

HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG

University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Agrarwirtschaft (B.Sc.)

Bachelorarbeit

Keimversuche über *Taraxacum*-Herkünfte

urn:nbn:de:gbv:519-thesis-2026-0262-5

vorgelegt von: Laura Jentsch

Erstprüferin: Prof.in Dr. Becke Strehlow, Neubrandenburg

Zweitprüfer: Dr. Axel Schechert, Kruckow

eingereicht am: 22.05.2026

Abstract

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit dem Einfluss von Genotyp, Licht, Kältestratifikation und Samengröße auf die Keimung von *Taraxacum*-Saatgut. Anlass dafür waren das gestiegene züchterische Interesse an der Gattung und die bislang nicht abschließend geklärte Frage, welche Faktoren Endkeimrate und Keimgeschwindigkeit bestimmen.

Zur Bearbeitung der Forschungsfrage wurden zwei faktoriell angelegte Keimversuche mit insgesamt sechs Saatgutproben durchgeführt. Ausgewertet wurden die Endkeimrate sowie die Parameter t_{50} Keimbeginn und t_{50} Keimblatt, die die Zeit bis zum Erreichen des jeweiligen Entwicklungsstadiums bei 50 % der Samen abbilden. Für die statistischen Analyse wurden multifaktorielle Varianzanalysen, Post-hoc-Tests und Regressionsanalysen verwendet.

Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem der Genotyp das Keimverhalten beeinflusste. Licht wirkte sich auf die Keimgeschwindigkeit, nicht aber auf die Endkeimrate aus. Für die Kältestratifikation und die Samengröße konnte kein nachweisbarer Effekt festgestellt werden. Es bestand aber ein signifikanter Zusammenhang zwischen Keimgeschwindigkeit und Endkeimrate. Insgesamt weist die Arbeit darauf hin, dass das Keimverhalten von *Taraxacum*-Saatgut vor allem genotypisch geprägt ist, während die übrigen untersuchten Faktoren eine geringere Rolle spielten.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt der Böhm Agrar GmbH & Co. KG in Kruckow für das praxisnahe Praktikum sowie die anschließende wertvolle Begleitung während der Arbeit.

Ebenso danke ich den Professorinnen und Professoren der Hochschule Neubrandenburg für die Betreuung und die Bereitstellung der Vegetationsschränke und Geräte. Ohne die fachliche und praktische Unterstützung sowie die technische Ausstattung wäre die Durchführung der Arbeit in diesem Umfang nicht möglich gewesen.

Darüber hinaus danke ich meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung während der Bearbeitungszeit.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	II
Danksagung	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens	2
2.1 <i>Taraxacum</i> als Untersuchungsorganismus	2
2.2 Keimungsphysiologie	3
2.3 Einflussfaktoren auf die Keimung	3
2.4 Zielsetzung der Arbeit	5
3 Material und Methoden	7
3.1 Versuchsmaterial	7
3.2 Versuchsaufbau und Umweltbedingungen	8
3.3 Versuchsdurchführung	10
3.4 Bonitur und Bewertungskriterien	10
3.5 Versuch 1: Einfluss von Licht, Genotyp und Kältestratifikation	11
3.6 Versuch 2: Einfluss von Samengröße und Genotyp	11
3.7 Statistische Auswertung	12
4 Ergebnisse	14
4.1 Versuch 1	14
4.1.1 Endkeimrate	15
4.1.2 t_{50} Keimung	16
4.1.3 t_{50} Keimblatt	17
4.2 Versuch 2	18
4.2.1 Endkeimrate	18
4.2.2 t_{50} Keimung	19
4.2.3 t_{50} Keimblatt	20
4.3 Zusammenhang zwischen Endkeimrate und Keimgeschwindigkeit	22
4.3.1 Versuch 1	22
4.3.2 Versuch 2	23
5 Diskussion	24

5.1	Einfluss des Genotyps	24
5.2	Einfluss von Licht.....	25
5.3	Einfluss der Stratifikation.....	25
5.4	Einfluss der Samengröße	26
5.5	Zusammenhang zwischen Keimgeschwindigkeit und Endkeimrate	26
5.6	Methodische Limitationen.....	27
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	29
7	Literaturverzeichnis.....	30
A	Anhang	A-1
	Eidesstattliche Erklärung	A-8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fruchtstand von <i>Taraxacum</i> mit reifen Achänen und Pappus.	2
Abbildung 2: Normierte spektrale Verteilung der Lichtstufe 2 (schrangemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 1.	9
Abbildung 3: Endkeimraten der drei Genotypen in Versuch 1.	15
Abbildung 4: t50 Keimung (d) der drei Genotypen unter Lichtstufe 2 (schrangemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) und 3 (schrangemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) in Versuch 1.....	16
Abbildung 5: t50 Keimblatt (d) der drei Genotypen unter Lichtstufe 2 (schrangemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) und 3 (schrangemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) in Versuch 1.....	17
Abbildung 6: Endkeimrate (%) der fünf Genotyp in Versuch 2.....	19
Abbildung 7: t50 Keimung (d) für die verschiedenen Genotypen in Versuch 2.....	20
Abbildung 8: t50 Keimblatt (d) der fünf Genotypen in Versuch 2.	21
Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Endkeimrate (%) und t50 Keimung (d) in Versuch 1.....	22
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Endkeimrate (%) und t50 Keimung (d) in Versuch 2.....	23
Abbildung 11: Normierte spektrale Verteilung, Lichtstufe 3 (schrangemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 1.	A-1
Abbildung 12: Normierte spektrale Verteilung, Lichtstufe 2 (schrangemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 2.	A-1
Abbildung 13: Normierte spektrale Verteilung, Lichtstufe 3 (schrangemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 2.	A-2
Abbildung 14: schematische Darstellung einer möglichen Anordnung der Varianten auf einer Palette für Versuch 1.	A-2
Abbildung 15: schematische Darstellung einer möglichen Anordnung der Varianten auf einer Palette für Versuch 2.	A-3

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Genotypen der Gattung <i>Taraxacum</i>	7
Tabelle 2: Mittlere integrierte Bestrahlungsstärke ($\mu\text{W cm}^{-2}$) und berechneter PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) im Wellenbereich 400 – 750 nm je Vegetationsschrank und Hauptlichtstufe.	9
Tabelle 3: Einteilung der Samen nach Größenklassen für Versuch 2 je Genotyp inkl. Angabe des TKG (g), getrennt nach Durchgängen.	12
Tabelle 4: Endkeimrate und Keimparameter (t_{50} Keimung, t_{50} Keimblatt) in Abhängigkeit von Lichtstufe und Kältereiz ($\text{MW} \pm \text{SD}$), Versuch 1.	14
Tabelle 5: Endkeimrate und Keimparameter (t_{50} Keimung, t_{50} Keimblatt) in Versuch 2 in Abhängigkeit von Genotyp und Samengröße ($\text{MW} \pm \text{SD}$).	18
Tabelle 6: Rohdaten zu Versuch 1 im Longformat.	A-3
Tabelle 7: Rohdaten Versuch 2 Longformat.	A-5

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse, engl. analysis of variance
B.Sc.	Bachelor of Science
CV	Variationskoeffizient, engl. coefficient of variation
G1-G6	Genotyp 1 bis Genotyp 6
H1-H5	Hypothese 1 bis Hypothese 5
MW	Mittelwert
PAR	photosynthetisch aktive Strahlung, engl. photosynthetically active radiation
PPFD	photosynthetisch aktive Photonenflussdichte, engl. photosynthetic photon flux density
SD	Standardabweichung, engl. standard deviation
t ₅₀	Zeit bis zum Erreichen der jeweiligen Entwicklungsstufe bei 50 % der Samen
TKG	Tausendkorngewicht

1 Einleitung

Der Löwenzahn (*Taraxacum*) ist nicht nur ein prägendes Element vieler Kulturlandschaften, sondern auch Namensgeber einer bekannten ZDF-Kindersendung (ZDF, 2026). Darüber hinaus besitzt die Gattung auch eine hohe ökologische und ökonomische Bedeutung.

Als althergebrachte Heilpflanze finden einige Arten Anwendung bei Verdauungsbeschwerden und sogar Diabetes (Curtis et al., 2021, p. 146; Doll, 1974, p. 39) und Schütz et al. (2006) beschreiben darüber hinaus zahlreiche weitere pharmakologisch nützliche Eigenschaften.

Von besonderem Interesse ist außerdem der Latex, der in den Wurzeln gebildet wird. Bei einigen Arten enthält dieser Kautschuk. Damit rückten sie bereits früh als mögliche alternative Naturkautschukquellen in den Fokus. Schon in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde untersucht, ob Kautschuk auch aus Pflanzen des gemäßigten Klimas gewonnen werden kann, um weniger abhängig von tropischen Quellen zu sein (Ulmann, 1951, p. 1 ff). Besonders in der damaligen Sowjetunion war das wirtschaftliche Interesse daran groß, sodass die Anbaufläche für vornehmlich kautschukbildende Arten wie *Taraxacum kok-saghyz* bis auf 60.000 ha im Jahr 1941 anwuchs (Doll, 1974, p. 42). Nach Einführung von synthetischem Kautschuk auf Erdölbasis verlor die Forschung an Löwenzahnkautschuk zwischenzeitlich jedoch an Bedeutung. Inzwischen ist das Interesse an alternativen Quellen wieder gestiegen. Laut Statista (2025, pp. 20-21) lag die weltweit produzierte Menge an Kautschuk im Jahr 2024 bei 30,9 Mio. Tonnen, davon 14,5 Mio. Tonnen Naturkautschuk. Das zeigt die weiterhin hohe Bedeutung des Rohstoffs. Gleichzeitig machen die Endlichkeit fossiler Rohstoffe, die starke Abhängigkeit von *Hevea brasiliensis* als Hauptquelle für Naturkautschuk und phytosanitäre Risiken in dessen Anbau alternative Kautschukpflanzen wieder interessant.

Der landwirtschaftliche Anbau von *Taraxacum* ist jedoch weiterhin mit Problemen verbunden. Dazu gehören unter anderem noch nicht ausreichende Erträge, eine hohe genetische Heterogenität und unregelmäßige Feldaufgänge. Gerade die Keimung und ein einheitlicher früher Feldaufgang sind aber entscheidend für eine erfolgreiche Bestandesetablierung. Unterschiede im Keimverhalten können dabei durch genetische Faktoren, Umweltbedingungen und Eigenschaften des Saatguts beeinflusst werden.

2 Stand des Wissens

Das Keimverhalten von *Taraxacum*-Saatgut ist von mehreren Faktoren abhängig. Im Folgenden werden zunächst die relevanten botanischen Grundlagen dargestellt. Darauf aufbauend folgt ein Überblick über ausgewählte Aspekte der Keimungsphysiologie sowie über die für diese Arbeit bedeutsamen Einflussgrößen auf das Keimverhalten.

2.1 *Taraxacum* als Untersuchungsorganismus

Laut Schütz et al. (2006) wird die Gattung *Taraxacum* taxonomisch der Familie Asteraceae (Unterfamilie Cichoroideae) zugeordnet und ist häufig und überwiegend in den gemäßigten Breiten der nördlichen Hemisphäre anzutreffen.

Es handelt sich um eine mehrjährige Rosettenpflanze mit kräftiger Pfahlwurzel und mehreren einzelnstehenden Blüten. Die Früchte sind als Achänen mit Pappus (Abbildung 1) ausgebildet und werden größtenteils mit dem Wind verbreitet (Schütz et al., 2006, p. 314), was die Besiedelung offener Standorte begünstigt. Sie sind zudem dimorph (Doll, 1974, p. 22) aufgebaut. Das bedeutet, Samen am Rand des Blütenstandes sind in der Regel größer und gekrümmt. Im Folgenden wird der Begriff „Samen“ vereinfachend für die botanisch korrekten Früchte verwendet.



Abbildung 1: Fruchtstand von *Taraxacum* mit reifen Achänen und Pappus.

Quelle: Oleksandr K. (2020)

Morphologisch weist die Gattung eine einheitliche Grundstruktur auf, zeigt jedoch deutliche Unterschiede in der Ausprägung von Blattformen, Blütenfarbe, Samenmerkmale und Reproduktionsstrategien. Innerhalb von *Taraxacum* treten sowohl einige sexuell reproduzierende als auch viele apomiktische Linien auf (Kirschner & Štěpánek, 1996, pp. 415-416). Kull (2019, p.

320) definiert Apomixis als ungeschlechtliche Fortpflanzung, bei der Samen ohne Befruchtung entstehen. Diese reproduktive Diversität trägt zur Ausbildung zahlreicher genetisch differenzierter Linien bei. So nannte bereits Doll (1974, p. 148) eine „[...] heutige Zahl von etwa 2.000 Klein-Arten [...]“ für die Gattung.

Nach Ellenberg und Leuschner (2010) gilt *T. officinale*, ein gut untersuchter Vertreter der Gattung, als grün überwinternder Hemikryptophyt sowie frische- und stickstoffzeigende Halbluchtpflanze. Andere von den Autoren beschriebene Arten zeigen jedoch artspezifische Unterschiede in diesen ökologischen Kategorien.

2.2 Keimungsphysiologie

Die Keimung stellt einen wesentlichen Entwicklungsprozess im Lebenszyklus von Pflanzen dar. Sie markiert den Übergang vom ruhenden Samen zur selbstständig wachsenden Pflanze. Mit der Wasseraufnahme und der damit verbundenen Quellung (Imbibition) des Samens werden metabolische Prozesse in Gang gesetzt. Hormonelle Veränderungen führen zur Mobilisierung und zum Abbau von Speicherstoffen. Die dabei freigesetzte Energie ermöglicht es der Radikula, als erstes Pflanzenorgan die Samenschale zu durchbrechen. Mit dem Austritt der Keimwurzel beginnt die Etablierungsphase des Keimlings. Bei der epigäischen Keimung streckt sich anschließend das Hypokotyl zur Lichtquelle, sodass die Kotyledonen sich oberirdisch entfalten können. Im Gegensatz dazu verbleiben die Keimblätter bei der hypogäischen Keimung unterhalb oder nahe der Erdoberfläche. Hier sind es die jüngsten Laubblätter, die sich als erstes zeigen. Beide Keimungstypen markieren den Übergang von der heterotrophen Versorgung durch Samenreserven zur autotrophen Assimilation durch Photosynthese. (Kull, 2019, p. 215)

Für *Taraxacum* ist insbesondere der frühe Entwicklungsabschnitt bis zur Entfaltung der Keimblätter von Bedeutung.

2.3 Einflussfaktoren auf die Keimung

Die Keimphase als früher Entwicklungsabschnitt einer Pflanze hängt von einem komplexen Zusammenspiel aus genetischen Voraussetzungen und Umweltbedingungen ab. Neben den grundlegenden abiotischen Faktoren wie Wasser, Sauerstoff und Temperatur wird die Keimleistung durch eine Reihe weiterer Faktoren beeinflusst (Kull, 2019, p. 535).

Viele Pflanzenarten weisen eine durch interne Prozesse bedingte Keimruhe (Dormanz) auf, die den Zeitpunkt der Keimung reguliert. Die Brechung dieser Dormanz erfolgt häufig erst in einer spezifischen Umwelt, beispielsweise geeigneten Licht- oder Temperaturbedingungen. Davon

abzugrenzen ist die Quieszenz, bei der grundsätzlich keimfähige Samen aufgrund ungünstiger äußerer Bedingungen nicht keimen (Baskin & Baskin, 2003, p. 519). Beide Mechanismen tragen dazu bei, die Keimung zeitlich an günstige Umweltbedingungen anzupassen. Die International Seed Testing Association (2025) klassifiziert *T. officinale* nicht als dormant und gibt keine entsprechenden Empfehlungen aus. In einer früheren Studie an *T. kok-saghyz* ließ sich auch keine Dormanz in den dort verwendeten Samen feststellen (Guang et al., 2019). Es gibt aber auch davon abweichende Literatur. So beschrieben Noronha et al. (1997) das Dormanzverhalten von *T. officinale* als dynamischen Prozess.

Der Genotyp bezeichnet die gesamten Erbanlagen eines Lebewesens und bildet damit seine genetische Grundlage (Kull, 2019, p. 117). Diese Ausstattung beeinflusst die Keimungsvorlieben einer Art, da sie festlegt, wie deren Samen auf Umweltreize reagieren. Entsprechend können selbst eng verwandte Linien deutliche Unterschiede im Keimungsverhalten aufweisen. Eine Untersuchung aus den Niederlanden zeigte ausgeprägte Differenzen in der Keimökologie mehrerer dort vorkommender *T. officinale*-Mikrospezies (Van Loenhoud & Duyts, 1981). Eine andere Studie über *T. officinale* kam ebenso zu dem Ergebnis, dass unter anderem die Keimungsrate vom Genotyp abhängig sein kann (Vellend et al., 2009, p. 413).

Dabei ist zu beachten, dass neben genetischen Unterschieden auch sogenannte maternale Effekte die Keimung beeinflussen. Damit ist gemeint, dass die Mutterpflanze Eigenschaften der Nachkommen nicht nur genetisch, sondern auch über das Samen- und Fruchtgewebe sowie über die Bedingungen während der Samenbildung mitprägt. Dadurch kann die Umwelt der Mutterpflanze später beeinflussen, wie keimfähig deren Samen sind und wie empfindlich sie auf Umweltbedingungen reagieren (Roach & Wulff, 1987). Für Keimversuche bedeutet das, dass Unterschiede zwischen Saatgutchargen nicht ausschließlich genetisch interpretiert werden können, weil auch die Bedingungen der Samenbildung und -reife eine Rolle spielen können.

Ein weiterer essenzieller Faktor bei der Keimung ist das Licht. Bei sogenannten Lichtkeimern ist es für die Initiierung des Prozesses erforderlich, während Dunkelkeimer sich nur unter Abwesenheit davon entwickeln können (Kull, 2019, p. 535). Thompson (1989) stellte fest, dass die Keimung von *T. officinale* im Dunkeln gehemmt ist. Eine amerikanische Studie an drei verschiedenen *Taraxacum*-Arten kam zu ähnlichen Ergebnissen und zeigte, dass Dunkelheit die Keimung aller untersuchten Arten verringert (Luo & Cardina, 2012, p. 118). Das deutet darauf hin, dass einige Vertreter der Gattung *Taraxacum* als Lichtkeimer einzustufen sind.

Jede Pflanzenart hat einen spezifischen optimalen Bereich für die Temperatur bei der Keimung. Zusätzlich benötigen manche Arten eine Stratifikation (Kältereiz) oder sogar eine Frostkeimung (Minusgrade während der Dormanz), um erfolgreich keimen zu können (Kull,

2019, p. 535). Frühere Arbeiten zu *T. kok-saghyz* beschreiben die Temperatur als einen wichtigen Einflussfaktor auf die Keimung und nennen ein Keimoptimum von 25 °C. Zudem wurde bereits früh berichtet, dass Kältevorbehandlungen die Keimung der Art fördern können, wobei der Effekt offenbar vom physiologischen Zustand und Reifegrad des Saatguts abhängt (Ulmann, 1951, p. 114 ff). Ein Kältereiz von 0 – 2 °C wird in neueren Studien als vorteilhaft für eine verbesserte Keimung angegeben (Seilkhan, 2024, p. 11). Auch King-Smith et al. (2025, pp. 460-461) kommen zum Schluss, dass eine achtwöchige Kühlung bei 4 °C vor der Aussaat die Keimfähigkeit dieser Art erhöht. Eine Studie von Bostock (1978, p. 118) über die Keimstrategie von fünf mehrjährigen Unkräutern belegte, dass eine Stratifikation jedoch keinen Effekt auf *T. officinale* hat.

Die Samengröße bestimmt natürlicherweise die metabolischen Ressourcen des Keimlings und größere Samen führen in der Regel zu vitaleren Sämlingen. Aber es gibt artspezifische Variation (Ambika et al., 2014; Westoby et al., 1992). Laut Silvertown (1989, p. 24) kann die Samengröße bei wilden Arten phänotypisch variabel sein. Und da die Gattung *Taraxacum* bekanntlich dimorphe Früchte ausbilden kann (siehe Kapitel 1.1), sind ihre Samen für gewöhnlich nicht einheitlich in Größe und Form.

2.4 Zielsetzung der Arbeit

Trotz zahlreicher Untersuchungen zu einzelnen Einflussfaktoren ist das Zusammenspiel von Genotyp, Umweltbedingungen und Samengröße bei Löwenzahn bisher nicht abschließend geklärt. Im Zuge des gestiegenen züchterischen Interesses, vor allem an dem kautschukbildenden *T. kok-saghyz*, gewinnt jedoch die Optimierung der Keimbedingungen zunehmend an Bedeutung. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, einen Beitrag zur Untersuchung keimungsrelevanter Einflussfaktoren bei *Taraxacum* zu leisten.

Zur Auswertung dienten die Endkeimrate als Maß für das maximale Keimpotenzial und der Parameter t_{50} . Letzterer bildet die Zeit bis zum Erreichen einer bestimmten Entwicklungsstufe bei 50 % der Samen und damit die Keimgeschwindigkeit ab. Ranal und Santana (2006) haben dazu in ihrer Studie dargelegt, dass der dynamische Prozess der Keimung am besten unter gemeinsamer Betrachtung beider Parameter bewertet werden sollte, da sowohl das Potenzial als auch die Geschwindigkeit wichtige Kenngrößen darstellen. Es ergibt sich daher zusammenfassend folgende Forschungsfrage:

Welche Faktoren beeinflussen die Keimleistung und Keimgeschwindigkeit von *Taraxacum*-Saatgut und in welchem Zusammenhang stehen beide Parameter?

Zur weiteren Präzisierung wurden folgende Hypothesen formuliert:

H1: Genotypische Unterschiede beeinflussen sowohl die Endkeimrate als auch die Keimgeschwindigkeit.

H2: Unterschiedliche Lichtintensitäten beeinflussen die Endkeimrate und die Keimgeschwindigkeit.

H3: Eine Kältestratifikation hat eine höhere Endkeimrate sowie eine schnellere Keimgeschwindigkeit zur Folge.

H4: Die Samengröße beeinflusst die Endkeimrate und die Keimgeschwindigkeit.

H5: Zwischen Keimgeschwindigkeit und Endkeimrate besteht ein Zusammenhang.

3Material und Methoden

Zur Untersuchung der formulierten Fragestellungen wurden zwei faktoriell angelegte Versuche durchgeführt, deren Material und Methoden im Folgenden beschrieben werden.

3.1Versuchsmaterial

Für die Versuche standen sechs verschiedene Saatgutproben der Gattung *Taraxacum* zur Verfügung. Eine Übersicht der untersuchten Genotypen ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Chargen stammten aus zwei verschiedenen Zuchtbetrieben: drei wurden von der Böhm Agrar GmbH & Co. KG in Kruckow, Mecklenburg-Vorpommern erzeugt, die drei weiteren von ESKUSA GmbH in Parkstetten, Niederbayern. Beide Betriebe kooperieren im Rahmen eines gemeinsamen Löwenzahnprojektes (Paul, 2024). Bei den verwendeten Arten handelte es sich um *T. officinale*, *T. kok-saghyz* sowie interspezifische Kreuzungen beider Arten, aus denen hybride Linien entstanden sind.

Die verwendeten Saatgutproben stammten aus den Erntejahren 2023 bis 2025. Bis zum Versuchsbeginn wurden sie bei der Böhm Agrar GmbH dunkel bei Raumtemperatur sowie bei der ESKUSA GmbH dunkel und bei 4 °C gelagert. Alle Chargen waren naturbelassen und unbehandelt. Die Tausendkorngewicht (TKG) wurde durch Wägung von 2 Teilproben á 10 Samen je Genotyp bestimmt und auf 1.000 Samen hochgerechnet.

Tabelle 1: Verwendete Genotypen der Gattung *Taraxacum*.

Be- zeich- nung	Herkunft	Art bzw. Kreuzung	Ernte- jahr	TKG (g)	Verwendung in Versuch 1	Verwendung in Versuch 2
G1	Böhm Agrar GmbH & Co. KG	<i>T. officinale</i> x <i>T. kok-saghyz</i>	2024	0,43	x	x
G2	Böhm Agrar GmbH & Co. KG	<i>T. officinale</i>	2024	0,42	x	x
G3	Böhm Agrar GmbH & Co. KG	<i>T. officinale</i> x <i>T. kok-saghyz</i>	2024	0,45	x	
G4	ESKUSA GmbH	<i>T. kok-saghyz</i>	2023	0,44		x
G5	ESKUSA GmbH	<i>T. officinale</i> x <i>T. kok-saghyz</i>	2025	0,66		x
G6	ESKUSA GmbH	<i>T. officinale</i>	2025	1,3		x

Der Einfachheit halber werden die untersuchten Arten und Kreuzungen im Folgenden als Genotypen (G1-G6, siehe Tabelle 1) bezeichnet. Tatsächlich handelt es sich dabei jeweils um Saatgutproben aus einem bestimmten Erntejahr und nicht um genetisch eindeutig definierte Genotypen.

3.2 Versuchsaufbau und Umweltbedingungen

Sofern nicht anders angegeben, galten die Bedingungen für beide Versuche.

Es kamen zwei Vegetationsschränke der Marke Panasonic (Typ MLR-352H-PE, 5 Einlegeböden) zum Einsatz. Vor Beginn jedes Versuchsdurchgangs wurden Datum und Uhrzeit über das Gerätemenü eingestellt. Während der gesamten Versuchsdauer lagen die eingestellten Bedingungen bei 60 % relativer Luftfeuchtigkeit und 20 °C. Die Überprüfung dieser Bedingungen erfolgte täglich über das interne Klimalogging-System der Vegetationsschränke.

Die tägliche Beleuchtungsdauer betrug 15,5 h (06:15 bis 21:45 Uhr). Zwischen 6:30 und 21:30 Uhr lief die versuchsspezifische Hauptlichtstufe. In den jeweils 15-minütigen Übergangsphasen vor und nach der Hauptlichtphase wurde Lichtstufe 1 eingestellt, um einen natürlichen Übergang zwischen Dunkel- und Lichtphase abzubilden. Die Dunkelphase erstreckte sich von 21:45 bis 06:15 Uhr (8,5 h). Die Hauptlichtstufen variierten je Versuch und werden in den versuchsspezifischen Kapiteln näher beschrieben.

Da Lichtstufe 1 lediglich 30 Minuten pro Tag aktiv war, wurde auf eine gesonderte Erfassung der Lichtbedingungen unter dieser Stufe verzichtet. Die spektral integrierte Bestrahlungsstärke im Wellenlängenbereich von 400 – 750 nm wurde nach Abschluss der Versuche daher für beide Hauptlichtstufen und beide Vegetationsschränke mit einem faseroptischen Spektrometer (Avantes AvaSpec-ULS4096CL-EVO; Messmodus: absolute irradiance; werkskalibriert, kosinuskorrigierter Diffusor) bestimmt. Die Messungen erfolgten in einem 5-Punkte-Raster (Mitte, vorne links, vorne rechts, hinten links, hinten rechts) auf jedem der fünf Einlegeböden je Schrank. Aus den Einzelmessungen wurden zunächst Mittelwerte pro Etage und anschließend für jede Lichtstufe und jeden Schrank gebildet. Aus den spektralen Rohdaten wurde zudem die photosynthetisch aktive Photonenflussdichte (PPFD, engl. photosynthetic photon flux density) im photosynthetisch aktiven Strahlungsbereich (PAR, engl. photosynthetically active radiation, 400-700 nm) näherungsweise berechnet. Da der kosinuskorrigierte Diffusor horizontal ausgerichtet war, die Beleuchtung jedoch vertikal montiert ist, stellen die berechneten PPFD-Werte eine systematische Unterschätzung dar und sind daher nur für den relativen Vergleich der Lichtstufen geeignet. Die mittleren integrierten Bestrahlungsstärken und PPFD der jeweiligen

Lichtstufen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die mittlere integrierte Bestrahlungsstärke der Stufe 3 lag etwa 53 % über derjenigen der Lichtstufe 2.

Tabelle 2: Mittlere integrierte Bestrahlungsstärke ($\mu\text{W cm}^{-2}$) und berechneter PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) im Wellenbereich 400 – 750 nm je Vegetationsschrank und Hauptlichtstufe.

Vegetations-					
Lichtstufe	schrank	$\mu\text{W cm}^{-2}$	SD	CV (%)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
2	1	336	49,6	14,8 %	15,1
2	2	352	43,3	12,3 %	15,8
3	1	535	69,4	13,0 %	24
3	2	521	60,1	11,5 %	23,4

Die spektrale Verteilung der Hauptlichtstufen wurde zentral auf dem mittleren Einlegeboden im Vegetationsschrank gemessen. Die Spektren waren nahezu identisch, daher wird im Folgenden nur ein repräsentatives Spektrum dargestellt (Abbildung 2); die anderen befinden sich im Anhang (Abbildungen 11-13).

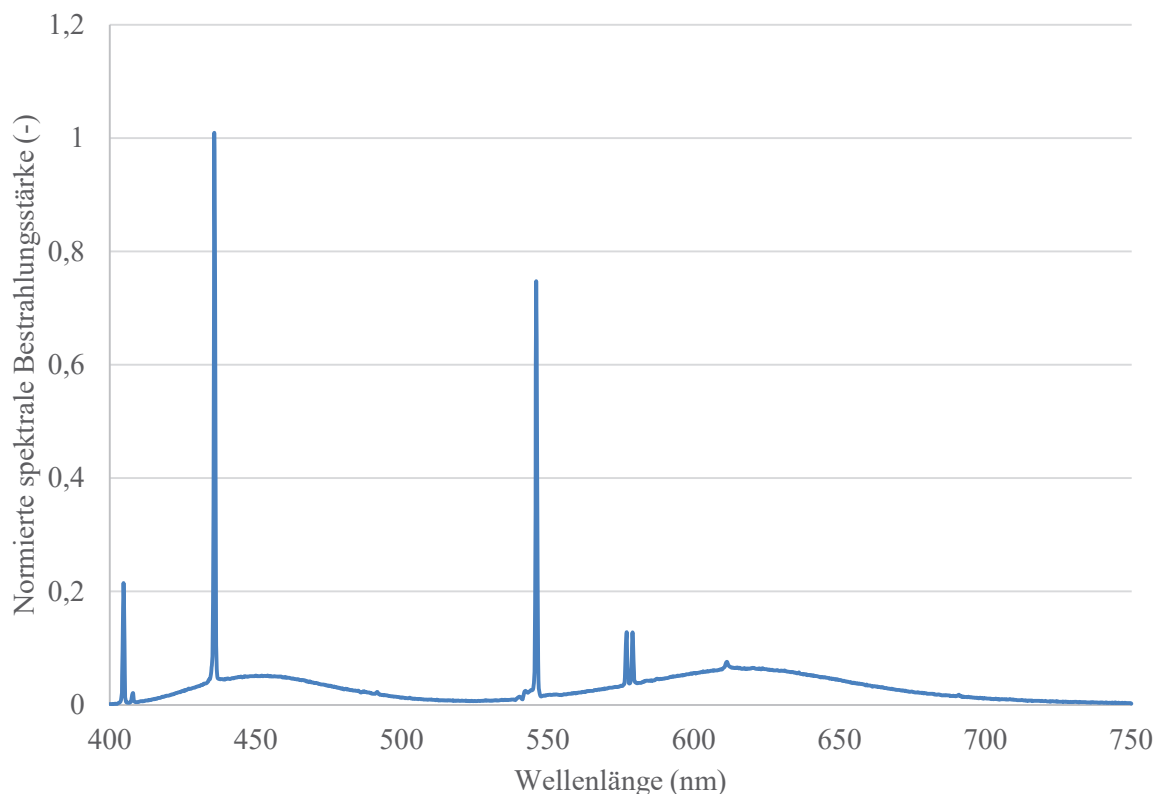


Abbildung 2: Normierte spektrale Verteilung der Lichtstufe 2 (schranggemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 1.

3.3 Versuchsdurchführung

Für die Anzucht wurden nummerierte Kunststoff-Anzuchtpaletten mit 150 Zellen verwendet. Jede der Palette stellte eine Wiederholung dar. Alle Genotypen und Varianten waren auf jeder Palette vertreten und ihre Positionen innerhalb dieser wurden mit einer Zufallsgenerator-App (Random App, PavelDev, Version 2.2.5) randomisiert. Grobes Sieben des Substrates (handelsübliche Anzuchterde, „Orange PS Tray“, Patzer Erden) vor der Aussaat entfernte größere Holz- und Faserbestandteile. Nach randvollem Befüllen mit der Erde und einheitlicher Verdichtung erfolgte die Erstbefeuchtung. Hierzu wurden die Paletten jeweils für 10 Minuten in eine passende Anzuchtschale mit 2 Litern Leitungswasser zur kapillaren Aufnahme gestellt.

Mithilfe der Erfassung der Restwassermenge ergab sich eine maximale Wasseraufnahme zwischen 1,4–1,6 Liter je Palette. Nach 5 Minuten Einweichen in Leitungswasser wurden die Samen anschließend mit einer Pinzette auf die vorbereiteten Paletten ausgebracht. Die reguläre Bewässerung erfolgte ab Tag 3 im Zwei-Tage-Intervall ebenfalls von unten (je 5 Minuten Standzeit pro Palette in je 500 ml Wasser). Die Versuche wurden jeweils nach 14 Tagen beendet.

3.4 Bonitur und Bewertungskriterien

Tägliche Bonituren sicherten eine konstante Erfassung der Anzahl der Samen je Entwicklungsstadium. Das Boniturschema unterschied die Stadien „Keimung begonnen“, „Keimblätter entfaltet“, „erstes Laubblatt sichtbar“ und „zweites Laubblatt sichtbar“. Die Kategorien entsprachen der natürlichen Entwicklungsabfolge und wurden kumulativ erfasst.

Als „Keimung begonnen“ galten alle Samen mit sichtbarer Radikula, da dies allgemein hin als das erste visuell erkennbare Zeichen des Keimprozesses ist.

3.5 Versuch 1: Einfluss von Licht, Genotyp und Kältestratifikation

Versuch 1 wurde in einem multifaktoriellen Design (Licht x Genotyp x Stratifikation) durchgeführt. Drei verschiedene Genotypen (G1-G3; Tabelle 1) und pro Vegetationsschrank vier Paletten kamen zum Einsatz. Jede Palette stellte eine Wiederholung dar. Die verglichenen Hauptlichtstufen waren 2 und 3.

Der Versuch umfasste zwei Durchgänge, die als Blockfaktor berücksichtigt wurden. Nach Abschluss des ersten Durchgangs erfolgte ein Tausch der Hauptlichtstufen zwischen den Vegetationsschränken, um einen möglichen Schrankeffekt auszuschließen.

Zur Überprüfung eines Stratifikationseinflusses lagerte jeweils die Hälfte des Saatgutes eines Genotyps vor Versuchsbeginn für sieben Tage bei 6 °C in einem handelsüblichen Kühlschrank. Dieser praxisnahe Ansatz wurde gewählt, um zu testen, ob bereits ein kurzer, moderater Kältereiz einen Einfluss auf die Keimung ausübt. Die andere Hälfte verblieb bei Raumtemperatur (20 °C). Die Temperaturen wurden mit einem externen Temperaturlogger überwacht und waren konstant.

Pro Palette wurden je Genotyp 25 warm gelagerte und 25 kalt gelagerte Samen getrennt ausgelegt, so dass sich pro Genotyp 50 Samen und pro Palette insgesamt 150 Samen ergaben (3 Genotypen x 2 Lagerungsvarianten x 25 Samen). Die Positionierung erfolgte randomisiert (siehe Abschnitt 3.5). Eine schematische Darstellung der Anordnung zeigt Abbildung 14 im Anhang.

3.6 Versuch 2: Einfluss von Samengröße und Genotyp

Versuch zwei wurde in einem zweifaktoriellen Design (Samengröße x Genotyp) durchgeführt. Dieser Versuch lief unter Hauptlichtstufe 3. Es erfolgte eine Überprüfung von fünf Genotypen (G1, G2, G4 – G6; Tabelle 1). Da das Saatgut von der ESKUSA GmbH standardmäßig kühl gelagert wird, wurden die Genotypen G1 und G2 aus dem Hause Böhm 7 Tage bei 6 °C aufbewahrt, um einheitliche Startbedingungen zu schaffen. Eine Palette galt als experimentelle Einheit und somit als Wiederholung. Der Versuch erstreckte sich über zwei Durchgänge, die in der statistischen Auswertung wieder als Blockfaktoren einfließen.

Das Saatgut wurde mithilfe eines Binokulars und Millimeterpapier händisch nach Korngröße sortiert. Maßgeblich war dabei die Länge der Samen ohne Berücksichtigung des Stielansatzes. Zusätzlich wurde das TKG der Varianten ermittelt. Die entsprechende Einteilung ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Schwellenwerte wurden so gewählt, dass deutliche Unterschiede in den Größenklassen entstanden. Samen in Übergangsbereichen blieben hierbei unberücksichtigt.

Tabelle 3: Einteilung der Samen nach Größenklassen für Versuch 2 je Genotyp inkl. Angabe des TKG (g), getrennt nach Durchgängen.

Genotyp	groß	TKG groß Durchgang 1	TKG groß Durchgang 2	klein	TKG klein Durchgang 1	TKG klein Durchgang 2
G1	> 3mm	0,64	0,59	≤ 3 mm	0,41	0,36
G2	> 2,75 mm	0,64	0,59	< 2,5 mm	0,36	0,39
G4	≥ 3 mm	0,61	0,58	< 3 mm	0,42	0,43
G5	> 3mm	0,74	0,69	≤ 3 mm	0,51	0,61
G6	≥ 4 mm	1,41	1,42	$\leq 3,5$ mm	0,98	1,07

Je Palette wurden pro Genotyp 15 große und 15 kleine Samen getrennt ausgelegt, sodass sich je Genotyp 30 Samen und pro Palette jeweils 150 Samen ergaben (5 Genotypen x 2 Größenklassen x 15 Samen). Die Positionierung erfolgte auch hier randomisiert (siehe Abschnitt 3.5). Eine schematische Darstellung der Anordnung zeigt Abbildung 15 im Anhang.

3.7 Statistische Auswertung

Zur Bewertung des Keimverhaltens wurden die Endkeimraten (in %) nach 14 Tagen sowie der Parameter t_{50} herangezogen.

Die Endkeimrate wurde als Anteil der gekeimten Samen an der Gesamtzahl der ausgelegten Samen je Variante berechnet. Die Berechnung der t_{50} -Werte erfolgte auf Basis der kumulativen Keimkurven mittels linearer Interpolation zwischen den benachbarten Beobachtungszeitpunkten. Konnte innerhalb der Versuchsdauer der 50 %-Schwellenwert nicht erreicht werden, wurde für die entsprechende Variante kein t_{50} -Wert berechnet und der Wert als fehlend behandelt.

Für beide Versuche wurde ein t_{50} -Wert für die Boniturskategorie „Keimung begonnen“ – im Folgenden als t_{50} Keimung bezeichnet – errechnet. Dieser bezog sich auf die Gesamtzahl der ausgelegten Samen und beschreibt somit den Zeitpunkt, zu dem 50% dieser den Prozess der Keimung sichtbar gestartet hatten. Zudem wurde ein t_{50} -Wert für die Kategorie „Keimblätter entfaltet“ – im weiteren Verlauf als t_{50} Keimblatt bezeichnet – bestimmt. Hier bezog sich die Berechnung auf die Anzahl der tatsächlich gekeimten Samen.

Eine multifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) erfolgte für Versuch 1 und 2, um die Effekte der geprüften Faktoren sowie deren Interaktionen auf Endkeimrate und t_{50} zu prüfen. Der Faktor „Durchgang“ ging als Blockfaktor in das Modell ein, um mögliche zeitliche Unterschiede

zwischen den Versuchswiederholungen zu berücksichtigen. Zur Beurteilung der Effektstärke diente das partielle Eta-Quadrat (η^2_p). Werte zwischen 0,01 und 0,06 bezeichnen dabei einen kleinen, Werte zwischen 0,06 und 0,14 einen mittleren und ab 0,14 einen großen Effekt nach Konventionen von Cohen (Rasch et al., 2010, p. 94). Die Prüfung der Normalverteilung der Residuen erfolgte mit dem Shapiro-Wilk-Test und die der Varianzhomogenität mit dem Levene-Test. Bei Verletzung der Voraussetzungen in einzelnen Analysen wurde die ANOVA beibehalten, da sie bei annähernd gleichen Gruppengrößen und balancierter Versuchsplanung als robust gilt (Bortz & Schuster, 2010, p. 214). Bei signifikanten Effekten erfolgten Post-hoc-Vergleiche nach Tukey. Das Signifikanzniveau war $\alpha = 0,05$. Ergänzend wurden in ausgewählten Fällen explorative paarweise Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt, um visuell auffällige Gruppenunterschiede bei nicht-normalverteilten Daten näher zu prüfen (Bortz & Schuster, 2010, p. 130). Das Signifikanzniveau wurde hierfür nach Bonferroni korrigiert ($\alpha_{korr} = 0,05/3 = 0,017$). Als Effektstärke wurde die biseriale Rangkorrelation (r_{bisR}) verwendet. Werte um 0,1 kennzeichnen einen kleinen, Werte um 0,3 einen mittleren und Werte ab 0,5 einen großen Effekt (Field, 2024, p. 117).

Lineare Regressionsanalysen wurden zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Endkeimrate und t_{50} Keimung sowie zwischen beiden t_{50} -Parametern verwendet.

Die experimentelle Einheit war jeweils die Palette. Zur Erfassung und Aufbereitung der Boniturdaten sowie für die deskriptive Statistik kam Microsoft Excel (Office 16) zum Einsatz. Die weiterführenden statistische Auswertungen wurden mit jamovi (The jamovi project, 2025) erstellt.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden durchgeführten Keimversuche dargestellt. Alle Boxplots zeigen Median (Linie), Interquartilsabstand (Box) und Whisker; Einzelwerte sind als Punkte dargestellt. Signifikante Unterschiede zwischen Genotypen sind durch unterschiedliche Großbuchstaben, solche zwischen Lichtstufen durch Kleinbuchstaben gekennzeichnet (Tukey-Test, $p < 0,05$).

4.1 Versuch 1

Der erste Versuch galt der Untersuchung der Auswirkungen von Genotyp, Lichtstufe und Kältestratifikation auf Endkeimrate und die Keimgeschwindigkeiten (t_{50}). Die mittleren Endkeimraten und t_{50} -Werte der geprüften Variablen sind in Tabelle 4 und die Rohdaten des Versuches in Tabelle 6 im Anhang abgebildet.

Tabelle 4: Endkeimrate und Keimparameter (t_{50} Keimung, t_{50} Keimblatt) in Abhängigkeit von Lichtstufe und Kältereiz (MW $\pm$ SD)¹, Versuch 1.

Genotyp	Lichtstufe	Kältereiz	Endkeimrate (%)	t_{50} Keimung (d)	t_{50} Keimblatt (d)
G1	2	ja	78,0 $\pm$ 16,4	7,3 $\pm$ 1,4	10,1 $\pm$ 1,5
G1	2	-	76,6 $\pm$ 15,8	6,8 $\pm$ 2,3	9,6 $\pm$ 1,7
G1	3	ja	79,0 $\pm$ 8,2	7,4 $\pm$ 1,0	9,6 $\pm$ 1,1
G1	3	-	82,0 $\pm$ 6,0	7,1 $\pm$ 1,2	9,5 $\pm$ 0,6
G2	2	ja	78,5 $\pm$ 12,3	6,4 $\pm$ 1,8	7,5 $\pm$ 1,1
G2	2	-	77,5 $\pm$ 14,2	6,7 $\pm$ 2,2	7,3 $\pm$ 0,5
G2	3	ja	79,0 $\pm$ 6,7	5,6 $\pm$ 1,3	6,8 $\pm$ 1,0
G2	3	-	87,1 $\pm$ 10,8	5,4 $\pm$ 1,5	7,0 $\pm$ 1,2
G3	2	ja	71,5 $\pm$ 14,4	7,8 $\pm$ 2,5	9,6 $\pm$ 2,1
G3	2	-	68,0 $\pm$ 8,6	9,0 $\pm$ 2,9	10,1 $\pm$ 1,7
G3	3	ja	69,5 $\pm$ 18,1	6,4 $\pm$ 1,3	8,7 $\pm$ 1,4
G3	3	-	72,5 $\pm$ 13,9	6,8 $\pm$ 1,6	8,1 $\pm$ 1,4

¹ MW $\pm$ SD; MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Die Endkeimrate basiert auf 8 Wiederholungen je Faktorkombination (n = 96). Für die t_{50} -Parameter lagen aufgrund nicht erreichten 50 %-Schwellenwerte teilweise weniger Wiederholungen (t_{50} Keimung n = 91; t_{50} Keimblatt n = 90) vor.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels multifaktorieller Varianzanalyse (ANOVA). Berücksichtigt wurden die Haupteffekte und deren zweifache Interaktionen. Für den Faktor Genotyp schlossen sich bei signifikanten Haupteffekten Post-hoc-Tests nach Tukey an. Diese zeigen paarweise Unterschiede zwischen den Genotypen auf. Für die übrigen Faktoren ergaben sich lediglich zwei Ausprägungen, daher war ein Post-hoc-Test hier nicht erforderlich.

4.1.1 Endkeimrate

Die höchsten mittleren Endkeimraten wurden bei Genotyp 2 (G2) bei warm gelagertem Saatgut und Lichtstufe 3 ($87,1 \pm 10,8\%$) beobachtet, während Genotyp 3 (G3) insgesamt niedrige Werte aufwies (z.B. $68 \pm 8,6\%$).

Es zeigten sich signifikante Haupteffekte für Genotyp ($F(2, 81) = 6,887; p = 0,002; \eta^2_p = 0,145$) und Durchgang ($F(1, 81) = 13,661; p < 0,001; \eta^2_p = 0,144$).

Für Lichtstufe ($F(1, 81) = 1,743; p = 0,190; \eta^2_p = 0,021$) und Stratifikation ($F(1, 81) = 0,324; p = 0,571; \eta^2_p = 0,004$) ergaben sich keine bedeutsamen Effekte.

Keine der geprüften zweifachen Interaktionen ($p > 0,05$) erwies sich als signifikant.

Die Post-hoc-Analyse (Tukey) offenbarte bedeutsame Unterschiede zwischen Genotyp 3 und den Genotypen 1 (G1) ($p = 0,013$) sowie 2 ($p = 0,003$). Zwischen Genotyp 1 und 2 bestand kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$).

Die Verteilung der Endkeimraten für die einzelnen Genotypen ist in Abbildung 3 dargestellt.

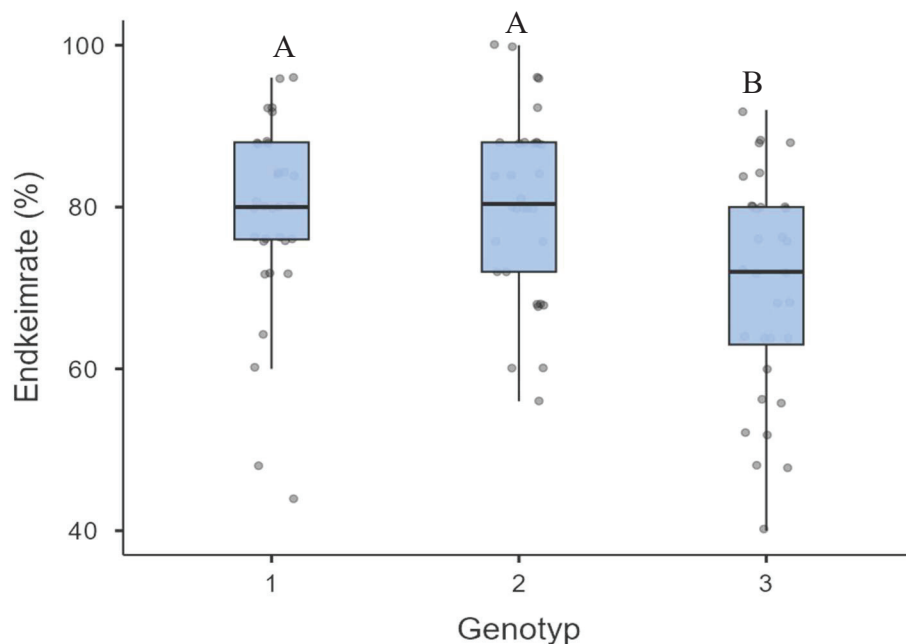


Abbildung 3: Endkeimraten der drei Genotypen in Versuch 1.

4.1.2 t_{50} Keimung

Bei den t_{50} -Werten für die begonnene Keimung ergaben sich für Genotyp 2 die niedrigsten Mittelwerte unter Lichtstufe 3 (z.B. $5,4 \pm 1,5$ d) und für den Genotyp 3 der höchste bei warm gelagertem Saatgut unter Lichtstufe 2 ($9 \pm 2,9$ d).

Die ANOVA zeigte statistisch bedeutsame Effekte für Genotyp ($F(2, 76) = 6,875$; $p = 0,002$; $\eta^2_p = 0,153$), Lichtstufe ($F(1, 76) = 7,608$; $p = 0,007$; $\eta^2_p = 0,091$) sowie Durchgang ($F(1, 76) = 11,692$; $p = 0,001$; $\eta^2_p = 0,133$). Der Faktor Stratifikation ($F(1, 76) = 0,243$; $p = 0,623$; $\eta^2_p = 0,003$) war dagegen ohne Bedeutung. Signifikante Interaktionen zeigten sich zwischen Lichtstufe und Durchgang ($F(1, 76) = 5,339$; $p = 0,024$; $\eta^2_p = 0,066$) sowie zwischen Genotyp und Durchgang ($F(2, 76) = 3,762$; $p = 0,028$; $\eta^2_p = 0,090$). Die anderen geprüften Interaktionen waren nicht bedeutsam ($p > 0,05$).

Genotyp 2 unterschied sich laut Post-hoc-Vergleich von Genotyp 1 ($p = 0,015$) sowie Genotyp 3 ($p = 0,003$). Genotyp 1 und 3 waren statistisch gesehen nicht unterschiedlich ($p > 0,05$).

Visuell (Abb. 4) deuteten sich Unterschiede zwischen den Lichtstufen innerhalb der Genotypen an, obwohl die entsprechende Interaktion nicht signifikant ($p = 0,098$) war. Daher wurden zusätzlich explorative paarweise Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt. Es zeigten sich auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lichtstufen (alle $p > 0,017$; Bonferroni-korrigiert).

Abbildung 4 stellt die Verteilung der t_{50} -Werte je Genotyp unter den geprüften Lichtstufen dar.

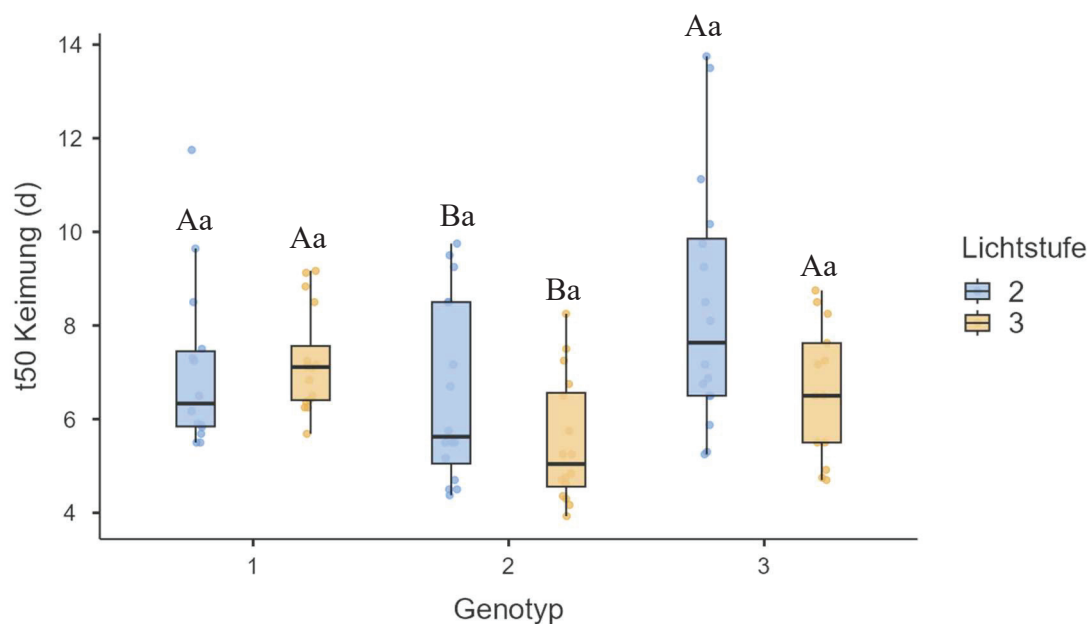


Abbildung 4: t_{50} Keimung (d) der drei Genotypen unter Lichtstufe 2 (schranggemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) und 3 (schranggemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) in Versuch 1.

4.1.3 t_{50} Keimblatt

Für Genotyp 1 bei kältestratifiziertem Saatgut ($10,1 \pm 1,5$ d) sowie Genotyp 3 bei warm gelagertem Saatgut wurden unter Lichtstufe 2 höhere ($10,1 \pm 1,7$ d) t_{50} -Werte für die Keimblattentfaltung beobachtet. Genotyp 2 zeigte dagegen insgesamt niedrigere Werte ($6,8 \pm 1$ d).

Bei der multifaktoriellen Varianzanalyse mit zweifachen Interaktionen zeigte sich, dass Licht ($F(1, 75) = 8,381$; $p = 0,005$; $\eta^2_p = 0,101$), Genotyp ($F(2, 75) = 35,129$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,484$) und auch Durchgang ($F(1, 75) = 9,193$; $p = 0,003$; $\eta^2_p = 0,109$) statistisch von Bedeutung waren. Als nicht signifikant erwiesen sich ein Kältereiz ($F(1, 75) = 0,181$; $p = 0,672$; $\eta^2_p = 0,002$) und die geprüften zweifachen Interaktionen ($p > 0,05$).

Im Post-hoc-Test wurden Unterschiede zwischen Genotyp 2 und 1 ($p < 0,001$) sowie 2 und 3 ($p < 0,001$) beobachtet. Zwischen Genotyp 1 und 3 bestand kein signifikanter Unterschied.

In den Boxplots (Abb. 5) deuteten sich visuell Unterschiede zwischen den Lichtstufen an. Die Interaktion zwischen Genotyp und Lichtstufe wies jedoch keine Signifikanz ($p = 0,270$) auf. Zur näheren Einordnung wurden explorative paarweisen Mann-Whitney-U-Tests innerhalb der Genotypen durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur erwiesen sich dabei keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den Lichtstufen (alle $p > 0,017$).

In Abbildung 5 sind die Verteilungen der t_{50} -Werte Keimblatt (d) je Genotyp dargestellt.

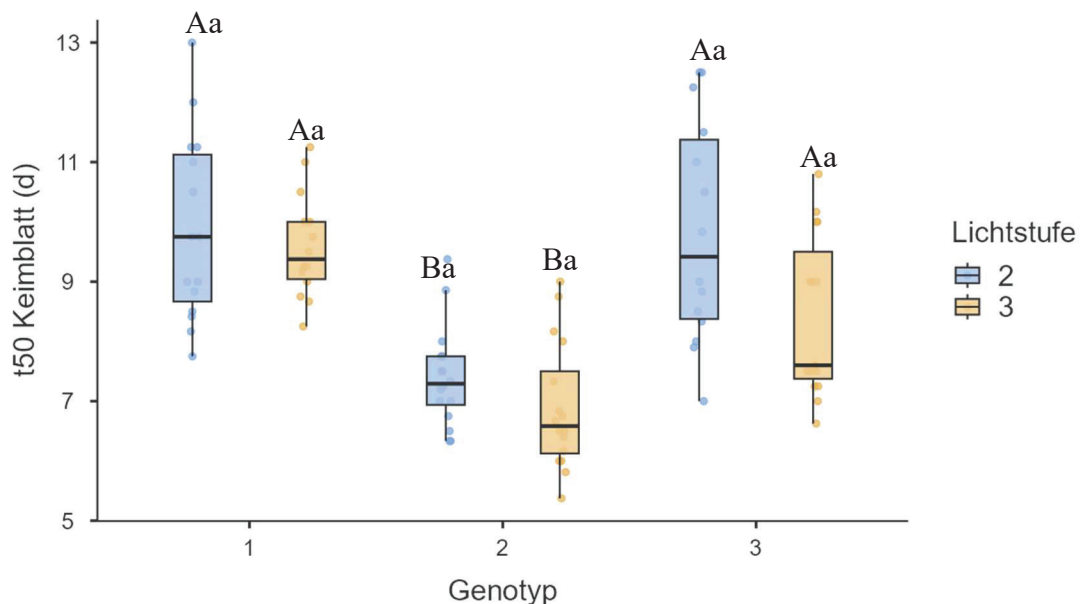


Abbildung 5: t_{50} Keimblatt (d) der drei Genotypen unter Lichtstufe 2 (schranggemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) und 3 (schranggemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) in Versuch 1.

4.2 Versuch 2

Der zweite Versuch diente der Untersuchung des Einflusses von Genotyp und Samengröße auf Endkeimrate und die Keimgeschwindigkeiten (t_{50}). Die Rohdaten sind in Tabelle 7 im Anhang dargestellt. Tabelle 5 zeigt die mittleren Endkeimraten und t_{50} -Ergebnisse.

Tabelle 5: Endkeimrate und Keimparameter (t_{50} Keimung, t_{50} Keimblatt) in Versuch 2 in Abhängigkeit von Genotyp und Samengröße (MW $\pm$ SD)².

Genotyp	Samengröße	Endkeimrate (%)	t_{50} Keimung (d)	t_{50} Keimblätter (d)
G1	groß	89,3 $\pm$ 10,0	6,8 $\pm$ 1,5	9,8 $\pm$ 2,4
G1	klein	84,0 $\pm$ 11,8	7,2 $\pm$ 2,0	9,2 $\pm$ 1,2
G2	groß	87,3 $\pm$ 9,6	5,3 $\pm$ 1,4	6,9 $\pm$ 1,0
G2	klein	88,8 $\pm$ 7,7	5,6 $\pm$ 0,9	7,9 $\pm$ 1,1
G4	groß	94,0 $\pm$ 7,3	4,8 $\pm$ 1,1	8,6 $\pm$ 1,5
G4	klein	89,3 $\pm$ 13,0	5,3 $\pm$ 1,7	8,0 $\pm$ 1,2
G5	groß	70,0 $\pm$ 9,6	5,9 $\pm$ 1,9	8,6 $\pm$ 1,3
G5	klein	75,4 $\pm$ 11,4	5,7 $\pm$ 2,5	7,8 $\pm$ 1,5
G6	groß	92,7 $\pm$ 10,6	4,0 $\pm$ 1,2	7,0 $\pm$ 1,2
G6	klein	92,7 $\pm$ 4,9	4,0 $\pm$ 0,8	7,2 $\pm$ 1,2

Eine multifaktorielle Varianzanalyse mit zweifachen Interaktionen (ANOVA) diente der statistischen Auswertung. Post-hoc-Tests (Tukey) wurden für den Faktor Genotyp (fünf Varianten) bei signifikanten Haupteffekten durchgeführt, damit paarweise Unterschiede bestimmt werden konnten. Die weiteren Faktoren waren nur in zweifacher Ausführung vorhanden und damit überbrückt sich ein Post-hoc-Test für diese.

4.2.1 Endkeimrate

Die mittlere Endkeimrate zeigte sich beim großen Saatgut des Genotyps 4 (G4) am höchsten (94,0 $\pm$ 7,3 %). Die niedrigsten Werte wurden bei Genotyp 5 (G5) beobachtet (z.B. 70,0 $\pm$ 9,6 %).

² MW $\pm$ SD; MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Die Endkeimrate und t_{50} Keimung basieren auf je 10 Wiederholungen je Faktorkombination (n = 100). Für t_{50} Keimblatt lagen aufgrund nicht erreichter 50 %-Schwellenwerte weniger Wiederholungen (n = 85) vor.

Die Varianzanalyse bildete eine Signifikanz für Genotyp ($F(4, 84) = 14,027$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,400$) und Durchgang ($F(1, 84) = 10,023$; $p = 0,002$; $\eta^2_p = 0,107$) ab. Die Samengröße ($F(1, 84) = 0,113$; $p = 0,737$; $\eta^2_p = 0,001$) war dagegen statistisch gesehen ohne Bedeutung. Die zweifachen Interaktionen ($p > 0,05$) zeigten sich alle nicht signifikant.

Im Post-hoc-Vergleich (Tukey) bildeten sich statistisch bedeutsame Unterschiede ausschließlich zwischen Genotyp 5 und den vier anderen (jeweils $p < 0,001$) ab. Die übrigen Genotypen waren nicht signifikant unterschiedlich. Die Verteilung der Endkeimrate (%) der fünf Genotyp ist in Abbildung 6 dargestellt.

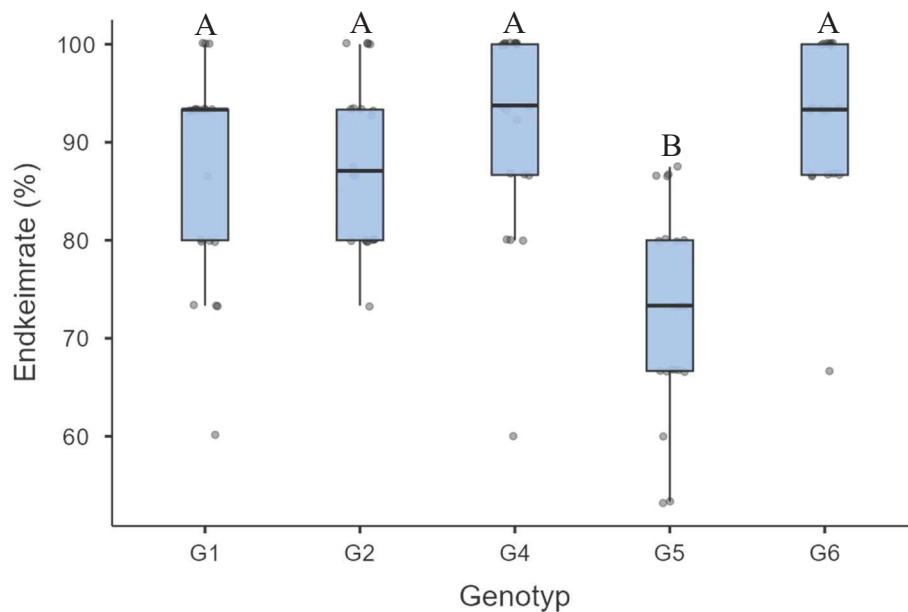


Abbildung 6: Endkeimrate (%) der fünf Genotyp in Versuch 2.

4.2.2 t_{50} Keimung

Genotyp 6 zeigte die niedrigsten Mittelwerte (u.a. $4,0 \pm 1,2$ d); Genotyp 1 (G1) die höchsten (z.B. $7,2 \pm 2,0$ d).

Durchgang ($F(1, 84) = 10,791$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,114$) und Genotyp ($F(4, 84) = 10,957$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 0,343$) zeigten sich in der ANOVA von Bedeutung. Die Samengröße ($F(1, 84) = 0,376$; $p = 0,541$; $\eta^2_p = 0,004$) war dagegen statistisch gesehen nicht relevant. Alle Interaktionen ($p > 0,05$) waren ebenso nicht signifikant.

Genotyp 1 unterschied sich statistisch bedeutsam von Genotyp 2 (G2; $p = 0,012$) sowie den Genotypen 4 und 6 (beide $p < 0,001$). Auch signifikant anders waren Genotyp 5 und 6 ($p = 0,002$) sowie 2 und 6 ($p = 0,021$). Für die übrigen getesteten Paare ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Die Darstellung der t_{50} -Werte für die geprüften Genotypen zeigt Abbildung 7.

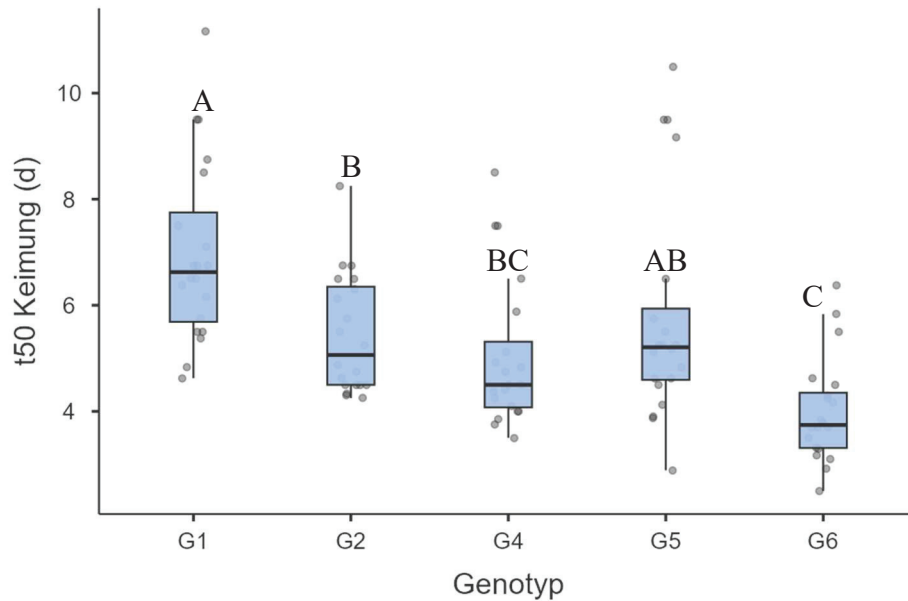


Abbildung 7: t₅₀ Keimung (d) für die verschiedenen Genotypen in Versuch 2.

4.2.3 t₅₀ Keimblatt

Aufgrund nicht erreichter Schwellenwerte reduzierten sich die verfügbaren Beobachtungen auf $n = 85$. Eine Faktorkombination (G1, kleines Saatgut, siehe Tabelle 7) erreichte das Stadium der entfalten Keimblätter über alle Wiederholungen nicht und wurde daher vollständig ausgeschlossen. Der niedrigste mittlere t₅₀ Wert wurde beim großen Saatgut des Genotyp 2 beobachtet ($6,9 \pm 1,0$ d), während Genotyp 1 durchweg höhere Ergebnisse aufwies (z.B. $9,8 \pm 2,4$ d).

Signifikant war Genotyp ($F(4, 69) = 3,601$; $p = 0,010$; $\eta^2_p = 0,173$). Die Varianzanalyse zeigte keine statistische Bedeutung für Samengröße ($F(1, 69) = 0,141$; $p = 0,709$; $\eta^2_p = 0,002$) und Durchgang ($F(1, 69) = 1,108$; $p = 0,296$; $\eta^2_p = 0,016$). Von den zweifachen Interaktionen war nur diese zwischen Samengröße und Durchgang signifikant ($p = 0,023$); alle weiteren ($p > 0,05$) nicht.

Nur Genotyp 4 und 6 unterschieden sich im Post-hoc-Test ($p = 0,036$), alle anderen nicht. Abbildung 8 zeigt die t₅₀ Werte verteilt auf die fünf Genotypen.

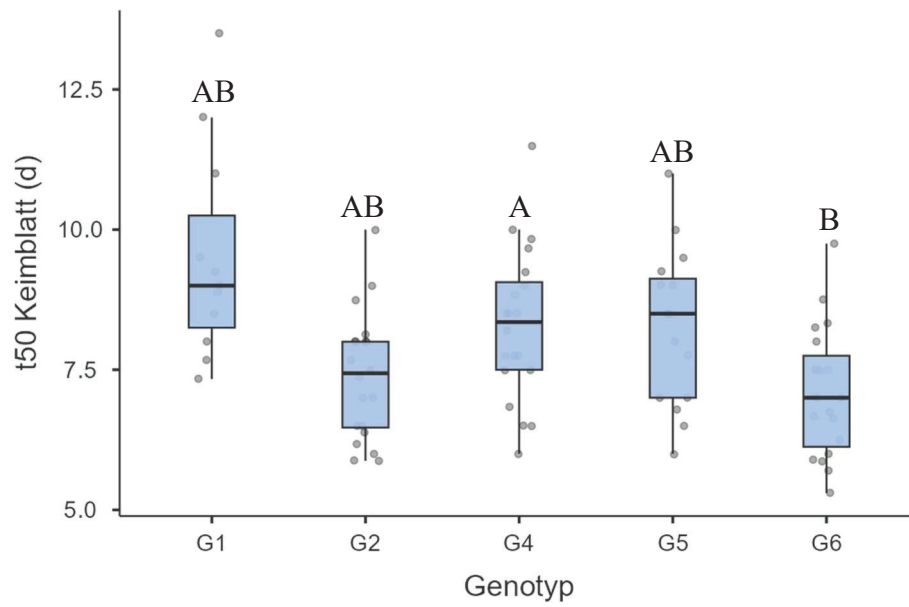


Abbildung 8: t50 Keimblatt (d) der fünf Genotypen in Versuch 2.

4.3 Zusammenhang zwischen Endkeimrate und Keimgeschwindigkeit

Zur Untersuchung möglicher Zusammenhänge der genannten Faktoren wurden lineare Regressionsanalysen durchgeführt. Neben dem in H5 formulierten Zusammenhang zwischen Endkeimrate und t_{50} Keimung wurde ergänzend explorativ dieser zwischen beiden t_{50} -Parametern untersucht.

4.3.1 Versuch 1

a) Endkeimrate – t_{50} Keimung

Zwischen der Endkeimrate und dem Keimbeginn zeigte sich ein signifikanter negativer Zusammenhang ($R^2 = 0,547$; $t(89) = -10,4$; $p < 0,001$; dargestellt in Abbildung 9). Einzelne Beobachtungen mit hohen t_{50} -Werten und niedrigen Endkeimraten sind dabei auffällig.

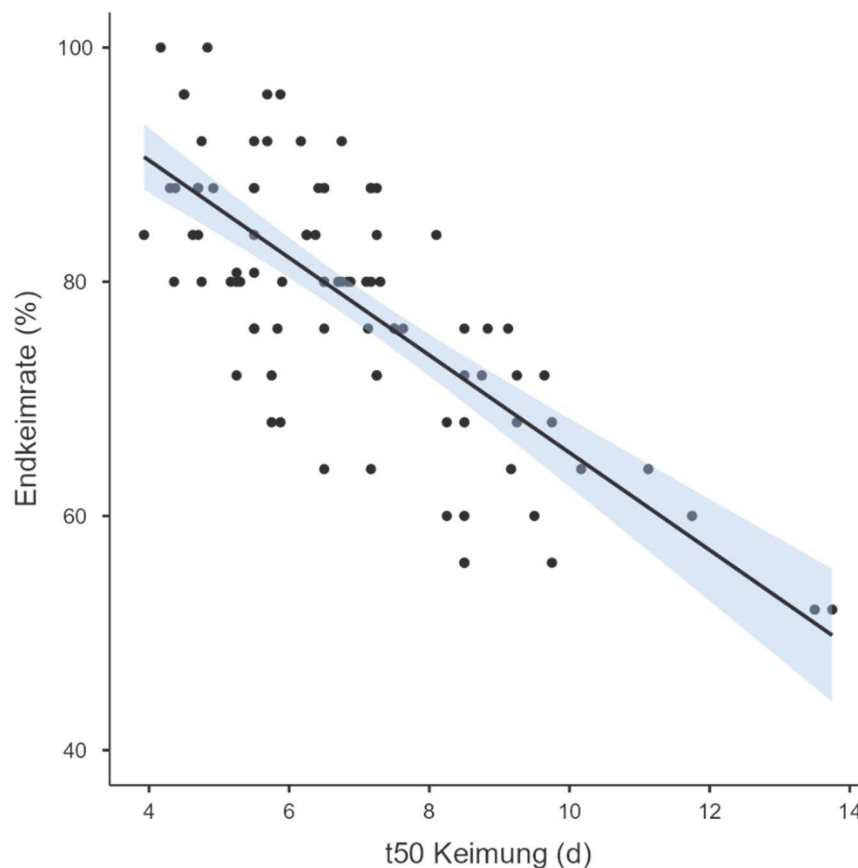


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Endkeimrate (%) und t_{50} Keimung (d) in Versuch 1. Die Linie zeigt die lineare Regressionsgerade mit 95 %-Konfidenzintervall.

b) t_{50} Keimbeginn – t_{50} Keimblatt

Es bestand ein bedeutsamer positiver Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt des Keimbegins und der Keimblattentfaltung ($R^2 = 0,387$; $t(83) = 7,23$; $p < 0,001$).

4.3.2 Versuch 2

a) Endkeimrate – t_{50} Keimung

Ein negativer Zusammenhang ($R^2 = 0,383$; $t(98) = -7,80$; $p < 0,001$) ergab sich zwischen der Endkeimrate und dem Keimbeginn. Niedrige Endkeimraten traten vor allem mit hohen t_{50} -Werten auf (Abbildung 10).

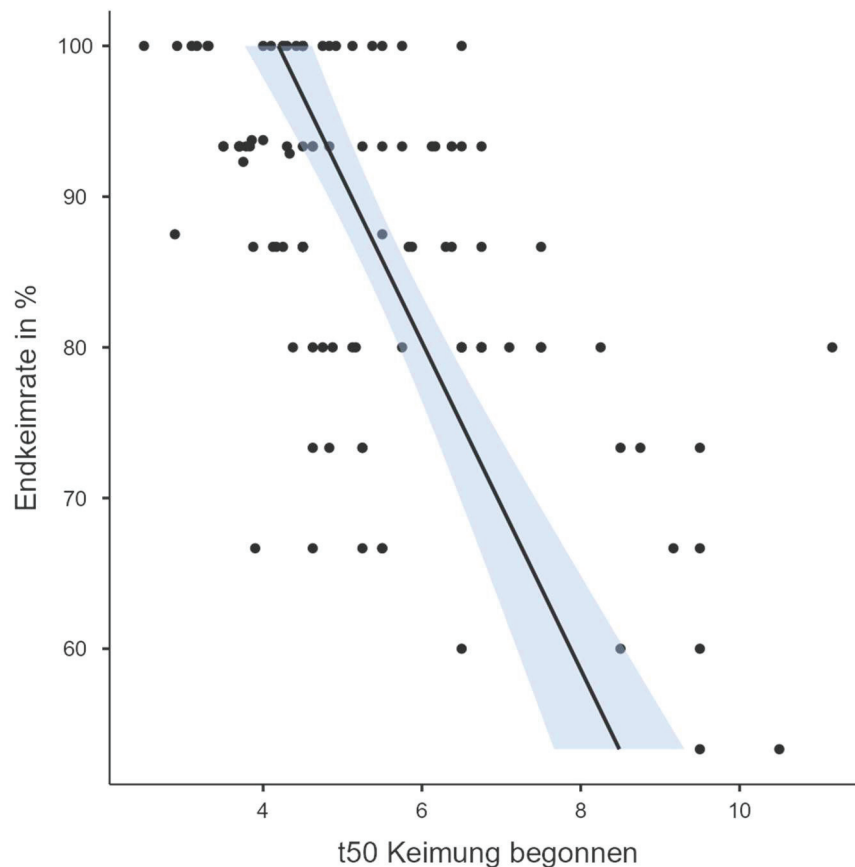


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Endkeimrate (%) und t_{50} Keimung (d) in Versuch 2.

b) t_{50} Keimbeginn – t_{50} Keimblatt

Es signifikant positiver Zusammenhang zeigte sich zwischen dem Zeitpunkt des Keimbegins und der Keimblattentfaltung ($R^2 = 0,489$; $t(83) = 8,91$; $p < 0,001$).

5 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss von Genotyp, Umweltbedingungen und Samengröße auf das Keimverhalten von *Taraxacum*-Saatgut zu untersuchen. Es standen insgesamt sechs verschiedene Saatgutproben zur Verfügung, die in zwei verschiedenen faktoriell angelegten Versuchen überprüft wurden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Keimleistung in erster Linie genetisch bedingt ist.

5.1 Einfluss des Genotyps

Der Faktor Genotyp war in allen multifaktoriellen Auswertungen signifikant und beeinflusste sowohl die Endkeimrate als auch die Keimgeschwindigkeit. Die teils hohen Effektstärken (bis $\eta^2_p = 0,484$) waren im Vergleich zu den übrigen Faktoren in den jeweiligen Modellen durchgehend am größten und deuten darauf hin, dass der Genotyp im Rahmen dieser Arbeit den stärksten Beitrag zur Erklärung der Variation der Keimparameter leistet. Damit stimmen die Ergebnisse grundsätzlich mit früheren Befunden überein, die deutliche Unterschiede im Keimverhalten zwischen Mikrospezies bzw. Genotypen innerhalb der Gattung *Taraxacum* berichten (Van Loenhoud & Duyts, 1981; Vellend et al., 2009). Auch genetische Diversität innerhalb von *T. officinale*-Populationen wurde bereits beschrieben (Vavrek, 1998), was die beobachteten Effekte plausibel macht.

Ergänzend wurden über die einzelnen Parameter hinweg deskriptive Rangbetrachtungen vorgenommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Typen ungleich vertreten waren (2x *T. officinale*, 1x *T. kok-saghyz*, 3x Hybride, siehe Tabelle 1). Dennoch belegte *T. officinale* häufig hohe Rangpositionen, während *T. kok-saghyz* eher mittlere Rangplätze einnahm. Die Hybridchargen hingegen lagen überwiegend auf niedrigen Rangpositionen, gekennzeichnet durch höhere t_{50} -Werte, niedrige Endkeimraten sowie einem Totalausfall in Versuch 2 für t_{50} Keimblatt (G1, siehe Tabelle 7 im Anhang). Diese Muster deuten deskriptiv auf eine reduzierte Keimleistung von Hybriden im Gegensatz zu Reinarten hin.

Eine eindeutige genetische Interpretation ist daraus jedoch nicht möglich, da jeweils nur einzelne Saatgutchargen pro Linie untersucht wurden. Zusätzlich können mütterliche Effekte das Keimverhalten stark mitprägen und Unterschiede zwischen den geprüften Saatgutproben verstärken oder überlagern, wie bereits von Roach und Wulff (1987) beschrieben und durch neuere Arbeiten bestätigt wurde (Bezodis & Penfield, 2024). Die beobachteten Unterschiede lassen sich daher nicht automatisch als rein genetischer Effekte deuten.

Hypothese 1 („Genotypische Unterschiede beeinflussen sowohl die Endkeimrate als auch die Keimgeschwindigkeit“) wird zusammenfassend für die untersuchten Genotypen bestätigt.

Jedoch gilt die Einschränkung, dass die Effekte nicht eindeutig von Chargen- bzw. Mutterpflanzen-Einflüssen getrennt werden können.

5.2 Einfluss von Licht

In dieser Arbeit wurde Licht über zwei Hauptlichtstufen unterschiedlicher Intensität abgebildet. Der Faktor Licht hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Endkeimrate, beeinflusste jedoch die Keimgeschwindigkeit (t_{50} Keimbeginn und t_{50} Keimblatt). Im Vergleich zu den übrigen signifikanten Faktoren fielen die Effektstärken des Lichts insgesamt gering aus. Unter Lichtstufe 3 (schrangemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) wurden dennoch insgesamt niedrigere t_{50} -Werte beobachtet als unter Lichtstufe 2 (schrangemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$). Das könnte bedeuten, dass eine höhere Lichtintensität in diesem Fall vor allem die Geschwindigkeit der Keimungsprozesse beeinflusste, während die Endkeimrate eher durch chargen- oder saatgutbedingte Unterschiede begrenzt wurde. Dass Licht vielmehr den zeitlichen Ablauf als die Endkeimrate beeinflusst, passt grundsätzlich zu früheren Studien. Thompson (1989) berichtete in einer Untersuchung an 19 Arten, zu denen auch *T. officinale* gehörte, dass die Mehrheit der Arten nicht auf eine veränderte Lichtintensität reagierte, während Dunkelheit die Keimung teilweise hemmte. Luo und Cardina (2012, p. 119) zeigten auch, dass unter drei *Taraxacum*-Arten *T. officinale* am empfindlichsten auf Dunkelheit reagierte. Dies passt zu den Ergebnissen dieser Arbeit und legt nahe, dass Licht bei Lichtkeimern vor allem als Signal zum Starten des Keimprozesses wirkt, während die Lichtintensität innerhalb eines bestimmten Bereichs weniger entscheidend ist.

Die sichtbaren Unterschiede innerhalb der Genotypen zwischen den Lichtstufen in Abbildung 4 und 5 ließen sich statistisch nicht absichern. Explorative Mann-Whitney-U-Tests zeigten keine Signifikanz. Der visuelle Eindruck entstand daher vermutlich wesentlich durch wenige Einzelbeobachtungen mit sehr hohen t_{50} -Werten.

Hypothese 2 kann damit teilweise bestätigt werden: Licht beeinflusste die Keimgeschwindigkeit, jedoch nicht die Endkeimrate.

5.3 Einfluss der Stratifikation

Zur Untersuchung eines Effektes eines Kältereizes wurden in dieser Arbeit die Hälfte der verwendeten Samen vor der Aussaat kontrolliert bei 6°C gelagert. Der Faktor zeigte durchweg keine signifikanten Effekte. Die Effektstärken lagen zwischen $\eta^2_p = 0,002$ - $0,004$ und waren damit im vernachlässigbaren Bereich. Im Widerspruch zu den *T. kok-saghyz*-spezifischen Studien (King-Smith et al., 2025; Seilkhan, 2024) konnte in diesem Versuch kein Einfluss einer

Vorkühlung von Samen festgestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass die gewählte praxisnahe Kühldauer von sieben Tagen bei 6 °C unterhalb der in der Literatur empfohlenen Dauer und Intensität lag. Frühere Arbeiten zu *T. kok-saghyz* deuten zudem darauf hin, dass die Wirkung einer Kältevorbehandlung nicht unabhängig vom physiologischen Zustand und Reifegrad des Saatgutes zu betrachten ist (Ulmann, 1951, p. 114 ff). Damit könnte nicht nur die relativ kurze Kühllagerung, sondern auch der Ausgangszustand der verwendeten Samen mit erklären, warum hier kein Effekt beobachtet wurde. In Bezug auf die reinen und anteiligen *T. officinale* Saatgutproben dieser Untersuchung passen die Ergebnisse jedoch zu früheren Befunden. Demnach besteht bei dieser Art kein Stratifikationsbedarf und eine Kältebehandlung hat keinen Einfluss auf die Keimung (Bostock, 1978, p. 120; Pliszko & Kostrakiewicz-Gieralt, 2018).

Zusammenfassend wird Hypothese 3 („Eine Kältestratifikation hat eine höhere Endkeimrate sowie eine schnellere Keimgeschwindigkeit zur Folge.“) damit abgelehnt. Eine Kühllagerung von sieben Tagen bei 6 °C hatte in dieser Untersuchung keinen nachweisbaren Einfluss auf die Endkeimrate oder die Keimgeschwindigkeit.

5.4 Einfluss der Samengröße

Beim Faktor Samengröße wurde in dieser Arbeit in keiner Auswertung ein signifikanter Einfluss auf Endkeimrate oder Keimgeschwindigkeit beobachtet. Die Effektgrößen waren durchweg vernachlässigbar ($n^2_p = 0,001-0,004$).

Die Samengröße bestimmt nach Westoby et al. (1992) die metabolischen Reserven. Die Annahme, dass größere Samen vitalere Keimlinge hervorbringen ist theoretisch plausibel und empirisch oft bestätigt worden, während sich dennoch artspezifische Variationen zeigen können (Ambika et al., 2014). *Taraxacum* kann durchaus morphologisch uneinheitliches Saatgut ausbilden (siehe 2.2). Es ist aber möglich, dass die in dieser Arbeit gewählten Größenklassen trotz sichtbarer Unterschiede keine ausreichend differenzierten Ressourcenmengen aufwiesen, um die Keimleistung zu beeinflussen. Hypothese 4 wird damit abgelehnt. Die Samengröße hatte in dieser Untersuchung keinen nachweisbaren Einfluss auf Endkeimrate oder Keimgeschwindigkeit.

5.5 Zusammenhang zwischen Keimgeschwindigkeit und Endkeimrate

In den Regressionsanalysen zeigte sich ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen der Endkeimrate und t_{50} Keimung. Samen, die früher keimten, erreichten tendenziell höhere Endkeimraten (Versuch 1: $R^2 = 0,547$; Versuch 2: $R^2 = 0,383$). Der explorativ untersuchte

positive Zusammenhang zwischen t_{50} Keimung und t_{50} Keimblatt war ebenfalls in beiden Versuchen signifikant und spiegelt die entwicklungsbiologische Abfolge wider – früh keimende Samen entfalteten auch früher ihre Keimblätter.

Dabei ist bemerkenswert, dass der Blockfaktor Durchgang für t_{50} Keimblatt in Versuch 2 als einziges Mal in dieser Arbeit keinen signifikanten Einfluss zeigte. Bei allen anderen Parametern und Versuchen war er signifikant. Die Geschwindigkeit der Keimblattentfaltung scheint in diesem Versuch robuster gegenüber Umweltschwankungen zwischen den Durchgängen gewesen zu sein als die anderen Bewertungskriterien. Das könnte darauf hindeuten, dass Keimlinge in diesem Entwicklungsstadium generell widerstandsfähiger sind; der Übergang zur autotrophen Versorgung durch Photosynthese wäre eine mögliche Erklärung.

Die Befunde stehen im Einklang mit Ranal und Santana (2006), die betonen, dass eine alleinige Beurteilung des Keimerfolgs anhand der Endkeimrate unzureichend ist und zeitliche Parameter wie t_{50} zusätzliche Informationen liefern.

Der stärkere Zusammenhang in Versuch 1 gegenüber Versuch 2 wurde teilweise durch Beobachtungen mit besonders hohen t_{50} -Werten und niedrigen Endkeimraten geprägt. In Versuch 1 waren Beobachtungen ab $t_{50} \approx 10$ d überwiegend Hybriden zuzuordnen (4x G3, 1x G1; Tabelle 6 im Anhang), in Versuch 2 ab $t_{50} \approx 9,5$ d ebenfalls (4x G1, 3x G5, siehe Tabelle 7 im Anhang). Dieses konsistente Muster über beide Versuche deutet darauf hin, dass Hybriden nicht nur niedrigere Endkeimraten aufwiesen, sondern auch verzögert keimten. Das könnte den negativen Zusammenhang verstärkt haben. Wie bereits in Kapitel 5.1 diskutiert, erlauben einzelne Saatgutchargen pro Linie jedoch keine kausale genetische Interpretation. Hypothese 5 wird bestätigt: Zwischen Endkeimrate und Keimgeschwindigkeit besteht ein signifikanter negativer Zusammenhang – schneller keimende Samen weisen tendenziell höhere Endkeimraten auf.

5.6 Methodische Limitationen

Die signifikante Interaktion zwischen Samengröße und dem Blockfaktor Durchgang wird nicht inhaltlich interpretiert, da der Durchgang ausschließlich zur Kontrolle von Umweltunterschieden zwischen den Versuchsdurchgängen diente. Der Blockfaktor Durchgang war in allen Analysen beider Versuche signifikant, mit Ausnahme der Auswertung von t_{50} Keimblatt in Versuch 2. Das deutet auf eine Sensitivität gegenüber Durchgangsunterschieden hin. Es zeigten sich mittlere bis große Effekte ($\eta^2_p = 0,109 - 0,144$ im Versuch 1; $\eta^2_p = 0,107$ und $0,144$ in Versuch 2), was auf relevante Umweltunterschiede zwischen den Durchgängen hindeutet und die Blockstruktur des Versuchsdesigns nachträglich unterstreicht. Der signifikante Blockfaktor

sowie dessen Interaktionen mit Genotyp und Lichtstufe bestätigen, dass relevante Umweltunterschiede zwischen den Durchgängen vorlagen, die trotz Blockstruktur nicht vollständig eliminiert werden konnten.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Zu Beginn dieser Arbeit stand die Frage, welche Faktoren die Keimleistung und Keimgeschwindigkeit von *Taraxacum*-Saatgut beeinflussen und wie beide Parameter zusammenhängen. Es zeigte sich, dass vor allem der Genotyp die Endkeimrate und die Keimgeschwindigkeit beeinflusste. Im Vergleich zu den übrigen untersuchten Faktoren war dieser Effekt in allen Auswertungen am deutlichsten. Das unterstreicht, dass Unterschiede im Keimverhalten innerhalb der hier untersuchten Saatgutproben in erster Linie genotypisch bzw. chargenspezifisch geprägt waren.

Ein Einfluss der Lichtintensität zeigte sich nur für die Keimgeschwindigkeit, nicht jedoch bei der Endkeimrate. Unter höherer Lichtintensität wurden tendenziell die niedrigsten t_{50} -Werten erreicht, sodass das Licht vor allem auf den zeitlichen Ablauf der Keimung eingewirkt zu haben scheint.

Eine Kältestratifikation zeigte unter den gewählten Bedingungen kein nachweisbarer Effekt. Das könnte mit der vergleichsweise kurzen Kühldauer sowie mit dem physiologischen Zustand des verwendeten Saatguts zusammenhängen. Auch die Samengröße hatte in dieser Untersuchung keinen nachweisbaren Einfluss auf die Endkeimrate oder Keimgeschwindigkeit.

Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Keimgeschwindigkeit und Endkeimrate. Schnell keimende Samen erreichten tendenziell höhere Endkeimraten, was die gemeinsame Betrachtung beider Parameter als sinnvoll erscheinen lässt. Die Keimung sollte daher nicht allein über die Endkeimrate bewertet werden, sondern auch über die zeitliche Kenngrößen wie t_{50} .

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Keimleistung von *Taraxacum*-Saatgut durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren bestimmt wird. Dabei kam dem Genotyp im Vergleich zu Licht, Stratifikation und Samengröße die größte Bedeutung zu. Gleichzeitig ist zu beachten, dass Unterschiede zwischen Saatgutproben nicht ausschließlich genetisch erklärt werden dürfen, da auch mütterliche Effekte und chargenspezifische Einflüsse eine Rolle gespielt haben können. Für weitere Untersuchungen wären deshalb Versuche mit mehr eindeutig charakterisierter Linien sowie längeren und stärker abgestuften Kältebehandlungen sinnvoll.

7 Literaturverzeichnis

- Ambika, S., Manonmani, V., & Somasundaram, G. (2014). Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. *Research Journal of Seed Science*, 7(2), 31-38.
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2003). Classification, biogeography, and phylogenetic relationships of seed dormancy. *Seed conservation: turning science into practice*, 518-544.
- Bezodis, W., & Penfield, S. (2024). Maternal environmental control of progeny seed physiology: a review of concepts, evidence and mechanism. *Seed Science Research*, 1-8.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage ed.) <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>
- Bostock, S. J. (1978). Seed germination strategies of five perennial weeds. *Oecologia*, 36(1), 113-126. <https://doi.org/10.1007/BF00344576>
- Curtis, S., Green, L., Ody, P., Vilinac, D., & Behrens, J. (2021). *Das neue Praxisbuch Heilpflanzen: sanfte und natürliche Anwendungen*. DK Verlag Dorling Kindersley.
- Doll, R. (1974). *Die Gattung Taraxacum*. A. Ziemsen Verlag.
- Ellenberg, H., & Leuschner, C. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Ulmer. <https://doi.org/10.36198/9783825281045>
- Field, A. (Ed.). (2024). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*, / Andy Field (6th edition ed.). <http://www.gbv.de/dms/bowker/toc/9781529630008.pdf>.
- Guang, S., Chen, F., Wang, W., Zheng, F., Wei, D., Li, L., & Kon'kova, N. G. (2019). METHODOLOGICAL STUDY ON SELECTION OF CONDITIONS FOR IMPROVING Taraxacum kok-saghyz Rodin SEED GERMINATION. *sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 54, 548-556. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.3.548eng>
- International Seed Testing Association. (2025). *International rules for seed testing* (Effective January 2025 ed.). International Seed Testing Association.
- King-Smith, N. P., Anderson, V. M., Pillai, A. S., Puskas, J. E., & Cornish, K. (2025). Optimal planting density of Taraxacum kok-saghyz bred for large root size: Seed, latex, and rubber yields. *HortScience*, 60(4), 457-466.
- Kirschner, J., & Štěpánek, J. (1996). Modes of speciation and evolution of the sections in Taraxacum. *Folia Geobotanica*, 31(3), 415-426.
- Kull, U. (Ed.). (2019). *Grundriss der allgemeinen Botanik*, / Ulrich Kull (3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage ed.). <https://www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/1683799062.pdf>.
- Luo, J., & Cardina, J. (2012). Germination patterns and implications for invasiveness in three Taraxacum (Asteraceae) species. *Weed Research*, 52(2), 112-121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00898.x>
- Noronha, A., Andersson, L., & Milberg, P. (1997). Rate of Change in Dormancy Level and Light Requirement in Weed Seeds During Stratification. *Annals of Botany*, 80(6), 795-801. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0520>
- Oleksandr K. (2020). *Weißer Löwenzahn in Nahaufnahme (Fotografie)*. Unsplash. Retrieved 14.03.2026 from <https://unsplash.com/de/fotos/weisser-lowenzahn-in-nahaufnahmen-NTeC878RUlw>
- Paul, N. (2024). Helfen künftig Hackroboter im Kräuteraanbau? *TASPO*. https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2024/Artikel/TASPO_13_2024_13_2024_16.pdf
- Pliszko, A., & Kostrakiewicz-Gieralt, K. (2018). Effect of cold stratification on seed germination in Solidago x niedereideri (Asteraceae) and its parental species. *Biologia*, 73(10), 945-950. <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0113-7>

- Ranal, M. A., & Santana, D. G. d. (2006). How and why to measure the germination process? *Brazilian Journal of Botany*, 29, 1-11.
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden, : Band 1: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (3., erweiterte Auflage ed.) <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05272-9>
- Roach, D. A., & Wulff, R. D. (1987). Maternal effects in plants. *Annual review of ecology and systematics*, 209-235.
- Schütz, K., Carle, R., & Schieber, A. (2006). Taraxacum—A review on its phytochemical and pharmacological profile. *Journal of Ethnopharmacology*, 107(3), 313-323. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.07.021>
- Seilkhan, A. (2024). An overview of green applications of natural products for pharmaceutical, biofuel, and rubber industries: Case study of Kazakh Dandelion (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin.). *ES Energy and Environment*, 25, 1171.
- Silvertown, J. (1989). The paradox of seed size and adaptation. *Trends in Ecology & Evolution*, 4(1), 24-26. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(89\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0169-5347(89)90013-X)
- Statista. (2025). *Statistik-Report zu Kautschuk* (did-7288-1). <https://de.statista.com/statistik/studie/id/7288/dokument/kautschuk/>
- The jamovi project. (2025). *jamovi* In (Version 2.7.18) <https://www.jamovi.org>
- Thompson, K. (1989). A Comparative Study of Germination Responses to High Irradiance Light. *Annals of Botany*, 63(1), 159-162. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087718>
- Ulmann, M. (1951). *Wertvolle Kautschukpflanzen des gemässigten Klimas*. Akademie-Verlag GmbH Berlin.
- Van Loenhoud, P., & Duyts, H. (1981). A comparative study of the germination ecology of some microspecies of *Taraxacum* Wigg. *Acta Botanica Neerlandica*, 30(3), 161-182.
- Vavrek, M. C. (1998). Within-population genetic diversity of *Taraxacum officinale* (Asteraceae): differential genotype response and effect on interspecific competition. *American Journal of Botany*, 85(7), 947-954.
- Vellend, M., Drummond, E. B., & Muir, J. L. (2009). Ecological differentiation among genotypes of dandelions (*Taraxacum officinale*). *Weed Science*, 57(4), 410-416.
- Westoby, M., Jurado, E., & Leishman, M. (1992). Comparative evolutionary ecology of seed size. *Trends in Ecology & Evolution*, 7(11), 368-372. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(92\)90006-W](https://doi.org/10.1016/0169-5347(92)90006-W)
- ZDF. (2026). *Löwenzahn mit Fritz Fuchs*. ZDF. Retrieved 01 March from <https://www.zdf.de/magazine/loewenzahn-mit-fritz-fuchs-100>

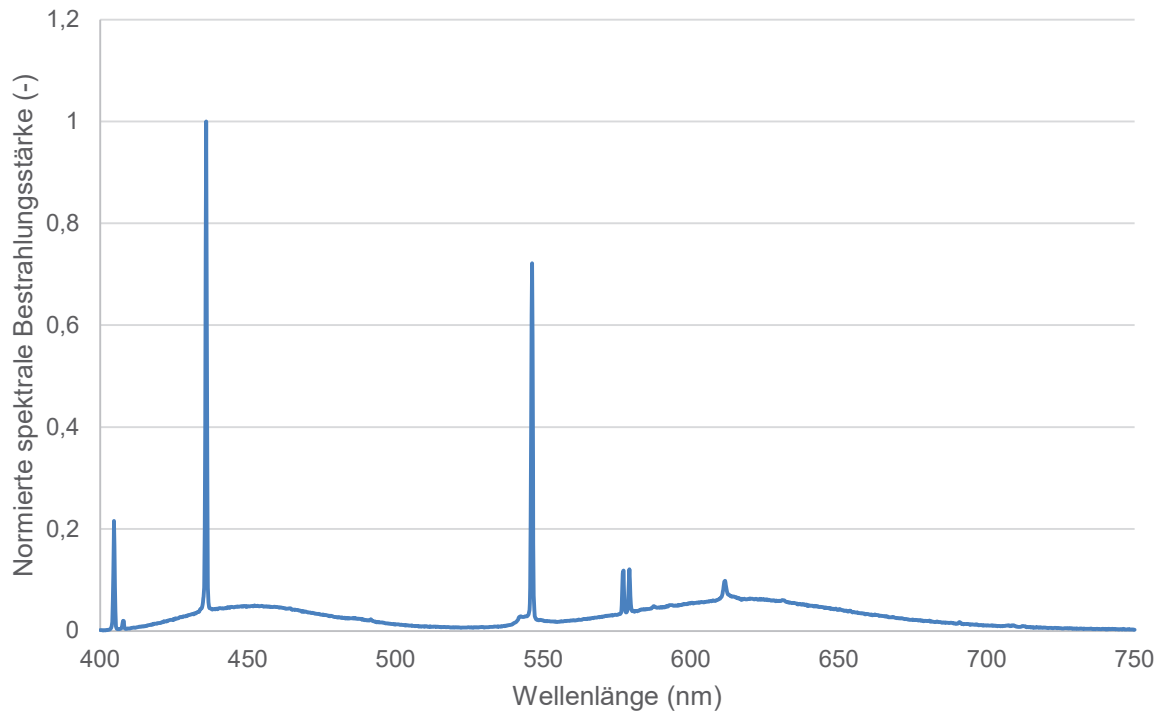
A Anhang

Abbildung 11: Normierte spektrale Verteilung, Lichtstufe 3 (schrankgemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 1.

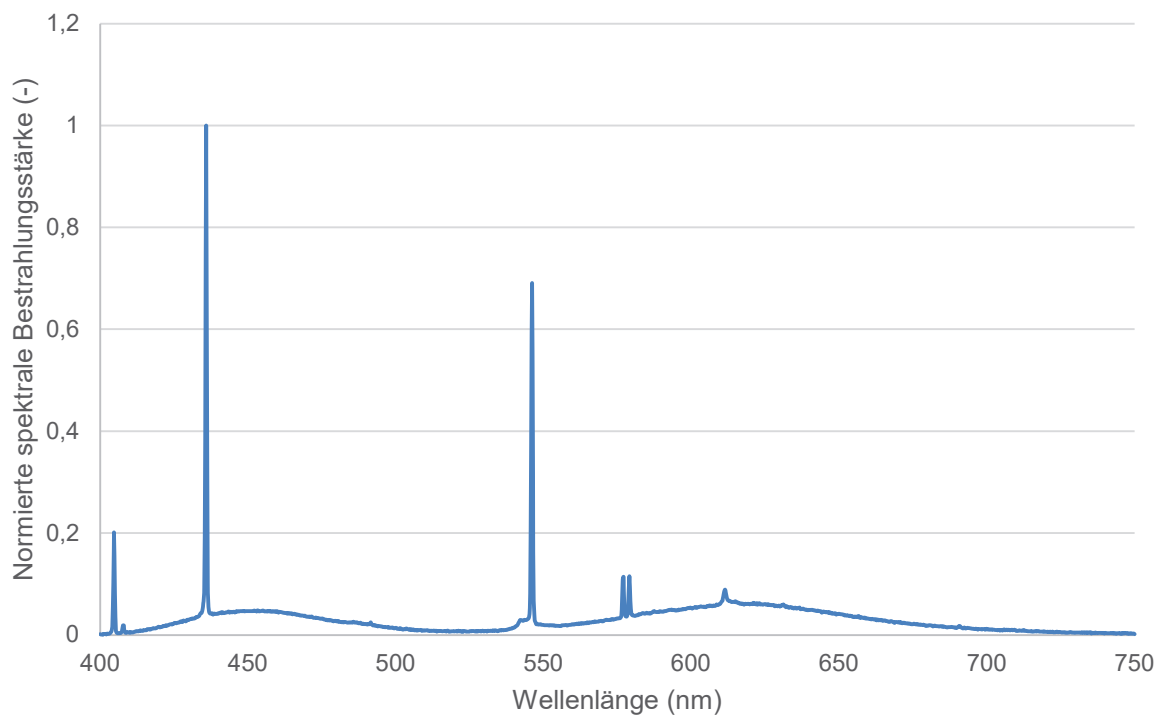


Abbildung 12: Normierte spektrale Verteilung, Lichtstufe 2 (schrankgemittelt $344 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 2.

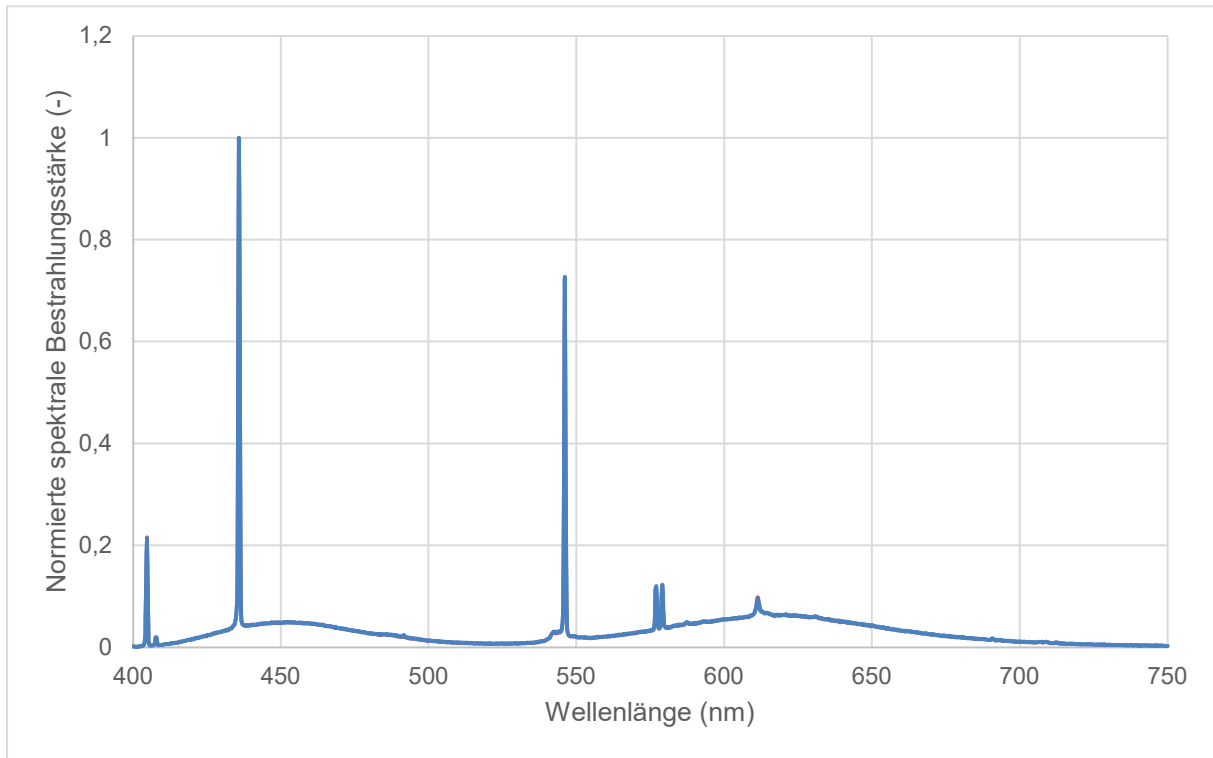


Abbildung 13: Normierte spektrale Verteilung, Lichtstufe 3 (schrangemittelt $528 \mu\text{W cm}^{-2}$) im Wellenlängenbereich 400-750 nm im Vegetationsschrank 2.

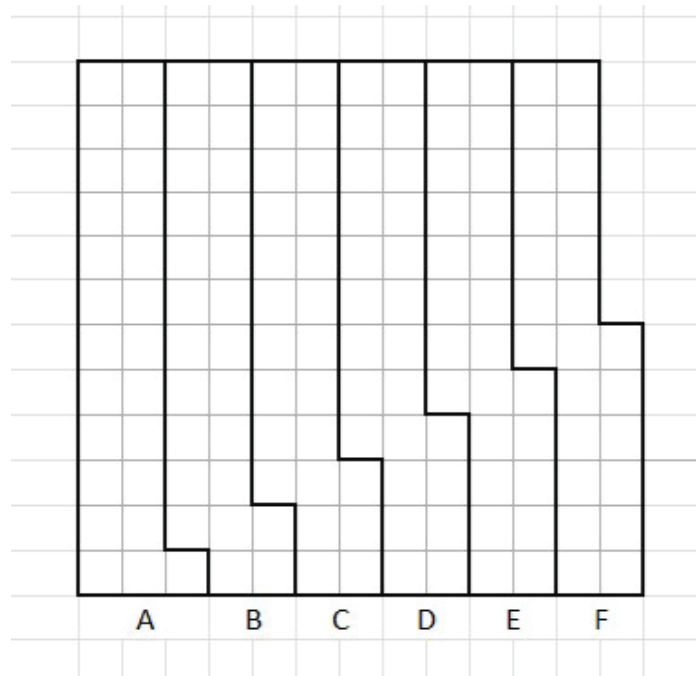


Abbildung 14: schematische Darstellung einer möglichen Anordnung der Varianten auf einer Palette für Versuch 1.

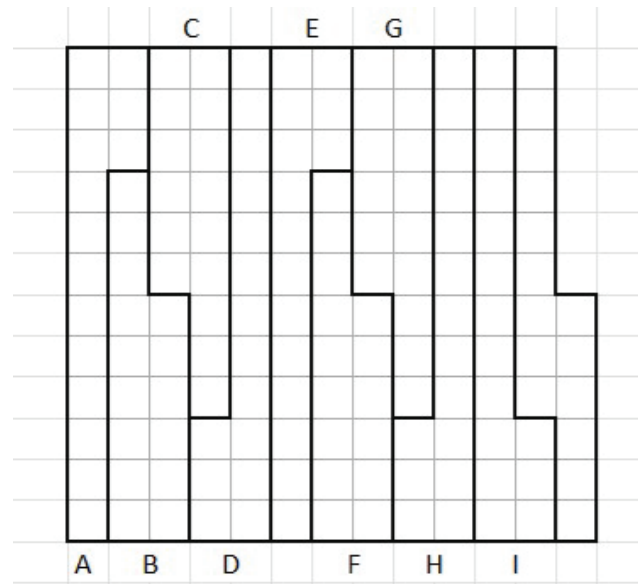


Abbildung 15: schematische Darstellung einer möglichen Anordnung der Varianten auf einer Palette für Versuch 2.

Tabelle 6: Rohdaten zu Versuch 1 im Longformat.

Anmerkung: Die Nomenklatur setzt sich aus der Hauptlichtstufe, dem Genotypen, der Stratifikation (w = warm gelagert, c = cold/Kältereiz) und der Wiederholung zusammen – z.B. steht L2-G1-C-1 für Hauptlichtstufe 2, Genotyp 1, Lagerung kalt, Wiederholung 1.

Nomenklatur	Genotyp	Hauptlichtstufe	Stratifikation	Durchgang	Keimrate (%)	t50 Keimung (d)	t50 Keimblatt (d)
L2-G1-C-1	G1	2	c	1	44		11,3
L2-G1-C-2	G1	2	c	1	72	8,5	11,0
L2-G1-C-3	G1	2	c	1	72	9,6	13,0
L2-G1-C-4	G1	2	c	1	84	7,3	9,8
L2-G1-W-1	G1	2	w	1	48		12,0
L2-G1-W-2	G1	2	w	1	60	11,8	
L2-G1-W-3	G1	2	w	1	96	5,9	8,5
L2-G1-W-4	G1	2	w	1	80	7,3	11,3
L2-G2-C-1	G2	2	c	1	56	9,8	7,0
L2-G2-C-2	G2	2	c	1	80	6,7	8,9
L2-G2-C-3	G2	2	c	1	88	5,5	6,3
L2-G2-C-4	G2	2	c	1	68	8,5	9,4
L2-G2-W-1	G2	2	w	1	60	9,5	7,5
L2-G2-W-2	G2	2	w	1	88	7,2	8,0
L2-G2-W-3	G2	2	w	1	68	9,3	7,8
L2-G2-W-4	G2	2	w	1	60	8,5	7,3
L2-G3-C-1	G3	2	c	1	64	6,5	7,0
L2-G3-C-2	G3	2	c	1	80	6,9	12,5
L2-G3-C-3	G3	2	c	1	56	8,5	9,0
L2-G3-C-4	G3	2	c	1	64	7,2	8,0

L2-G3-W-1	G3	2	w	1	64	10,2	11,5
L2-G3-W-2	G3	2	w	1	68	9,8	8,8
L2-G3-W-3	G3	2	w	1	72	9,3	11,0
L2-G3-W-4	G3	2	w	1	64	11,1	12,5
L3-G1-C-1	G1	3	c	1	64	9,2	11,3
L3-G1-C-2	G1	3	c	1	72	7,3	11,0
L3-G1-C-3	G1	3	c	1	80	7,2	9,0
L3-G1-C-4	G1	3	c	1	76	8,5	9,3
L3-G1-W-1	G1	3	w	1	84	6,4	9,3
L3-G1-W-2	G1	3	w	1	84	6,3	9,5
L3-G1-W-3	G1	3	w	1	76	7,1	10,5
L3-G1-W-4	G1	3	w	1	88	6,5	10,0
L3-G2-C-1	G2	3	c	1	80	6,8	8,0
L3-G2-C-2	G2	3	c	1	72	5,3	6,7
L3-G2-C-3	G2	3	c	1	68	5,8	6,8
L3-G2-C-4	G2	3	c	1	76	7,5	8,2
L3-G2-W-1	G2	3	w	1	88	7,3	9,0
L3-G2-W-2	G2	3	w	1	88	4,7	6,0
L3-G2-W-3	G2	3	w	1	92	4,8	6,2
L3-G2-W-4	G2	3	w	1	68	8,3	8,8
L3-G3-C-1	G3	3	c	1	40		10,0
L3-G3-C-2	G3	3	c	1	80	6,5	10,0
L3-G3-C-3	G3	3	c	1	76	7,6	10,2
L3-G3-C-4	G3	3	c	1	76	5,5	6,6
L3-G3-W-1	G3	3	w	1	48		7,0
L3-G3-W-2	G3	3	w	1	80	6,5	7,5
L3-G3-W-3	G3	3	w	1	80	4,8	7,3
L3-G3-W-4	G3	3	w	1	72	7,3	7,5
L2-G1-C-1	G1	2	c	2	76	7,5	9,8
L2-G1-C-2	G1	2	c	2	92	6,2	8,4
L2-G1-C-3	G1	2	c	2	96	5,7	9,0
L2-G1-C-4	G1	2	c	2	88	6,5	9,0
L2-G1-W-1	G1	2	w	2	80	5,9	10,5
L2-G1-W-2	G1	2	w	2	92	5,5	7,8
L2-G1-W-3	G1	2	w	2	81	5,5	8,2
L2-G1-W-4	G1	2	w	2	76	5,8	8,8
L2-G2-C-1	G2	2	c	2	76	5,5	7,8
L2-G2-C-2	G2	2	c	2	80	5,2	7,0
L2-G2-C-3	G2	2	c	2	84	5,5	7,5
L2-G2-C-4	G2	2	c	2	96	4,5	6,5
L2-G2-W-1	G2	2	w	2	96	4,5	6,8
L2-G2-W-2	G2	2	w	2	88	4,4	6,3
L2-G2-W-3	G2	2	w	2	88	4,7	7,2
L2-G2-W-4	G2	2	w	2	72	5,8	7,3
L2-G3-C-1	G3	2	c	2	52	13,5	
L2-G3-C-2	G3	2	c	2	80	5,3	8,5
L2-G3-C-3	G3	2	c	2	92	6,8	9,8
L2-G3-C-4	G3	2	c	2	84	8,1	12,3
L2-G3-W-1	G3	2	w	2	52	13,8	

L2-G3-W-2	G3	2	w	2	80	5,3	8,3
L2-G3-W-3	G3	2	w	2	76	6,5	10,5
L2-G3-W-4	G3	2	w	2	68	5,9	7,9
L3-G1-C-1	G1	3	c	2	84	6,3	8,8
L3-G1-C-2	G1	3	c	2	88	7,2	
L3-G1-C-3	G1	3	c	2	80	7,1	10,0
L3-G1-C-4	G1	3	c	2	88	6,4	8,3
L3-G1-W-1	G1	3	w	2	76	9,1	9,8
L3-G1-W-2	G1	3	w	2	80	6,8	8,7
L3-G1-W-3	G1	3	w	2	76	8,8	
L3-G1-W-4	G1	3	w	2	92	5,7	9,2
L3-G2-C-1	G2	3	c	2	88	4,3	6,0
L3-G2-C-2	G2	3	c	2	84	3,9	5,4
L3-G2-C-3	G2	3	c	2	80	6,5	7,3
L3-G2-C-4	G2	3	c	2	84	4,6	5,8
L3-G2-W-1	G2	3	w	2	100	4,2	6,5
L3-G2-W-2	G2	3	w	2	100	4,8	6,8
L3-G2-W-3	G2	3	w	2	80	4,4	6,4
L3-G2-W-4	G2	3	w	2	81	5,3	6,5
L3-G3-C-1	G3	3	c	2	88	4,9	9,0
L3-G3-C-2	G3	3	c	2	60	8,3	7,3
L3-G3-C-3	G3	3	c	2	88	5,5	9,0
L3-G3-C-4	G3	3	c	2	48		7,5
L3-G3-W-1	G3	3	w	2	56	8,5	9,0
L3-G3-W-2	G3	3	w	2	88	7,2	10,8
L3-G3-W-3	G3	3	w	2	72	8,8	
L3-G3-W-4	G3	3	w	2	84	4,7	7,6

Tabelle 7: Rohdaten Versuch 2 Longformat.

Anmerkung: Die Nomenklatur besteht aus dem Genotypen, der Samengröße (L = large/groß, S = small/klein) und der Wiederholung – z.B. steht G1-L-1 für Genotyp 1, Samen groß, Wiederholung 1.

Nomenklatur	Genotyp	Samen- größe	Durch- gang	Endkeimrate (%)	t50 Keimung (d)	t50 Keimblatt (d)
G1-L-1	G1	L	1	73	9,5	13,5
G1-L-2	G1	L	1	93	4,6	7,3
G1-L-3	G1	L	1	80	7,5	12,0
G1-L-4	G1	L	1	100	6,5	8,9
G1-L-5	G1	L	1	93	6,4	9,0
G1-S-1	G1	S	1	60	9,5	9,3
G1-S-2	G1	S	1	80	7,1	11,0
G1-S-3	G1	S	1	87	6,8	9,5
G1-S-4	G1	S	1	73	8,5	8,5

G1-S-5	G1	S	1	93	4,8	7,7
G2-L-1	G2	L	1	80	8,3	9,0
G2-L-2	G2	L	1	80	6,8	7,0
G2-L-3	G2	L	1	80	6,5	8,0
G2-L-4	G2	L	1	80	4,8	6,5
G2-L-5	G2	L	1	93	4,3	6,0
G2-S-1	G2	S	1	93	5,3	8,0
G2-S-2	G2	S	1	87	6,3	8,8
G2-S-3	G2	S	1	80	4,9	7,0
G2-S-4	G2	S	1	100	4,3	5,9
G2-S-5	G2	S	1	87	4,5	7,4
G4-L-1	G4	L	1	100	4,9	11,5
G4-L-2	G4	L	1	87	5,9	8,8
G4-L-3	G4	L	1	80	7,5	10,0
G4-L-4	G4	L	1	100	4,5	9,3
G4-L-5	G4	L	1	100	4,8	7,8
G4-S-1	G4	S	1	80	6,5	9,0
G4-S-2	G4	S	1	60	8,5	7,8
G4-S-3	G4	S	1	100	4,0	6,8
G4-S-4	G4	S	1	100	4,8	7,5
G4-S-5	G4	S	1	92	3,8	6,5
G5-L-1	G5	L	1	53	9,5	
G5-L-2	G5	L	1	67	9,2	11,0
G5-L-3	G5	L	1	67	5,3	
G5-L-4	G5	L	1	80	4,6	6,5
G5-L-5	G5	L	1	60	6,5	8,5
G5-S-1	G5	S	1	53	10,5	
G5-S-2	G5	S	1	80	5,2	9,0
G5-S-3	G5	S	1	67	9,5	
G5-S-4	G5	S	1	67	3,9	6,0
G5-S-5	G5	S	1	80	5,1	7,0
G6-L-1	G6	L	1	100	4,3	7,5
G6-L-2	G6	L	1	67	5,5	7,0
G6-L-3	G6	L	1	87	6,4	9,8
G6-L-4	G6	L	1	87	4,3	6,6
G6-L-5	G6	L	1	100	3,3	5,7
G6-S-1	G6	S	1	93	4,6	8,3
G6-S-2	G6	S	1	87	5,8	8,8
G6-S-3	G6	S	1	93	3,7	6,3
G6-S-4	G6	S	1	93	3,8	8,0
G6-S-5	G6	S	1	93	3,5	6,0
G1-L-1	G1	L	2	93	6,5	
G1-L-2	G1	L	2	100	5,5	
G1-L-3	G1	L	2	93	6,8	
G1-L-4	G1	L	2	73	8,8	
G1-L-5	G1	L	2	93	5,5	8
G1-S-1	G1	S	2	93	5,8	

G1-S-2	G1	S	2	80	11,2	
G1-S-3	G1	S	2	93	6,2	
G1-S-4	G1	S	2	80	6,8	
G1-S-5	G1	S	2	100	5,4	
G2-L-1	G2	L	2	73	4,6	6,4
G2-L-2	G2	L	2	93	4,5	6,5
G2-L-3	G2	L	2	100	4,5	7,5
G2-L-4	G2	L	2	100	4,5	6,2
G2-L-5	G2	L	2	93	4,3	5,9
G2-S-1	G2	S	2	80	6,8	10,0
G2-S-2	G2	S	2	93	6,1	8,0
G2-S-3	G2	S	2	88	5,5	8,0
G2-S-4	G2	S	2	100	5,8	8,1
G2-S-5	G2	S	2	80	6,5	7,7
G4-L-1	G4	L	2	87	4,5	7,8
G4-L-2	G4	L	2	93	3,5	6,0
G4-L-3	G4	L	2	94	3,9	8,5
G4-L-4	G4	L	2	100	4,4	8,5
G4-L-5	G4	L	2	100	4,3	8,2
G4-S-1	G4	S	2	100	4,1	7,5
G4-S-2	G4	S	2	100	5,1	8,5
G4-S-3	G4	S	2	80	4,4	9,7
G4-S-4	G4	S	2	87	7,5	9,8
G4-S-5	G4	S	2	94	4,0	6,5
G5-L-1	G5	L	2	73	5,3	9,5
G5-L-2	G5	L	2	73	4,8	9,3
G5-L-3	G5	L	2	73	5,3	8,5
G5-L-4	G5	L	2	87	4,1	7,8
G5-L-5	G5	L	2	67	4,6	8,0
G5-S-1	G5	S	2	67	5,5	10,0
G5-S-2	G5	S	2	80	5,8	9,0
G5-S-3	G5	S	2	87	3,9	
G5-S-4	G5	S	2	87	4,5	6,8
G5-S-5	G5	S	2	88	2,9	7,0
G6-L-1	G6	L	2	93	3,7	
G6-L-2	G6	L	2	100	3,3	7,5
G6-L-3	G6	L	2	100	2,5	5,9
G6-L-4	G6	L	2	100	3,2	5,9
G6-L-5	G6	L	2	93	3,8	7,0
G6-S-1	G6	S	2	93	3,7	6,7
G6-S-2	G6	S	2	87	4,2	7,5
G6-S-3	G6	S	2	87	4,5	8,3
G6-S-4	G6	S	2	100	2,9	6,8
G6-S-5	G6	S	2	100	3,1	5,3

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Laura Jentsch

Cölpin, 22.05.2026