e-11 ***						
		Block	0.7504						
		Ort:Sorte	0.0117 *						
	Standort 1	Sorte	5.49e-08 ***	5	44.7625a	± 6,3	normal	keine Muster	
		Block	0.066 .	2	43.3250a	± 5,1			
				1	43.2500a	± 5,6			
				4	38.4375b	± 4,6			
				3	27.2125c	± 6,1			
	Standort 2	Sorte	0.000146 ***	1	58.1000a	± 8,3	normal	keine Muster	
		Block	0.085953 .	2	55.9250ab	± 7,6			
				4	48.4125b	± 6,4			
				3	39.7250c	± 8,4			
	Standort 3	Sorte	2.03e-06 ***	1	57.8875a	± 5,9	normal	keine Muster	
		Block	0.0937 .	5	57.7875a	± 5,7			
				2	54.2500a	± 7,8			
				4	44.3000b	± 4,4			
				3	37.8250b	± 4,9			
	Standort 4	Sorte	0.786				normal	keine Muster	
		Block	0.378						

Tab. 20: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).

	WAS 12		Ort	1.24e-10 ***	42			normal	keine Muster	
			Sorte	4.86e-16 ***						
			Block	0.1713						
			Ort:Sorte	0.0203 *						
		Standort 1	Sorte	1.65e-08 ***	5	64.33333a	± 6,4	normal	keine Muster	
			Block	0.00763 **	1	62.50000a	± 8,4			
					2	62.50000a	± 8,3			
					4	54.00000b	± 7,6			
					3	40.00000c	± 6,4			
		Standort 3	Sorte	9.02e-06 ***	1	75.000a	± 6,9	normal	keine Muster	
			Block	0.173	5	70.625ab	± 6,4			
					2	66.875ab	± 4,6			
					4	60.375b	± 4,0			
					3	43.125c	± 7,1			
		Standort 4	Sorte	3.39e-08 ***	1	57.08333a	± 6,1	normal	keine Muster	
			Block	2.14e-06 ***	5	56.16667ab	± 5,6			
					2	52.50000b	± 4,6			
					4	43.00000c	± 5,1			
					3	41.50000c	± 5,6			
Parameter			Faktoren	p-Werte	DF	Faktorstufen	MW	STABW	QQ-Plot	Residuenplots
Feldaufgang [Pflanzenm-1]			Ort	< 2e-16 ***	54			normal	keine Muster	
			Sorte	0.000698 ***						
			Block	0.436437						
			Ort:Sorte	0.314907						
			Ort	< 2e-16 ***	4	33.93333a	± 9,2			
					3	13.37500b	± 6,0			
					1	12.25000b	± 3,5			
					2	5.93750c	± 5,6			
			Sorte	0.000698 ***	4	20.67708a	± 15,1			
					5	17.36111ab	± 9,7			
					3	16.41667ab	± 12,9			
					1	15.84375b	± 13,5			
					2	14.42708b	± 10,8			
Parameter			Faktoren	p-Werte	DF	Faktorstufen	MW	STABW	QQ-Plot	Residuenplots
Mehltaubefall	Standort 1	sqrt-transformiert	Sorte	0.414	58			normal	keine Muster	
	WAS 11		Block	0.217						
	Standort 2		Sorte	4.27e-06 ***	9			normal	keine Muster	
	WAS 13		Block	0.91						
			Sorte	4.27e-06 ***	3	7.75a	± 0,5			
					2	4.00b	± 0,8			
					1	2.50bc	± 0,6			
					4	2.25c	± 0,5			
	Standort 3		Sorte	0.130	12			normal	keine Muster	
	WAS 13		Block	0.326						
	Standort 4		Sorte	0.0265 *	12			normal	keine Muster	
	WAS 13		Block	0.0594 .						
			Sorte		3	4.50a	± 1,9			
					5	3.50ab	± 1,9			
					2	3.25ab	± 2,6			
					1	1.50ab	± 1,0			
					4	1.00b	± 0,0			

Tab. 21: Statistische Parameter zu ANOVA und multiplen Mittelwertvergleichen. Mittelwerte, denen mindestens ein gemeinsamer Buchstabe folgt, sind nach Tukey's HSD-Test nicht voneinander zu unterscheiden ($\alpha = 0,05$).

Parameter	Faktoren	p-Werte	DF	Sorte	MW	STABW	QQ-Plot	Residuenplots
Carotin_Ort	Ort	2.27e-09 ***	36				normal	keine Muster
	Block	0.058 .						
	Ort	2.27e-09 ***		2	4.922162a	± 0,4	normal	keine Muster
				1	4.141292b	± 0,8		
				4	3.731864b	± 0,6		
				3	2.888985c	± 0,5		
Phenol_Ort	Ort	9.10e-11 ***	41				normal	keine Muster
	Block	2.71e-05 ***						
				2	21.24789a	± 1,1		
				1	17.99486b	± 2,0		
				3	17.07548b	± 1,9		
				4	15.16786c	± 2,8		
Carotin_Sorte	Sorte	7.41e-08 ***	42				normal	keine Muster
	Block	0.511						
	Sorte	7.41e-08 ***		4	4.193459a	± 0,6	normal	keine Muster
				1	4.141292a	± 0,8		
				5	3.401884b	± 0,2		
				2	2.969173b	± 0,3		
				3	2.814689b	± 0,4		
Phenol_Sorte	Sorte	2.38e-06 ***	52				normal	keine Muster
	Block	0.069 .						
	Sorte			4	22.43312a	± 2,8	normal	keine Muster
				5	22.26702a	± 1,3		
				3	20.82073ab	± 2,4		
				2	19.41285bc	± 2,4		
				1	17.99486c	± 1,1		

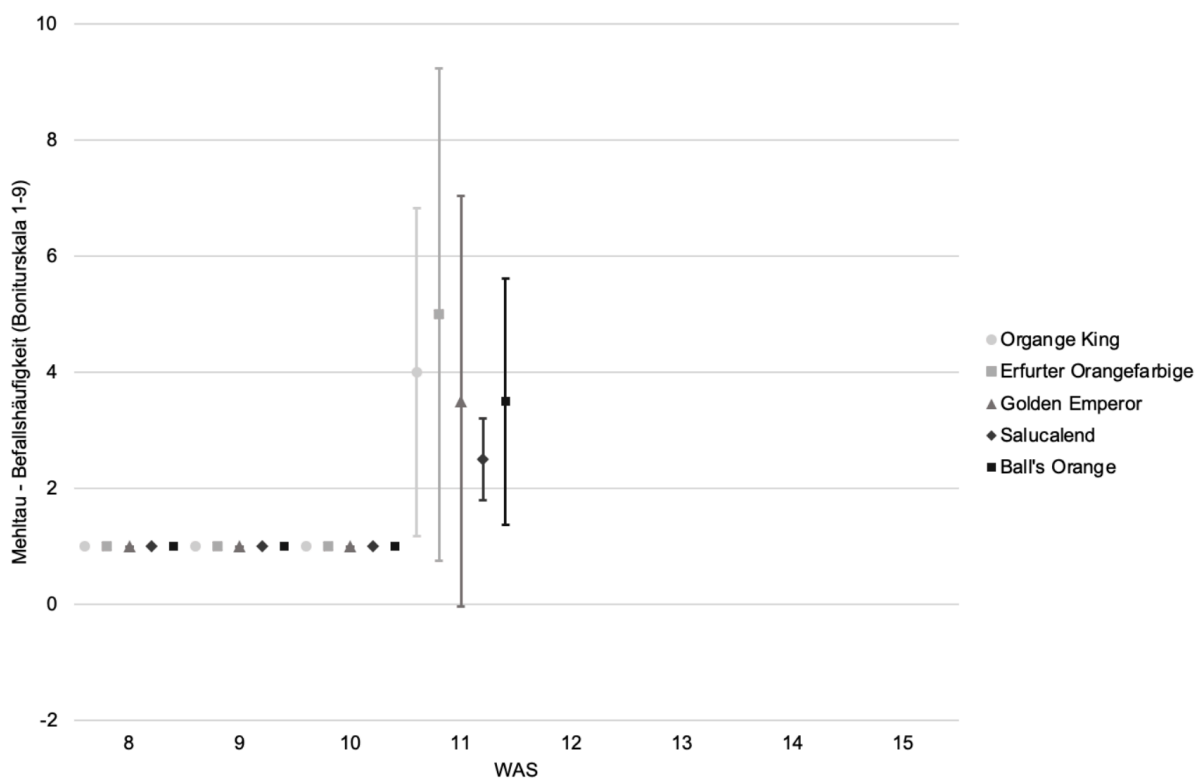


Abb. 30: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 1. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$). Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.

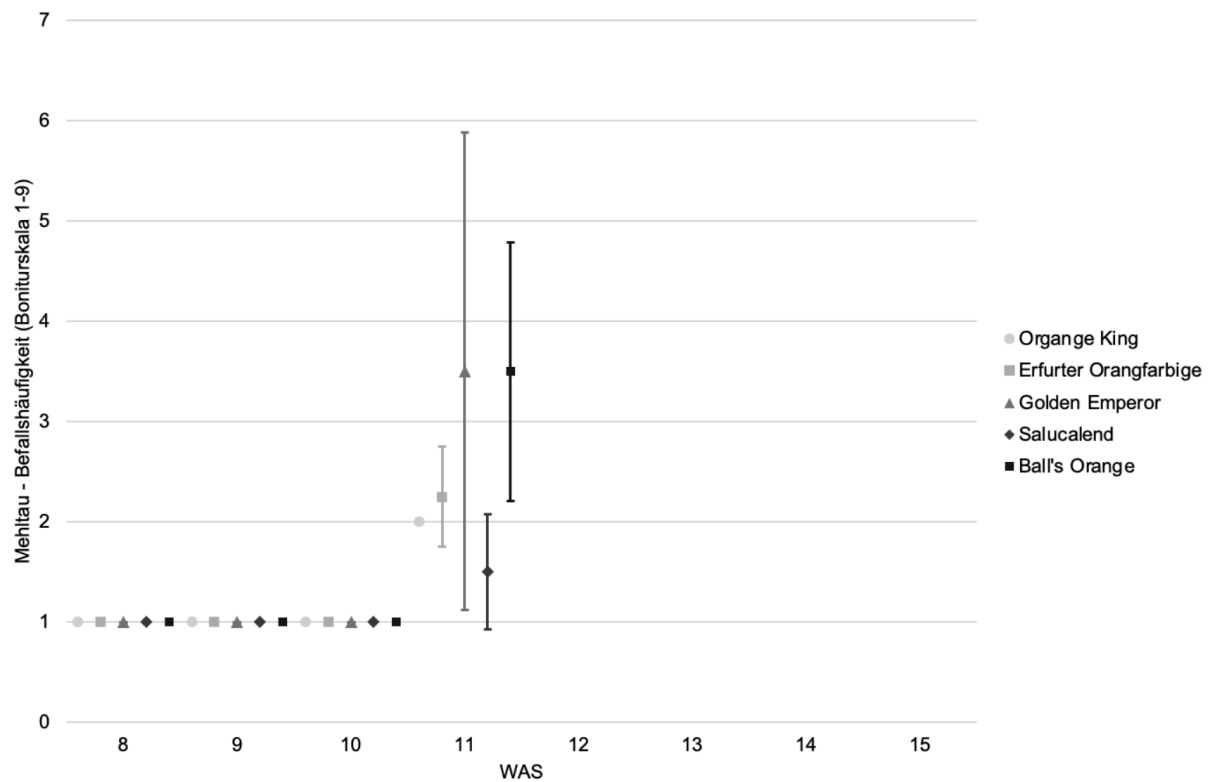


Abb. 31: Mehltau - Befallshäufigkeit: Standort 3. Messzeitpunkte in WAS. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey's HSD Test, $\alpha = 0,05$).
Mehltaubefallsskala: 1=kein Befall; 9=starker Befall.

Tab. 22: FM, TM (g m^{-2}) und Eintrocknungsverhältnisse je Standort und Sorte.

Sorte	Eintrocknungsverhältnis
1	1: 7,4
2	1: 6,1
3	1: 6,9
4	1: 8,5
5	1: 6,6

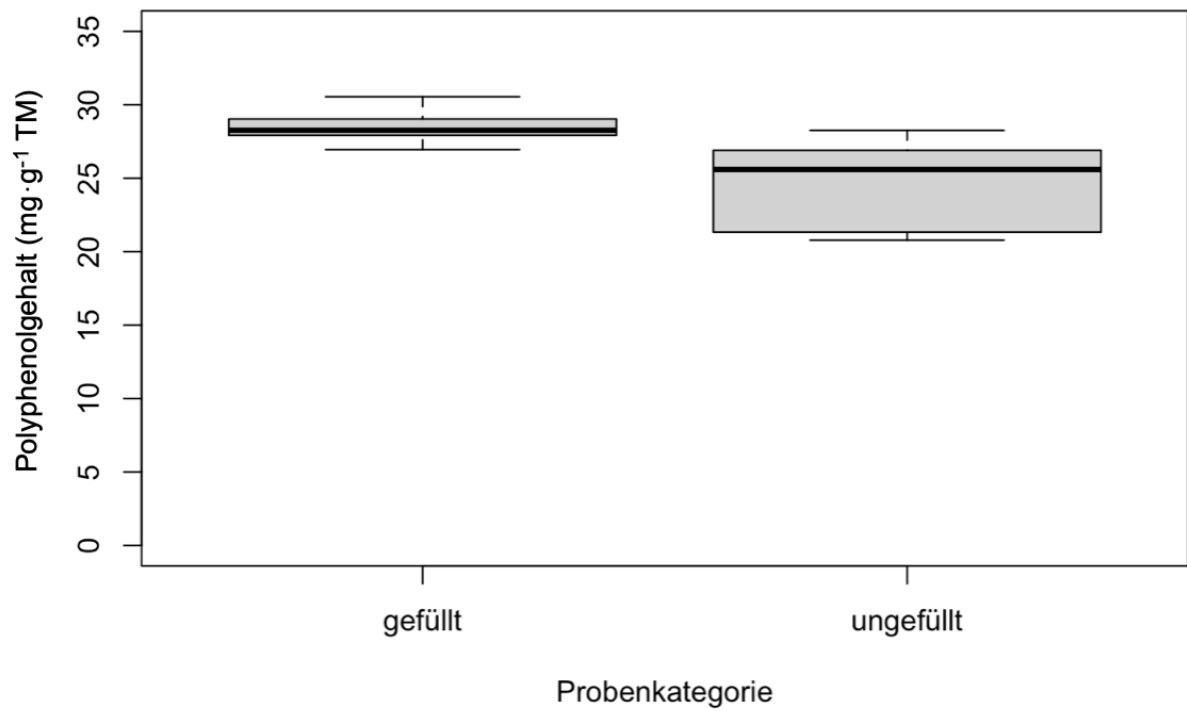


Abb. 32: Polyphenolgehalt (mg·g⁻¹ TM) je Probenkategorie, Sorte 1, Standort 1.

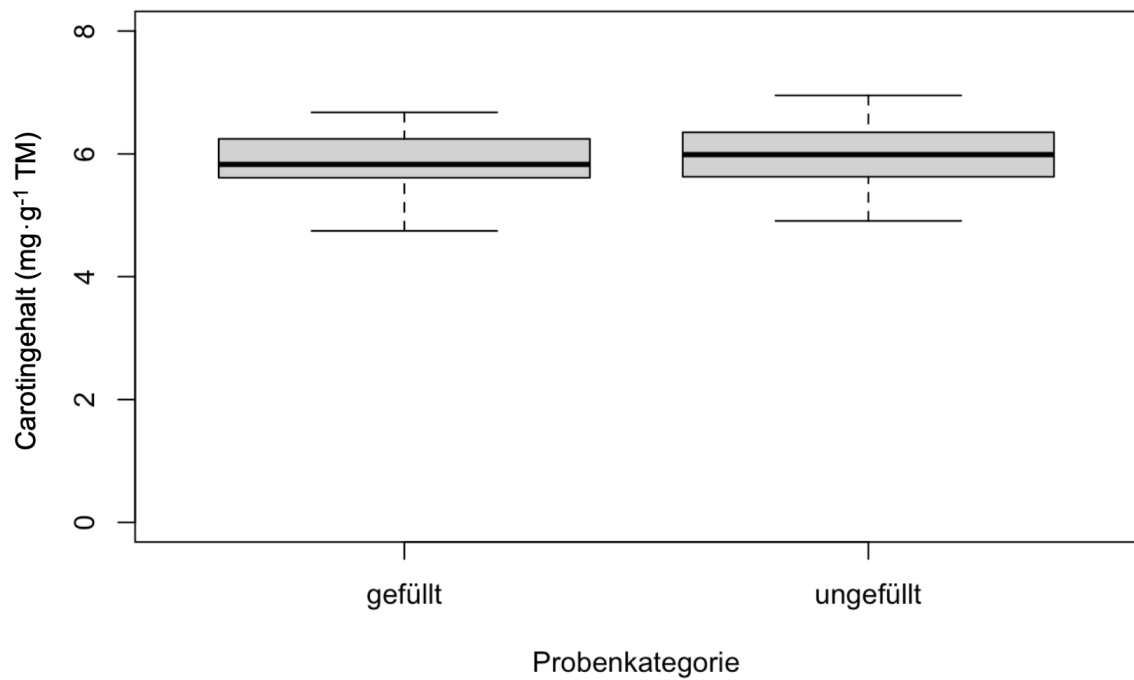


Abb. 33: Carotinoidgehalt (mg·g⁻¹ TM) je Probenkategorie, Sorte 1, Standort 1.

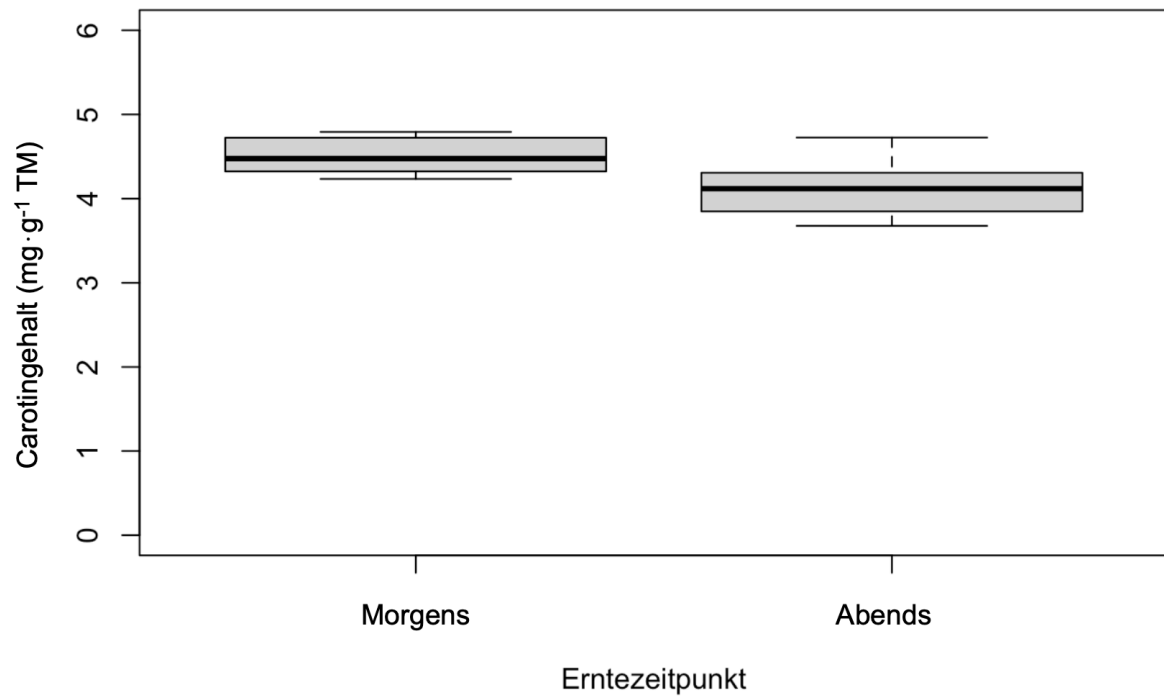


Abb. 34: Carotinoidgehalt (mg·g⁻¹ TM) je Erntezeitpunkt, Sorte 1, Standort 1.

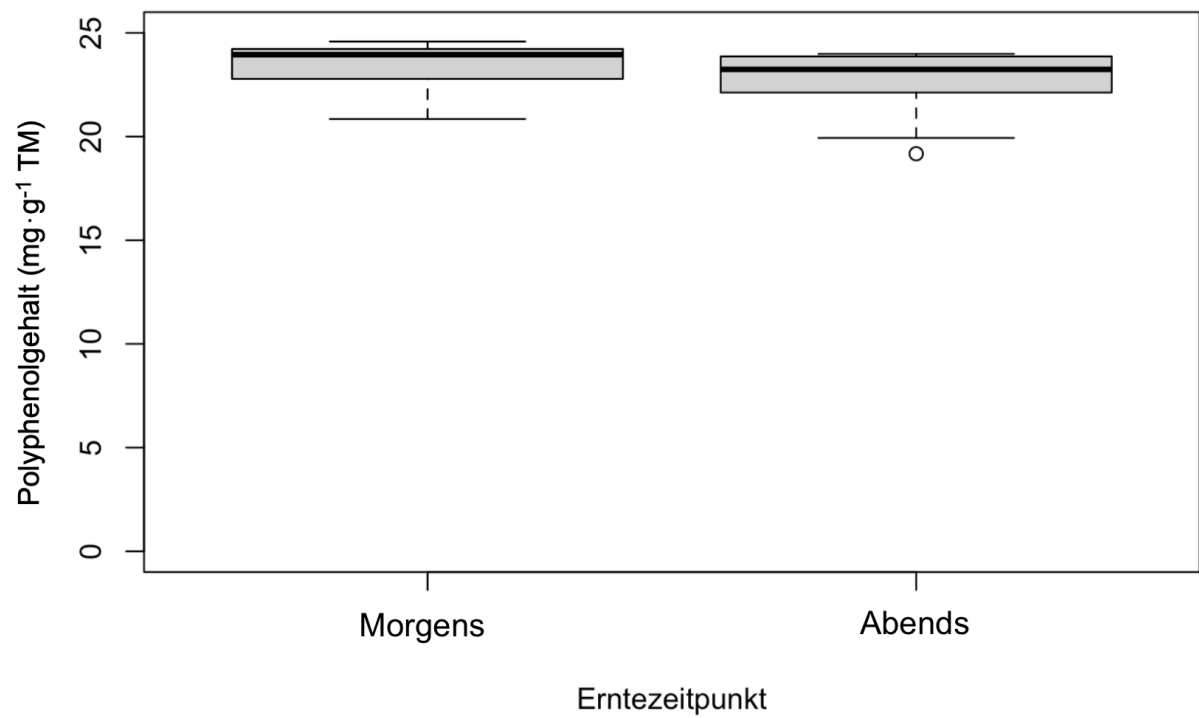


Abb. 35: Polyphenolgehalt (mg·g⁻¹ TM) je Erntezeitpunkt, Sorte 1, Standort 1.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, ganz oder in Teilen noch nicht als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die benutzten Quellen im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich durch Quellenangaben kenntlich gemacht. Ich erkläre mein Einverständnis zur Überprüfung der von mir eingereichten Arbeit auf Plagiate durch eine Anti-Plagiatsoftware. Zu diesem Zweck stelle ich eine anonymisierte elektronische Form des Dokuments in gängigem Format zur Verfügung.

Witzenhausen, 15.12.2023

Ort, Datum

Unterschrift