Vergleich zwischen vegetativer und generativer Vermehrungsformen von Apfelsorten

Masterarbeit

vorgelegt von

Johanna Leußer

Studiengang Agrarwissenschaften

Wintersemester 2025

Universität Hohenheim

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften

Fachgebiet Produktionssysteme der Sonderkulturen

Prüfer: Dr. Michael Helmut Hagemann

Zweitprüferin: Dr.-Ing. Janet Maringer

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen und Institutionen bedanken, die zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Torsten Hüller, der mir notwendige Materialien für den Abmoosversuch zur Verfügung gestellt hat und mich während der Durchführung mit wertvoller praktischer Unterstützung sowie fachlicher Beratung begleitet hat.

Ebenso möchte ich mich herzlich bei Dr.-Ing. Janet Maringer bedanken, die mich beim Verfassen dieser Arbeit unterstützt und mir insbesondere im Bereich der statistischen Auswertungen und der Anwendung von R-Studio entscheidende Hilfestellungen gegeben hat.

Ein großer Dank gilt außerdem Herrn Dr. Michael Hagemann für die verlässliche Betreuung meiner Masterarbeit und konstruktiven Rückmeldungen zum Verfassen meiner Arbeit.

Mein Dank richtet sich zudem an Herrn Christoph Schulz und Herrn Markus Ellinger, die mich während des Aussaatversuchs im Kloster Beuron tatkräftig unterstützt haben. Ihre Hilfe bei der Pflege der Sämlinge sowie ihre Bereitschaft, jederzeit Rückfragen zu beantworten, haben wesentlich zum erfolgreichen Verlauf des Experiments beigetragen.

Dem Pomologen-Verein danke ich für die Möglichkeit, im Rahmen des Aussaatversuchs mitzuwirken und wertvolle Einblicke in die praktische Sortenerhaltung zu gewinnen.

Abschließend bedanke ich mich bei Herrn Raffael Greiffenberg für die Übernahme der Materialkosten des Abmoosversuchs und damit für den großen geleisteten Beitrag zur Realisierbarkeit des Versuchs.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung II
Zusammenfassung V
Abstract VII

1 Einleitung 1
1.1 Hintergrund und Problemstellung 1
1.2 Ziele, Fragestellungen und Hypothesen 2

2 Material und Methoden 4
2.1 Versuchsteil 1: Vegetative Vermehrung durch Abmoosen 4
2.1.1 Versuchsstandort und -anlage 4
2.1.2 Pflanzenmaterial und Sorten 9
2.1.3 Gesundheitszustand der Versuchsbäume 13
2.1.4 Versuchsvorbereitungen und -aufbau 18
2.1.5 Durchführung des Abmoosens 24
2.1.6 Pflege während des Versuchs 27
2.2 Versuchsteil 2: Generative Vermehrung durch Aussaaten 29
2.2.1 Standort und Sortenübersicht 29
2.2.2 Durchführung der Aussaaten und Pflege 30
2.3 Erhobene Parameter und Datenauswertung 31
2.3.1 Vegetative Vermehrung – Bewurzelungserfolg und Wurzelbild 31
2.3.2 Generative Vermehrung – Keimrate und Wachstum 32

3 Ergebnis 34
3.1 Vegetative Vermehrung – Abmoosen 34
3.1.1 Bewurzelungserfolg je Sorte 36
3.1.2 Einfluss der Bewässerungsvariante 37
3.2 Generative Vermehrung - Aussaaten 39
3.2.1 Keimung 39
3.2.2 Wuchshöhe der gekeimten Sämlinge 40

4 Diskussion 43
4.1 Sorteneffekte bei der vegetativen und generativen Vermehrung 43
4.2 Wirkung von Weidenwasser 44
4.3 Vergleich Abmoosen und Aussaat 45
4.4 Praxisrelevanz 45
4.5 Stärken und Limitationen 47

4.6 Fazit 49
4.7 Ausblick 49
Abbildungsverzeichnis 54
Tabellenverzeichnis 56
Steckbriefverzeichnis 57
Abkürzungsverzeichnis 58
6 Anhangsverzeichnis 59
7 Eidesstattliche Erklärung 74

Zusammenfassung

Die Arbeit untersucht zwei Vermehrungsmethoden von Apfelbäumen, vegetative Vermehrung durch Abmoosen und generative Vermehrung durch Aussaat. Neben der praktischen Anwendbarkeit werden der Bewurzelungserfolg beim Abmoosen und die Keimrate und das Höhenwachstum bei den Aussaaten untersucht. Hintergrund ist die zunehmende Bedeutung robuster und nachhaltiger Vermehrungsverfahren im Streuobstbau angesichts klimatischer Veränderungen wie Trockenstress oder Schädlingsdruck. Ziel ist es, Streuobstwiesenbewirtschaftern und privaten Obstbaumbesitzern eine Entscheidungshilfe hinsichtlich geeigneter Vermehrungsmethoden zu bieten.

Im vegetativen Versuchsteil werden an Bäumen der drei Apfelsorten (Topaz, Cameo und Kanzi) insgesamt 180 Abmooskugeln angebracht und zwei Bewässerungsvarianten (Regenwasser, Weidenwasser) miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen sortenspezifische Unterschiede, eine hohe Verlustquote sowie einen großen Anteil an Kallusbildung ohne Bewurzelung. Die Bewurzelungsraten variieren je nach Sorte zwischen 11,7 % und 31,7 %. Neben genotypischen Unterschieden können sortenspezifische physiologische Eigenschaften wie Astdicke oder Gewebefestigkeit die beobachteten Unterschiede erklären. Die Bewässerung mit Weidenwasser führt zu tendenziell höheren Bewurzelungsraten, der Effekt ist jedoch nicht signifikant. Die unterschiedlich starke Wirkung des Weidenwassers könnte auf individuelle Konzentrationsoptima und Sensitivität zurückgeführt werden.

Im generativen Versuchsteil werden 510 Samen von elf überwiegend regionalen Apfelsorten in einem Gewächshaus ausgesät, wobei Keimrate und frühes Höhenwachstum der Sämlinge erhoben werden. Insgesamt keimen 55,5 % der Samen. Die Sorten Genereuse de Vitry und Pomme d'Or erzielen die höchsten Keimraten, während Bittenfelder und Luikenapfel die niedrigsten erreichen. Das Höhenwachstum zeigt abweichende Muster: Bittenfelder weist die höchste durchschnittliche Wuchshöhe auf, während Sorten mit hohen Keimraten im mittleren Wachstumsbereich liegen. Ein Zusammenhang zwischen der Keimrate und der Wuchshöhe lässt sich somit nicht feststellen. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Beurteilung des Höhenwachstums durch fehlende Dokumentation der Keimzeitpunkte eingeschränkt ist.

Für die Praxis zeigt sich, dass Abmoosen aufgrund des hohen Pflegeaufwands und der tendenziell geringeren Erfolgsquote vor allem zum Erhalt einzelner sortenreiner und regionaltypischer Bäume geeignet ist. Die Aussaat hingegen bietet ein großes Potenzial zur Erhöhung der genetischen Vielfalt und ermöglicht die Erzeugung großer Stückzahlen mit geringerem Aufwand und Ressourcen, wobei die Eigenschaften der Nachkommen stark variieren können.

Die Ergebnisse liefern praxisrelevante Hinweise für Streuobstwiesenbewirtschafter und Privatpersonen und schaffen eine Grundlage für weitere Forschung zu Wurzelentwicklung, Wirkung von Weidenwasser sowie zur langfristigen Leistungsfähigkeit generativ und vegetativ vermehrter Apfelbäume.

Abstract

The present study compares vegetative propagation by air layering and generative propagation through seed germination in apple trees, focusing on establishment success and early growth dynamics. Due to increasing climatic challenges in traditional orchard systems, such as drought stress, shifting precipitation patterns and rising pest pressure, robust and site-adapted propagation methods are of growing importance.

In the vegetative experiment, 180 air-layering units were applied to three cultivars (Topaz, Cameo, Kanzi) and subjected to two irrigation treatments (rainwater, willow water). Rooting success, callus formation and shoot vitality were evaluated after seven months. Rooting success in air layering reached 21.1%, while 36.7% formed callus only and 42.2% of shoots died. Topaz consistently showed the highest rooting rates. Willow water increased rooting tendencies across cultivars, although differences remained statistically non-significant.

In the generative experiment, 510 seeds from eleven regional apple cultivars were sown to assess germination rates and early height growth. Seed germination reached 55.5% overall, with strong cultivar-specific variation (87.5% in Genereuse de Vitry vs. 36.1% in Luikenapfel). Significant differences in seedling height were also observed, with Bittenfelder showing the greatest growth (41.9 cm). No correlation between germination rate and seedling height was found.

The study demonstrates that both propagation methods are strongly cultivar-dependent. Air layering appears suitable for preserving individual true-to-type trees, whereas seed propagation enhances genetic diversity and supports robust early development. The findings provide practical guidance for orchard management and offer a basis for future research on rooting physiology and cultivar-specific responses.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Der Streuobstbau in Mitteleuropa steht unter dem zunehmenden Einfluss klimatischer Veränderungen. Herausforderungen wie zunehmender Trockenstress, veränderte Niederschlagsmuster und verstärkter Krankheits- und Schädlingsdruck wirken sich auf die Vitalität und Produktivität von Obstbäumen aus (STIK-Projekt: Universität Hohenheim and Universität Tübingen, 2024). Besonders in der frühen Entwicklungsphase entscheidet die Fähigkeit zur effizienten Wasser- und Nährstoffaufnahme über das Überleben und die Wuchsdynamik junger Pflanzen. Methoden, die eine robuste Etablierung unter variablen Umweltbedingungen begünstigen, gewinnen daher zunehmend an Bedeutung – insbesondere im extensiv bewirtschafteten Streuobstbau. Streuobstbewirtschafter suchen deshalb nach Methoden, die den Streuobstwiesenanbau auch in Zukunft mit den zuvor genannten Herausforderungen ermöglichen (STIK-Projekt: Universität Hohenheim und Universität Tübingen 2024).

Die Wahl der Vermehrungsmethode beeinflusst maßgeblich die Etablierungswahrscheinlichkeit, die frühe Entwicklungsleistung sowie das längerfristige Anpassungspotenzial von Apfelbäumen (Albrecht et al. 2017). Während vegetative Verfahren wie das Abmoosen genetisch identische, standortangepasste Individuen erhalten, ermöglicht die generative Vermehrung über Aussaat eine hohe genetische Diversität, welche insbesondere in Hinblick auf Resilienz gegenüber klimatischem Stress von Vorteil sein kann (Goldschmidt, 2013). Gleichzeitig unterscheiden sich beide Ansätze in ihrer Etablierungssicherheit, dem praktischen Aufwand und der Vorhersagbarkeit der Entwicklung der Pflanze. Das Abmoosen an Apfelbäumen stellt dabei eine bislang kaum wissenschaftlich untersuchte, aber für kleinere Betriebe und Streuobstwiesenbesitzer potenziell attraktive Methode dar. Es ist ohne Veredlungsinfrastruktur möglich, wurzelechte Apfelbäume können gewonnen werden und die Erhaltung lokal angepasster, alter Sorten wird unterstützt (Goldschmidt, 2013). Erste historische Ansätze existieren bereits (Kemmer and Kirchhoff, 1952) wurden jedoch nicht weiter untersucht. Die Aussaat als generative Vermehrungsform hingegen wird zunehmend erneut diskutiert, da Sämlinge häufig über tiefreichende Wurzelsysteme und hohe Anpassungsfähigkeit verfügen – jedoch mit größerer Variabilität im Wuchs- und Ertragsverhalten (Albrecht et al., 2017).

Trotz der hohen Relevanz für Streuobstsysteme fehlen bisher vergleichende Untersuchungen, die den Etablierungserfolg und die frühe Entwicklungsdynamik vegetativ und generativ vermehrter Apfelpflanzen unter praxisnahen Bedingungen systematisch gegenüberstellen. Hier setzt die vorliegende Arbeit an.

1.2 Ziele, Fragestellungen und Hypothesen

In dieser Arbeit soll durch die Durchführung von zwei Versuchen (Abmoosen und Aussaaten) neben Etablierungserfolg und frühem oberirdischem Wachstum auch ein erster Einblick in die unterirdische Entwicklungsdynamik der vegetativ vermehrten Pflanzen gewonnen werden. Zusätzlich erfolgt beim Versuch der vegetativen Vermehrung eine experimentelle Behandlung mit zwei unterschiedlichen Bewässerungsvarianten (Weidenwasser und Regenwasser), um potenzielle Effekte biochemischer Stimulation auf den Bewurzelungserfolg mit zu erfassen. Es werden drei Apfelsorten parallel betrachtet, sodass auch sortenspezifische Unterschiede in der vegetativen Etablierungsleistung eingeschätzt werden können. Bei der Versuchsdurchführung, welcher die generative Vermehrung thematisiert, erfolgt hingegen eine Bewertung über Keimrate und das frühe Höhenwachstum verschiedener Apfelsorten. Damit können nicht nur Vermehrungsmethoden miteinander verglichen werden, sondern auch sortenspezifische Unterschiede erfasst werden.

Vor diesem Hintergrund verfolgt die Arbeit das Ziel, eine vegetative (Abmoosen) und generative (Aussaaten) Vermehrungsform von Apfelbäumen in Hinblick auf ihren Etablierungserfolg sowie ihre frühe Entwicklungsdynamik unter praxisnahen Bedingungen systematisch zu vergleichen.

Die Ergebnisse sollen eine Entscheidungshilfe für Streuobstwiesenbewirtschafter und private Obstbaumbesitzer bieten, welche Vermehrungsform unter Praxisbedingungen eine praktikable und nachhaltige Etablierung junger Apfelbäume ermöglicht.

Forschungsfragen:

1. Zeigen sich sortenspezifische Unterschiede in der Bewurzelungsrate beim Abmoosen sowie in der Keimrate bzw. im frühen Höhenwachstum nach generativer Vermehrung?
2. Welchen Einfluss haben verschiedene Bewässerungsmethoden (Weidenwasser und Regenwasser) auf den Bewurzelungserfolg und das Wurzelbild von abgemoosten Apfelbaumtrieben?
3. Wie unterscheiden sich vegetative Abmoosung und generative Aussaat hinsichtlich ihres jeweiligen Erfolgspotenzials (Bewurzelungs- und Keimrate) und ihrer praktischen Anwendbarkeit?

Hypothesen

1. **Sortenunterschiede:**
   Mindestens ein Sortenpaar weist signifikante Unterschiede hinsichtlich Bewurzelungsrate (vegetativ), Keimrate und frühem Höhenwachstum (generativ) auf.
2. **Einfluss von Bewässerung:**
   Die Verwendung von Weidenwasser führt beim Abmoosen zu einer signifikant höheren Bewurzelungsrate und zu einer ausgeprägteren Wurzelentwicklung (Länge, Oberfläche, Volumen) als die Bewässerung mit Regenwasser.
3. **Unterschiede zwischen der vegetativen und generativen Vermehrungsform:**
   Die generative Vermehrung zeigt höhere Keimraten, mit einem gering verbundenen Aufwand, liefert jedoch stärker variierende Nachkommenschaft und ist für sortenechte Vermehrung ungeeignet. Die vegetative Abmoosung zeigt leicht niedrigere Bewurzelungsraten, mit einem leicht erhöhten Aufwand, bietet aber sortentreue Pflanzen mit geringerem phänotypischen Variationsrisiko.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsteil 1: Vegetative Vermehrung durch Abmoosen

2.1.1 Versuchsstandort und -anlage

Der Versuch des Abmoosens wird auf der Anlage der Universität Hohenheim in Stuttgart, Baden-Württemberg, durchgeführt. Die größtenteils eingezäunte Anlage befindet sich auf einer Höhe von 390 m über dem Meeresspiegel bei den geographischen Koordinaten 48.712639° N und 9.192500° E. Die Fläche ist eben und weist keine nennenswerte Hangneigung auf. Die dort befindlichen Apfelbäume, welche auf insgesamt 13 Reihen aufgeteilt sind, werden für den Versuch zur Verfügung gestellt. Die Apfelreihen sind in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet (Abbildung 1).

Abbildung 1: Lage der Versuchsfläche (Apfelbaumreihen). (Luftbild © GisInfoService)

Jeweils vier Reihen sind mit den Sorten Cameo, Kanzi und Topaz bepflanzt, in einer einzelnen weiteren Reihe befindet sich die Sorte Spencer Seedless, welche nicht Teil des Versuchs ist. Die Reihenlänge beträgt etwa 115 m und der Abstand zwischen den einzelnen Bäumen ca. 0,8 m (Abbildung 2). Einzelne Bäume wurden bereits vor Versuchsbeginn gefällt, sodass Lücken im Bestand vorhanden sind. Die Bäume der

Versuchsanlage wurden im Jahr 2010 gepflanzt und sind somit am Zeitpunkt des Versuches 15 Jahre alt. Veredelt sind alle drei Sorten auf der schwachwüchsigen Unterlage M9 (Milyaev et al., 2024). Diese zeichnet sich durch eine hohe Ertragsleistung und Fruchtqualität aus, passt sich an verschiedene Bodentypen an und besitzt eine gewisse Toleranz gegenüber Kragenfäule (*Phytophthora cactorum*). Schwachstellen der Unterlage sind eine geringe Frostresistenz und die Neigung zur Ausbildung von Wurzelschossen (Höller and Guerra, 2020).

Abbildung 2: Apfelbaumreihen auf der Versuchsanlage. (Aufnahme J. Leußer)

Die Hauptstämme waren bereits vor Versuchsbeginn auf etwa 1,7 m Höhe gekappt. In sämtlichen Reihen erfolgt die Stabilisierung der Apfelbäume durch eine Drahtseil-Stützkonstruktion. Am Anfang jeder Baumreihe ist ein Holzpfahl verankert, an dem ein Drahtseil befestigt ist. Dieses verläuft in einer Höhe von etwa 1,6 m horizontal über die gesamte Länge der Reihe und ist mit den Stämmen der einzelnen Bäume an dieser Höhe verwachsen. Am Ende der Reihe endet das Drahtseil in einem weiteren Holzpfahl, der als Gegenverankerung dient.

Bodenprofil

Der Versuchsstandort befindet sich auf der bodenkundlichen Einheit n57 (Braunerde, Braunerde-Parabraunerde und Parabraunerde auf sandsteinführenden, oft lösslehmhaltigen Fließerden) (Abbildung 3). Der Standort ist geprägt durch einen oft steinigen, lehmig-tonigen Untergrund mit geringer bis mittlerer

Wasserspeicherfähigkeit. Die Bodenreaktion ist sauer (unter landwirtschaftlicher Nutzung wie auch unter Wald), was den Nährstoffhaushalt und die biologische Aktivität beeinflussen kann. Die natürliche Bodenfruchtbarkeit wird insgesamt als gering bis mittel eingestuft. Aufgrund der geringen bis mittleren Sorptions- und Filterkapazität besitzt der Boden nur eine begrenzte Fähigkeit, Nährstoffe oder Schadstoffe zurückzuhalten (Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, 2024).

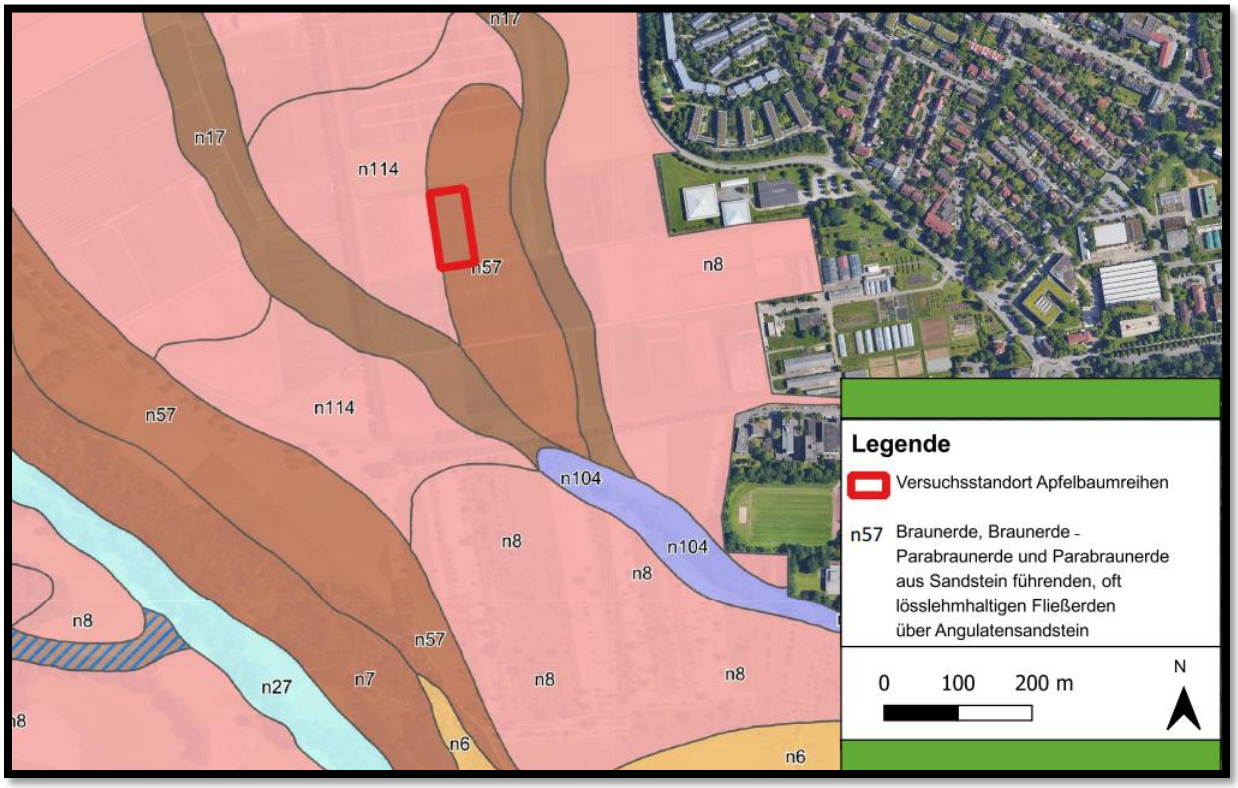

Abbildung 3: Bodenkundliche Einheiten im Bereich des Versuchsstandortes (Luftbild © GisInfoService)

Meteorologische Daten

Da Temperatur, Feuchte und Strahlung wesentliche Faktoren für die Wurzelinduktion darstellen, werden aufgezeichnete meteorologischen Daten der Wetterstation Hohenheim aus dem Jahr 2025 sowie dem langjährigen Mittel der letzten 15 Jahre, von 2010 - 2024 herangezogen. Die Wetterstation befindet sich nur wenige Meter entfernt zum Versuchsstandort und liegt somit ebenfalls auf einer Höhe von 390 m über dem Meeresspiegel. Die Datenerfassung der Station erfolgt in einem Zeitintervall von zehn Minuten sowie in zwei Meter Höhe über dem Erdboden.

Nach Anbringung der Abmooskugeln im März weisen die ersten beiden Monate einige Frosttage (T_{min} < 0 °C) auf (Abbildung 6), das Frühjahr 2025 ist jedoch tendenziell sonniger als die letzten 15 Jahre (Abbildung 5). Die Temperaturen des Jahres 2025 entsprechen weitgehend dem langjährigen Mittel; nur der Juni 2025 zeigt eine deutliche Erwärmung (Abbildung 4). In diesem Monat gibt es eine deutliche Häufung von Sommertagen (T_{max} ≥ 25 °C) und Hitzetagen (T_{max} ≥ 30 °C) (Abbildung 6), was eine außergewöhnliche Wärmeperiode widerspiegelt. Nach dem heißen Juni weisen die anschließenden Monate weniger warme Tage auf, insbesondere der Juli. (Abbildung 6). Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit (%) liegt leicht unter dem langjährigen Mittel (Abbildung 5), was sich in den Niederschlagssummen (mm) in der ersten Hälfte des Versuchszeitraums widerspiegelt (Abbildung 4). Herausstechend ist der Monat September mit einer um 122,8 % erhöhten Niederschlagssumme über dem langjährigen Mittelwert der Jahre 2010 bis 2024 (Abbildung 4). Eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit (%) bestätigen den nassen Monat (Abbildung 5).

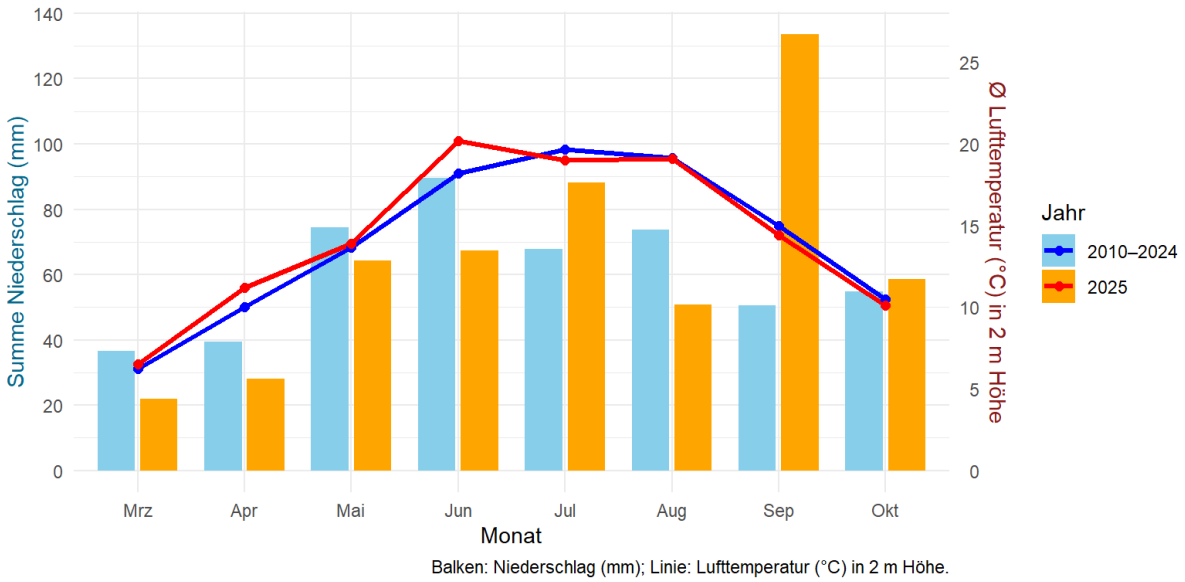

Abbildung 4: Monatliche Niederschlagssumme (mm) und durchschnittliche Lufttemperatur (°C) in 2 m Höhe für die Monate März bis Oktober im Jahr 2025 und langjährigen Mittel der Jahre 2010 bis 2024. (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg)

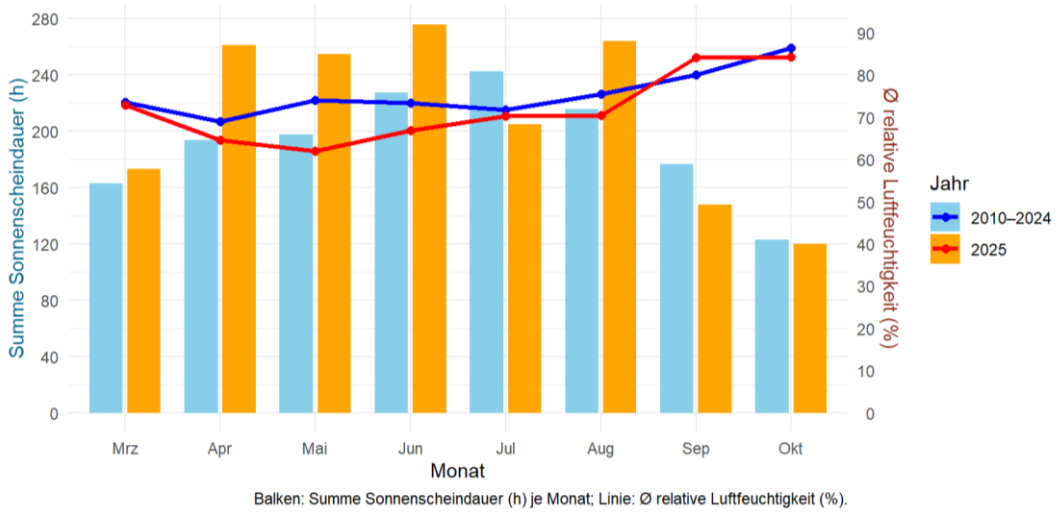

Abbildung 5: Monatliche Summe Sonnenscheindauer (h) und durchschnittliche rel. Luftfeuchtigkeit (%) von März bis Oktober im Jahr 2025 und dem langjährigen Mittel 2010 bis 2024. (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg)

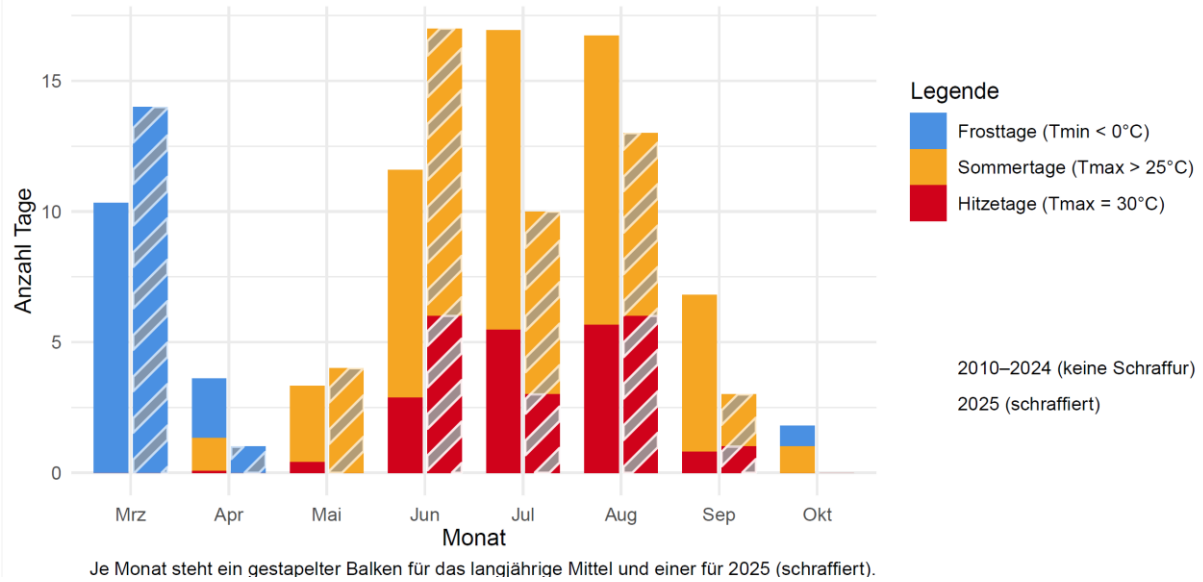

Abbildung 6: Monatliche Anzahl Frosttage, Sommertage und Hitzetage von März bis Oktober im Jahr 2025 und langjährigen Mittel 2010 - 2024. Balken links langjähriges Mittel (unschraffiert), Balken rechts 2025 (schraffiert). (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg)

Da die Wurzelinduktion beim Abmoosen stark von der Temperatur im Rinden- und Kambiumbereich beeinflusst wird (Raut et al., 2022), wurden zusätzlich die Bodentemperaturen (°C) in 5 cm Tiefe Boden dokumentiert (Abbildung 7). Die Bodentemperatur im Jahr 2025 spiegelt den beschriebenen Trend der geringen

warmen Tage in Juli und August wider und weist im Vergleich zum langjährigen Mittel leicht unterdurchschnittliche Werte auf (Abbildung 7).

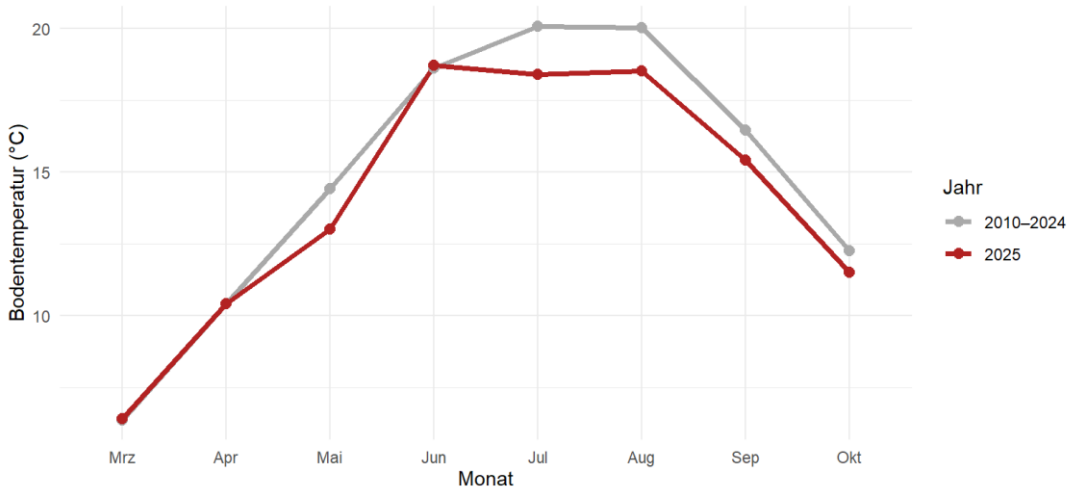

Abbildung 7: Monatliche durchschnittliche Bodentemperatur (°C) in 5 cm Tiefe von März bis Oktober im Jahr 2025 und dem langjährigen Mittel 2010 bis 2024. (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg)

2.1.2 Pflanzenmaterial und Sorten

Für den Abmoosversuch werden Apfelbäume der Sorten Kanzi, Cameo und Topaz genutzt, die in der Versuchsanlage der Universität Hohenheim bereits angepflanzt waren. Um eine Mindeststichprobengröße für statistisch valide und aussagekräftige Ergebnisse zu erreichen, wird aufgrund der hohen Anzahl an verfügbaren Bäumen auf diese Sorten zurückgegriffen.

Um die Versuchsbäume einordnen zu können, werden im Folgenden kurze Steckbriefe (Steckbrief 1 – 3) der verwendeten Sorten dargestellt.

Kanzi (Nicoter) - *Malus domestica „Nicoter“*

Herkunft und Abstammung

- **Abstammung**: Kreuzung aus Gala Must x Braeburn Hilwell
- **Herkunft:** Belgien, Universität Leuven und Baumschule Jo Nicolai, 1992 (erhältlich seit 2005)

Baum-Eigenschaften

- **Wuchsstärke**: schwach
- **Wuchsform:** hängend, Gipfeldominanz

Standort & Ansprüche

- **Standort**: Empfindlich gegenüber Staunässe
- **Frosthärte (Holz)**: k.A.

Blüte und Ertrag

- **Blütezeit**: Aufblühen, Vollblüte und Abblühen 1-3 Tage vor Golden Delicious; April bis Mai
- **Ertrag:** hoch (wenig anfällig für Alternanz)

Krankheiten

- **Anfälligkeiten**: Apfelschorf (*Venturia inaequalis*), Obstbaumkrebs (*Nectria galligena*), Stippe, Magnesiummangel (Blattrandnekrosen)
- **Nicht anfällig für**: Berostung

Frucht

- **Frucht**: Durchschnittsgröße im Durchmesser: 70 - 90 mm, hohe Fruchtfleischfestigkeit (7 kg/cm²), niedriger Zuckergehalt (12° Brix), Säuregehalt 8 g/l, zweifarbige Ausfärbung
- **Pflückreife**: Mitte September bis Anfang Oktober
- **Verwendung**: Tafelobst
- **Lagerfähigkeit**: Potenzial für Langzeitlagerung

Steckbrief 1: Sorte Kanzi (Nicoter)

Quellen: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz, 2020, Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz, abgerufen: 2025, Streif et al., 2010, Rühmer, 2019, Guerra, 2009, Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau, 2007

Topaz - *Malus domestica „Topaz“*

Herkunft und Abstammung

- **Abstammung**: Kreuzung aus Rubin x Vanda
- **Herkunft**: Tschechien, Prag, 1984

Baum-Eigenschaften

- **Wuchsstärke**: mittelstark
- **Wuchsform**: Aufrecht bis breitwüchsig, kurze Internodien, büschelartig verzweigt (Auslichtung erforderlich)

Standort & Ansprüche

- **Standort**: nährstoffreicher und durchlässiger Boden, keine Staunässe
- **Frosthärte (Holz)**: bis -30°C

Blüte und Ertrag

- **Blütezeit**: früh bis mittelfrüh (kurz vor Golden Delicious), mittel frostempfindlich, reichblühend
- **Ertrag**: früh, hoch, regelmäßig

Krankheiten

- **Anfälligkeiten**: Stippe, Obstbaumspinnmilbe (*Panonychus ulmi*) und Blattlaus (*Aphidoidea*); Feuerbrand (*Erwinia amylovora*), Kragenfäule durch Zoosporen von *P. cactorum*
- **Nicht anfällig für**: Apfelschorf (*Venturia inaequalis*), Mehltau (*Podosphaera leucotricha)*

Frucht

- **Frucht**: mittelgroß, Deckfarbe gestreift
- **Pflückreife**: Anfang bis Mitte Oktober
- **Verwendung**: Tafelobst, Verarbeitungsfrucht
- **Lagerfähigkeit**: geringe Verluste

Steckbrief 2: Sorte Topaz

Quellen: BSA Bundessortenamt, 2003, Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz, abgerufen: 2025, Bodner et al., 2017

Cameo (Caudle) - *Malus domestica „Caudle“*

Herkunft und Abstammung

- **Abstammung**: Zufallssämling Red Delicious x Golden Delicious
- **Herkunft:** 1987, Caudle-Farm Dryden, Washington (USA)

Baum-Eigenschaften

- **Wuchsstärke**: Mittel bis kräftig
- **Wuchsform:** im Jugendstadium aufrecht, später dichter und breitbuschig

Standort & Ansprüche

- **Standort**: humoser, gut durchlüfteter Boden, keine Staunässe
- **Frosthärte (Holz)**: bis -29°C

Blüte und Ertrag

- **Blütezeit**: Mittelspät (April bis Anfang Mai)
- **Ertrag:** früh einsetzend (ab 2.-3. Standjahr)

Krankheiten

- **Anfälligkeiten**: Apfelschorf (*Venturia inaequalis*), Feuerbrand (*Erwinia amylovora*), Cedar Apple Rust (*Gymnosporangium juniperi-virginianae*), Obstbaumkrebs (*Nectria galligena*), Apfelwickler (*Cydia pomonella*)
- **Nicht anfällig für**: Echter Mehltau (*Podosphaera leucotricha*), Stippe

Frucht

- **Frucht**: Geschmacksrichtung süß, ca. 12,5° Brix und 550 mg Säure/100 ml
- **Pflückreife**: Ende September bis Mitte Oktober, 4-5 Tage vor Braeburn
- **Verwendung**: Tafelobst
- **Lagerfähigkeit**: bis zu 10 – 12 Monate unter CA-/ULO-Lagerbedingungen

Steckbrief 3: Sorte Cameo (Caudle)

Quellen: Buti et al., 2018, Schöne and Metzner, 2012

2.1.3 Gesundheitszustand der Versuchsbäume

Der Gesundheitszustand der Versuchsbäume stellt einen zentralen Einflussfaktor für den Erfolg vegetativer Vermehrungsmethoden wie das Abmoosen dar. Aspekte wie Vitalität, Nährstoffversorgung sowie biotische und abiotische Stressoren wirken unmittelbar auf die Fähigkeit der Pflanzen zur Wurzelbildung (Negri et al., 2025). Deshalb wurde der Zustand der Apfelbäume während der Vegetationsperiode 2025 erfasst.

Im Folgenden werden die durchgeführten Pflegemaßnahmen sowie die beobachteten Krankheiten und Schadbilder dargestellt, um potenzielle Einflussgrößen auf die Vitalität der Bäume und damit auf den Erfolg des Abmoosens identifizieren zu können. Die Erkrankungen und Schadbilder werden während des Versuchszeitraums ausschließlich visuell beurteilt und ohne laborbasierte Diagnostik den wahrscheinlichsten Ursachen zugeordnet. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind den beschriebenen Schadbildern entsprechende Fotografien beigefügt.

In den vergangenen Jahren erfolgten nur eingeschränkte Pflegemaßnahmen. Im Jahr 2024 wurden die Flächen zwischen den Baumreihen einmal gemäht, während im Jahr 2025 lediglich in den Reihen der Sorten Cameo und Topaz während der Sommermonate ein Mähdurchgang durchgeführt wurde. In den Reihen der Sorte Kanzi hat nur eine teilweise Mahd stattgefunden. Schnittmaßnahmen wurden im Winter 2024/25 sowie im Winter 2023/24 vorgenommen. Innerhalb der letzten 36 Monate wurden keine Düngemaßnahmen und Pflanzenschutzapplikationen durchgeführt. Damit sind die Versuchsbäume als weitgehend unbehandelt zu charakterisieren.

Bei allen drei Apfelsorten wurden im Verlauf der Vegetationsperiode 2025 optische Merkmale beobachtet, die auf mehrere Apfelkrankheiten hindeuten. Viele dieser Symptome sind erst im Laufe des Sommers hervorgetreten und wurden an mehreren, aber nicht an jedem Baum festgestellt. Aufgrund der enormen Dichte und des geringen Abstands zwischen den Bäumen kann jedoch von einer schnellen Übertragbarkeit der einzelnen Krankheiten ausgegangen werden.

Marssonina-Blattfallkrankheit (*Marssonina coronaria*)

Die Marssonina-Blattfallkrankheit (*Marssonina coronaria*), wird durch den Pilz *Diplocarpon mali* verursacht und führt zu nekrotischen Blattflecken. Sie kann bei starkem Befall zu vorzeitigem Blattfall führen sowie zu Blattinfektionen, wodurch das physiologische Gleichgewicht des Wirts geschwächt wird ebenso wie auf lange Sicht die Vitalität der Bäume (Lee et al., 2011). Das typische Schadbild wurde bei allen drei Apfelsorten beobachtet (Abbildung 8).

Abbildung 8: Marssonina-Blattfallkrankheit (hier: Sorte Kanzi). (Aufnahme J. Leußer)

Monilia-Fruchtfäule (*Monilinia fructigena*) **/ Braunfäule**

Ebenfalls beobachtet wurde durch *Monilinia fructigena* verursachte Braunfäule an Äpfeln aller drei Apfelsorten (auch Monilia-Fruchtfäule genannt) (Abbildung 9). Die Infektion beginnt an Verletzungen der Fruchthaut und zeigt sich durch braune, faulende Stellen, auf denen sich Sporenlager bilden. Befallene Früchte können zu Fruchtmumien vertrocknen oder abfallen. Erfolgt keine Entfernung der Fruchtmumien vom Baum überwintert der Pilz in diesen und infiziert im Frühjahr neue Früchte (Xu and Robinson, 2000).

Abbildung 9: Monilia Fruchtfäule (Aufnahme J. Leußer)

Apfelschorf (*Venturia inaequalis*)

Der beobachtete durch den Pilz *Venturia inaequalis* verursachte Apfelschorf zählt zu den wirtschaftlich bedeutendsten Krankheiten im Apfelanbau. Er kann Blätter, Früchte und Triebe befallen und verursacht olivgrüne, später braun verkrustende Läsionen. Die Qualität der Früchte ist vermindert und Infektionen begünstigen den sekundären Befall durch andere Krankheitserreger (Vietmeier, 2019). Das Schadbild wurde an allen drei Sorten beobachtet (Abbildung 10).

Abbildung 10: Apfelschorf (links: Kanzi; rechts: Topaz). (Aufnahme J. Leußer)

Echter Apfelmehltau (*Podosphaera leucotricha*)

Der Echte Mehltau (*Podosphaera leucotricha*) gehört neben dem Schorf zu den wichtigsten Pilzkrankheiten am Apfel und wurde bei den Sorten Kanzi und Topaz beobachtet (Abbildung 11). Der Erreger überwintert in befallenen Knospen und infiziert direkt beim Austrieb junge Blätter, Blüten und Triebspitzen. Typisch ist ein mehlig-weißer Pilzbelag auf der Blattoberseite. Befallene Blätter biegen ihre Blatthälften nach oben, vertrocknen und fallen danach ab. Befallene Triebe bleiben im Längenwachstum zurück und Blütenanlagen können zerstört werden, was langfristig Ertragseinbußen und eine Schwächung der Vitalität zur Folge haben kann. Zudem kann ein starker oder wiederholter Befall die Anfälligkeit gegenüber weiteren Stressfaktoren erhöhen (Lesemann and Dunemann, 2006).

Abbildung 11: Echter Apfelmehltau. (Aufnahme J. Leußer)

Apfelgespinstmotte (*Yponomeuta malinellus*)

Das an der Apfelsorte Kanzi beobachtete Schadbild deutet auf einen Befall der Apfelgespinstmotte (*Yponomeuta malinellus*) hin, welche dichte, weiße Gespinste über Blätter und Triebspitzen spinnt (Abbildung 12). Innerhalb dieser Gespinste kommt es zu einem oft vollständigen Kahlfraß der betroffenen Stellen. Starker Befall führt zu einer deutlichen Reduktion der Blattfläche und damit zu einer Beeinträchtigung der Photosyntheseleistung. Wiederholter oder massiver Befall kann das Triebwachstum hemmen, die Vitalität schwächen und junge oder gestresste Bäume langfristig beeinträchtigen (Nierhaus-Wunderwald, 1998).

Abbildung 12: Apfelgespinstmotte. (Aufnahme J. Leußer)

Mistelbefall (*Viscum album*) **am Stamm**

An der Sorte Kanzi wurde das Wachsen von Mistel auf dem Baumstamm beobachtet (Abbildung A.1.1). Misteln sind Baumparasiten (Halbschmarotzer) und entnehmen dem Wirt Wasser, Mineralsalze und teilweise Assimilate. Auf stark befallenen Bäumen können Misteln zu lokaler Schwächung, reduzierter Triebkraft und erhöhtem Sterberisiko beitragen, vor allem wenn zusätzliche Stressoren (Dürre, Krankheiten) vorliegen (Nierhaus-Wunderwald and Lawrenz, 1997).

Dichte Grasnarbe und Nährstoffkonkurrenz

Bei allen Sorten wurde ein dichter Vegetationsbewuchs unmittelbar am Stamm beobachtet (Abbildung A.1.2). Neben dem Bewuchs von Gras wurden auch beispielsweise Seggen und junge Ahorn-Aufwüchse dokumentiert, wodurch es zu einer Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe sowie physischen Problemen, wie z. B. erhöhter Feuchtigkeit am Stamm, kommen kann (Messenger, 1976).

Rote Blattfärbung während der Sommermonate

Ebenfalls wurde bei allen drei Sorten eine gleichmäßige, frühzeitige (in den Sommermonaten) Rotfärbung vereinzelter oder auch aller Blätter am Baum beobachtet (Abbildung A.1.3). Aufgrund der Gleichmäßigkeit der Färbung wird eine stressinduzierte Anthocyanbildung vermutet, welche aufgrund von Nährstoffmangel oder auch Trockenstress hervorgerufen werden kann (Nichelmann, 2014). Für eine sichere Diagnose wird die Durchführung einer Nährstoffanalyse und Entnahme von Bodenproben empfohlen.

Vertikale Rindenrisse und -spalten

Lange, dunkle Längsrisse in der Rinde entlang der Stammachse waren bereits an allen drei Sorten vor Versuchsbeginn vorhanden (Abbildung A.1.4). Die teils eingesunkenen Risse deuten auf Frostrisse oder Sonnenschäden durch schnelle Temperaturschwankungen hin. Hierbei dehnt sich die Rinde bei warmen Tagestemperaturen aus. Bei kalten Nachttemperaturen folgt eine schnelle Kontraktion, sodass die verursachten Spannungen die Rinde aufbrechen lässt (Atucha, 2025). Ebenfalls nicht vollständig auszuschließen ist ein Befall mit Rindenbrand, was durch eine gezielte Untersuchung identifiziert werden sollte.

2.1.4 Versuchsvorbereitungen und -aufbau

Zur systematischen Durchführung des Abmoosversuchs werden im Vorfeld die erforderlichen Materialien angeschafft sowie Substrat, Bewässerungsart und Pflegemaßnahmen festgelegt. Insgesamt werden 180 Abmooskugeln an drei Apfelbaumsorten (Cameo, Kanzi, Topaz) angebracht, wobei je Sorte 60 Kugeln eingesetzt werden. Von diesen werden 30 Kugeln mit Regenwasser und 30 Kugeln zu Beginn des Versuchs mit Weidenwasser bewässert (Abbildung 13).

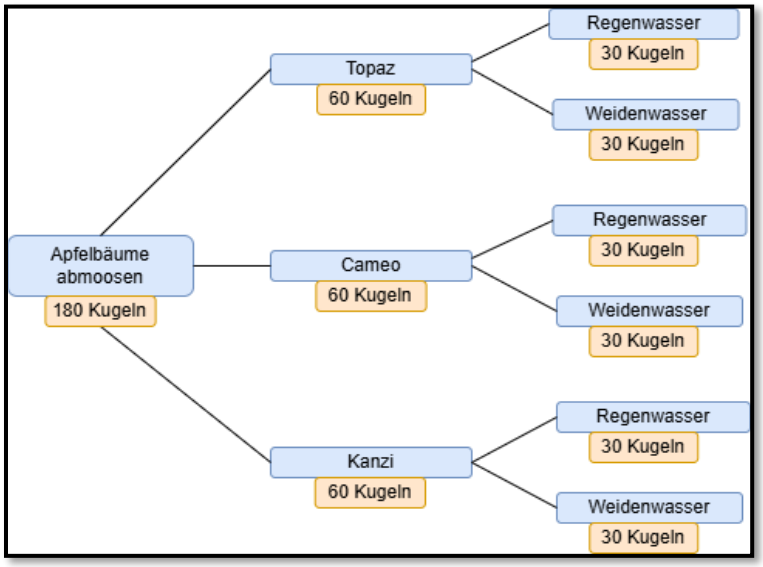

Abbildung 13: Versuchsaufbau Abmoosen: Verteilung der 180 Abmooskugeln auf die drei Sorten (Topaz, Cameo, Kanzi) und die beiden Bewässerungen (Regenwasser, Weidenwasser). (Darstellung J. Leußer)

Pro Sorte stehen vier Baumreihen zur Verfügung. In jeweils zwei dieser Reihen werden Abmooskugeln angebracht, sodass 30 Kugeln pro Reihe positioniert sind (Abbildung 14). Zur eindeutigen Zuordnung wird die Bewässerungsart nach Reihen getrennt: Eine Reihe erhält Regenwasser, die andere Weidenwasser. Die äußerste zusätzliche Reihe ist eine Sorte, die nicht Teil des Versuchs ist.

Abbildung 14: Apfelbaumreihen (Pfeile) mit Abmooskugeln (grün: Cameo, blau: Topaz, gelb: Kanzi). (Luftbild © GisInfoService)

Die Auswahl von drei verschiedenen Sorten ermöglicht die Untersuchung potenzieller sortenspezifischer Unterschiede in der Bewurzelungsrate. Der Vergleich von Weidenwasser und Regenwasser dient dazu, den Einfluss der Bewässerungsart auf den Bewurzelungserfolg zu prüfen. Mit jeweils 30 Wiederholungen pro Sorte und Behandlung wird zudem eine ausreichend große Stichprobe geschaffen, um statistisch belastbare Auswertungen durchführen zu können.

Abmooskugeln

Für die Versuchsdurchführung werden schwarze, lichtundurchlässige Bewurzelungskugeln aus Kunststoff, mit einem Durchmesser von 5 cm verwendet (Abbildung 15). Die Lichtundurchlässigkeit der Abmooskugeln ist hierbei ein zentraler Aspekt, um optimale Bedingungen für die Wurzelbildung zu schaffen, da Wurzeln von Natur aus darauf ausgelegt sind im Dunkeln zu wachsen. Bei einer Exposition von Wurzeln gegenüber Licht kann es zu physiologischen und morphologischen Veränderungen kommen. Die Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) ist eine Folge davon und verändert den Hormonhaushalt, was zu unnatürlichen Wachstumsreaktionen führen kann (Yokawa et al., 2014). Die natürliche Dunkelheit der Wurzelregion sorgt dafür, dass hormonelle Signale, insbesondere Auxin, das aus

den beleuchteten Sprossachsen stammt, korrekt verteilt und verarbeitet werden. Licht beeinflusst die Verteilung und den Transport von Auxin und kann dadurch die Wurzelarchitektur, das Meristemwachstum und die Bildung von Seitenwurzeln stören (Yun et al., 2023). Des Weiteren zeigen Wurzeln, die im Dunkeln wachsen, eine höhere Sensitivität und Anpassungsfähigkeit gegenüber Umweltfaktoren wie Salzstress oder Nährstoffmangel (Klopotek et al., 2010).

Bei der weiteren Betrachtung des Aufbaus der Kugeln in Abbildung 15, welche eine geschlossene Abmooskugel darstellt, ist eine zentrale Aushöhlung bei jeder Kugel zu erkennen. Diese dient zur Befüllung der Kugeln mit einem Substrat. An der Innenseite der Halbschalen befinden sich kleine Verstrebungen, welche das Verrutschen des Substrats beim Verschließen verhindern sollen. Die Kugeln besitzen an der Ober- und Unterseite kreisrunde Öffnungen, wobei sich diese mit 1,5 cm Durchmesser und 2,5 cm Durchmesser unterscheiden. Durch diese wird der Trieb hindurchgeführt. Die vergrößerte Öffnung an einer Seite erleichtert eine regelmäßige Bewässerung des Substrats während der Pflegezeit. Die Kugeln sind in der Mitte teilbar und lassen sich somit auf- und zuklappen.

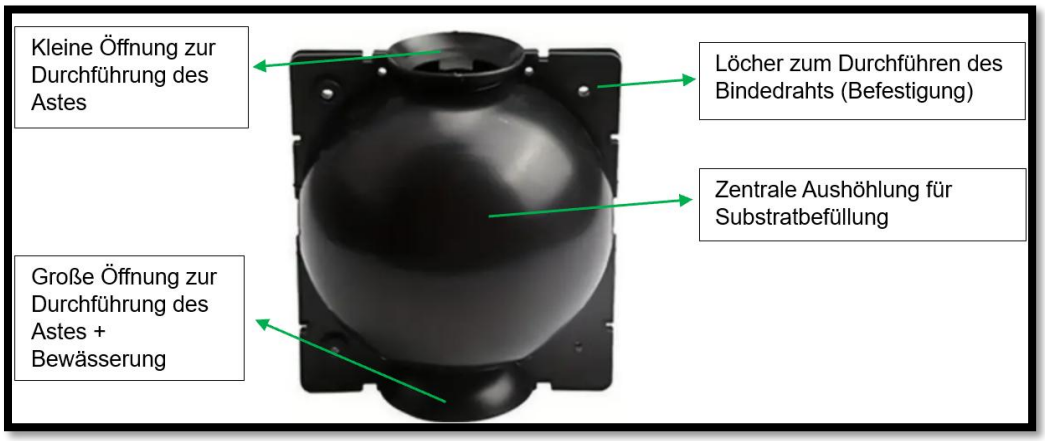

Abbildung 15: Aufbau Bewurzelungskugel. (Darstellung J. Leußer)

Für eine stabile Befestigung der geschlossenen Kugeln an den Ästen, werden kurze Abschnitte eines dünnen Bindedrahts durch die kleinen Löcher an den Ecken der Kugel durchgeführt und einige Male in sich verdreht. Zur Identifikation werden alle Kugel vor dem Anbringen nummerisch (weiß) beschriftet (1 bis 180).

Sphagnum-Moos

Weitere benötigte Materialien sind ein geeignetes Substrat. Das Füllmaterial in den Abmooskugeln hat maßgebliche Einflüsse auf die Feuchtigkeitsregulierung und die Belüftung der sich neu bildenden Wurzeln und stellt somit einen entscheidenden Faktor für den Erfolg der Bewurzelung dar (Ligarreto-Moreno et al., 2013). Um den Trieben optimale Bedingungen für die Wurzelbildung zu bieten, wird Sphagnum-Moos (Torfmoos) als Substrat für die Abmooskugeln ausgewählt.

Sphagnum-Moos besitzt eine hohe Fähigkeit zur Wasserspeicherung. Die hyalinen Zellen des Mooses sind dazu in der Lage das 16- bis 26-fache ihres Eigengewichts an Wasser aufzunehmen und zu speichern (Kaiser, 2013). Diese Eigenschaft sorgt für eine langfristige Feuchtigkeit des Substrats, ohne dass dabei Staunässe entsteht. Eine gleichmäßige und langsame Wasserabgabe schafft ideale Bedingungen für die Wurzelbildung, sodass das Risiko von Austrocknung und übermäßiger Nässe minimiert ist (Gaudig, 2001).

Die Struktur des Sphagnum-Mooses ist durch große Porenräume zwischen den Pflanzenkörpern gekennzeichnet, was eine Belüftung des Substrats und somit die Sauerstoffversorgung der sich bildenden Wurzeln gewährleistet (Kaiser, 2013). Ein weiterer positiver Effekt der hohen Luftdurchlässigkeit ist die Verhinderung von anaeroben Bedingungen innerhalb der Abmooskugel, welche mögliche Fäulnisprozesse begünstigen könnten.

Das in Sphagnum-Moos enthaltene Polysaccharid Sphagnan ist in der Lage das Wachstum vieler pathogener Mikroorganismen zu hemmen, indem es den pH-Wert senkt und ein saures Milieu erschafft (pH-Wert meist zwischen 4 und 5,0). Durch diese antibakterielle Wirkung kann das Risiko von Fäulnis und Infektionen im Bewurzelungsbereich reduziert werden (Stalheim et al., 2009). Auch wenn der optimale extrazelluläre pH Wert für Bewurzelungen im neutraleren Bereich von 5,5 bis 6,5 liegt, da hier das Zellwachstum und die Nährstoffaufnahme der Pflanze höher sind (Gujas et al., 2012), wird aufgrund der zuvor genannten überwiegenden Vorteile das Sphagnum-Moos für die Versuchsdurchführung ausgewählt.

Einige Torfmoose, darunter auch Sphagnum-Moos, stehen unter Naturschutz, weshalb bei dem in dieser Studie verwendeten Mooses auf eine nachhaltige Herkunft Wert gelegt wird. Dieses wird von einem niederländischen Bauernhof bezogen, auf welchem das Moos angebaut wird und dessen Betreiber sich auf den Schutz der

natürlichen Lebensräume konzentrieren. Dies wird gewährleistet, indem beispielsweise keine Ernte des Mooses während der Sommermonate stattfindet, aufgrund der Brutzeit mehrerer geschützter Vogelarten in diesem Zeitraum. Weiterhin wird berücksichtigt, dass lediglich eine oberflächliche Entnahme des Mooses durchgeführt wird, da die Regeneration des jeweiligen Moores priorisiert wird.

Weidenwasser zur Bewässerung

Im Rahmen des Versuches wird das Substrat der Abmooskugeln entweder mit Regenwasser oder mit Weidenwasser bewässert. Ziel dieses Ansatzes ist es, den Einfluss von Weidenwasser als natürliche Bewurzelungshilfe im direkten Vergleich zu gesammeltem Regenwasser zu untersuchen. Im Fokus liegt die Überprüfung auf Unterschiede in der Erfolgsquote der Bewurzelungen sowie der Ausprägung der Wurzelsysteme. Weidenwasser enthält natürliche Phytohormone, insbesondere Auxine, welche die Wurzelbildung fördern (Deniau et al., 2019). Das Regenwasser stellt eine neutrale Kontrolle dar, da es keine zusätzlichen wachstumsfördernden Hormone enthält.

Für das hergestellte Weidenwasser werden junge Triebe und Rinde der Bruchweide (*Salix fragilis*) verwendet. Die Bruchweide auch bekannt als „Knack-Weide“, ist eine in Mitteleuropa weit verbreitete Baumart aus der Familie der Weidengewächse (*Salicaceae*).

Die pflanzlichen Phytohormone und bioaktiven Substanzen in der Rinde und den jungen Trieben der Bruchweide sind verantwortlich für die bewurzelungsfördernde Wirkung des Weidenwassers (Kocher et al., 2024). Hierbei sind insbesondere Auxine, wie Indol-3-Buttersäure (IBA) und Indol-3-Essigsäure (IAA) hervorzuheben, welche die Zellteilung und -differenzierung im Bereich der Schnittstelle am Trieb stimulieren und dadurch die Bildung von Adventivwurzeln anregen (Dong et al., 2020). Weitere Effekte sind die Förderung des Nährstofftransports an die Schnittstelle sowie die Aktivierung spezifischer Gene, welche für das Wurzelwachstum und die Wurzelbildung verantwortlich sind (Dong et al., 2020). Die in der Weidenrinde enthaltene Salicylsäure besitzt antimikrobielle und pflanzenstärkende Eigenschaften, welche zusätzlich die Vitalität der abgemoosten Triebe unterstützen (Kocher et al., 2024). Erkenntnisse aus dem Jahr 2020 (Dong et al.) zeigen, dass geringe Mengen extern zugeführter Salicylsäure (SA) ein IAA-inaktivierendes Enzym hemmen und dadurch für eine

Erhöhung des lokalen freien IAA-Spiegels sorgen. Die erhöhte IAA-Konzentration stimuliert wiederum, die wie zuvor beschriebene Bildung der Adventivwurzeln.

Für die Zubereitung des Weidenwasser wird die Rinde der Triebe mithilfe eines zuvor gereinigten Schälers und scharfen Messers abgeschält, da sich die höchste Konzentration an Auxinen und Salicylaten in der Rinde befinden (Kocher et al., 2024). Sehr dünne einjährige Triebe werden in kleine Stücke geschnitten. Das verwendete Leitungswasser wird abgekocht, um potenzielle Mikroorganismen und Keime zu eliminieren, und anschließend auf Raumtemperatur abgekühlt. Die geschälte Rinde und kleingeschnittenen Triebe werden für ca. 48 Stunden in das Wasser eingelegt, um eine maximale Extraktion der bioaktiven Inhaltsstoffe zu erlangen. Nach Abschluss dieses Zeitraums wird das Weidenwasser durch ein feines Sieb gefiltert, um feste Bestandteile zu entfernen.

In der Anfangszeit des Versuchs zweimal Weidenasser produziert und für verschiedene Bewässerungstage verwendet. Wird ein Ansatz nicht vollständig an einem Bewässerungstag aufgebraucht, wird dieser kühl und geschützt gelagert und in der folgenden Bewässerung verwendet. Zur Nachvollziehbarkeit sind in Tabelle 1 die Parameter der hergestellten Weidenwasser-Ansätze zusammengefasst. Dargestellt sind das Gewicht des jeweils eingesetzten Weidenschnittguts, das Datum des Ansetzens, die Dauer der Extraktion (Ziehzeit) sowie die Zuordnung zur jeweiligen Bewässerung im Versuch. Der Auxingehalt des angesetzten Weidenwassers kann je nach Anzahl an jungen und alten Trieben variieren.

Tabelle 1: Übersicht Herstellungsdaten Weidenwasser

Ansatz Nr.	Zeitpunkt des Ansetzens	Gewicht des Schnittguts in Gramm	Wassermenge in Liter	Ziehzeit in Stunden	Verwendung Bewässerung
1	24.03.25	Ca. 900	4	48	Befüllung + 1. Bewässerung am 16.04.25
2	11.05.25	Ca. 1000	4	48	3. Bewässerung am 14.05.25 + 4. Bewässerung am 28.05.25

Bereits geringe Konzentrationen von IAA können die Wurzelbildung stimulieren, während größere Mengen das Wurzelwachstum hemmen, da Stresshormone wie Ethylen oder Abscisinsäure vermehrt gebildet werden (Dong et al., 2020). Salicylsäure ist ein Stresshormon bei Pflanzen und wirkt in sehr geringen Mengen, wie es im

Weidenwasser enthalten ist förderlich auf die Bewurzelung, kann diese jedoch bei einer zu hohen Konzentration hemmen (Dong et al., 2020). Aufgrund dessen werden alle Abmooskugeln bei der Befüllung und ersten Bewässerung mit Weidenwasser versorgt, in der zweiten Bewässerung jedoch mit Regenwasser, um eine zu hohe Konzentration der Salicylsäure zu vermeiden. Für die dritte und vierte Bewässerung wird das Substrat erneut mit Weidenasser befeuchtet und ab der fünften Bewässerung wird die Nutzung des Weidenwassers eingestellt und ausschließlich mit Regenwasser bewässert.

2.1.5 Durchführung des Abmoosens

Nachdem die zuvor beschriebenen Vorbereitungen getroffen wurde, wird im Folgenden die Vorgehensweise sowie der physiologische Hintergrund des Abmoosens beschrieben.

Das Abmoosen der drei Sorten erfolgte innerhalb von sechs Tagen um möglichst ähnliche Wetterbedingungen sowie Anbringungsdaten gewährleisten zu können. Das Abmoosen der Sorte Cameo wurde am 28.03.2025 zwischen 9:00 und 16:00 Uhr durchgeführt, wobei die Wetterlage sonnig und maximal 14°C betrug. Am dritten darauffolgenden Tag, den 31.03.2025, ebenfalls von 9:00 bis 16:00 Uhr wurden die Bewurzelungskugeln an die Bäume der Sorte Topaz angebracht. Die Temperatur betrug an diesem Tag ca. 9°C und der Himmel war vollständig bewölkt. Auffällig an diesem Tag war die erschwerte Anwendung des Ringelns, da sich die Rinde nicht leicht und geschmeidig ablösen ließ. Fünf Tage nach dem ersten Versuch des Abmoosens, am 02.04.2025, wurden die Kugeln an die Apfelbaumsorte Kanzi angebracht, wobei eine leichte Bewölkung und ca. 15°C herrschten.

Beim Abmoosen wird an einem noch mit dem Mutterbaum verbundenen Trieb ein ringförmiger Einschnitt vorgenommen, bei dem Rinde und Kambium vollständig entfernt werden. Durch diesen Eingriff wird der Transport von Assimilaten und Phytohormonen im Phloem unterbrochen, während die Wasserleitung über das Xylem erhalten bleibt. Oberhalb der Ringelstelle kommt es dadurch zu einer Anreicherung von Zucker und wachstumsfördernden Hormonen wie Auxin (Indol-3-Essigsäure, IAA). Diese lokale Anreicherung gilt als entscheidender Auslöser für die Bildung sogenannter Adventivwurzeln (Bai et al., 2020). Die Verletzung des Gewebes führt zu einer Aktivierung von Kallusbildung und teilungsfähigen Parenchymzellen. Durch das Zusammenspiel von Auxin und Ethylen werden diese Zellen zur Wurzelbildung

angeregt (Hartmann et al., 2011). Im Gegensatz zu beispielweise der Stecklingsvermehrung bleibt der Trieb beim Abmoosen mit dem Baum verbunden, sodass weiterhin eine Versorgung mit Wasser, Nährstoffen und Assimilaten erfolgt. Dadurch bleibt das Gewebe vitaler, und die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Wurzelbildung ist insbesondere bei jüngeren, gut versorgten Trieben hoch (Hartmann et al., 2011).

Im Rahmen des Versuchs wurde das Abmoosen wie folgt durchgeführt: Der erste Schritt beinhaltete das **Befüllen der Bewurzelungskugeln** mit Sphagnum-Moos unmittelbar bei den Versuchsbäumen. Das Moos wurde in die zentralen Aushöhlungen der Kugeln gefüllt, sodass sich auf beiden Seiten in der Abmooskugel ein leichter Haufen des Substrats befand (Abbildung 16).

Abbildung 16: Befüllung der Abmooskugeln mit Sphagnum-Moos.

Es wurden immer zehn Abmooskugeln mit Sphagnum-Moos befüllt und diese unmittelbar mit 20 ml Regenwasser bzw. Weidenwasser befeuchtet, sodass das Substrat vollständig feucht war, jedoch keine Wasseransammlungen am Boden der zentralen Aushöhlungen der Kugeln vorgefunden wurde. Die zehn vorbereiteten Abmooskugeln wurden während dem Einschneiden der Rinde an einen schattigen Ort kurzfristig zwischengelagert.

Der nächste Schritt beinhaltete die **Einschnitte und Rindenentfernung**. Die Auswahl von geeigneten Ästen erfolgte nach dem Alter und Vitalitätserscheinen der Triebe und des gesamten Baumes. Angezielt wurden ein- bis zweijährige Triebe. Teilweise wurden mehrere Kugeln an einem Baum befestigt oder mehrere Bäume zwischen den angebrachten Abmooskugeln freigelassen, falls diese keinen gesunden Zustand aufwiesen. Um in den nachfolgenden Monaten einen Überblick über die angebrachten Abmooskugeln sicher zu stellen, wurde bei der Durchführung des Abmoosens eine tabellarische Übersicht mithilfe von Excel erstellt, in welcher die Abmooskugeln

nummerisch nach Sorte, Bewässerungsart, Anbringungsdatum und Baumnummer sortiert sind (Tab. A.3.1). Die Verteilung der Baumnummern erfolgte nach Nummerierung der einzelnen Bäume vom jeweiligen Reihenbeginn.

An jedem ausgewählten Ast, wurde mithilfe eines Okuliermessers mit Rindenlöser (Abb. A.2.1) zwei ringförmige Einschnitte in die Rinde vorgenommen. Die Breite des Einschnitts und somit der Abstand zwischen den beiden ringförmigen Einschnitten entsprach in etwa der Dicke des Astes. Aufgrund der Auswahl von ein- und zweijährigen Ästen, entsprach dies in etwa zwei Zentimetern. Beide Einschnitte erfolgten vollständig rund um den Ast, sodass das darunterliegende Phloem und Kambium entfernt wurden. Um das Entfernen der Rinde zu ermöglichen, wurden die zwei parallelen Einschnitte mit einem gezielten Schnitt verbunden und die Rinde mit dem Rindenlöser des Okuliermessers entfernt (Abbildung 17).

Abbildung 17: Einschneiden und Entfernen der Rinde an Apfelbaumtrieben.

Im nächsten Schritt wurden die mit Substrat befüllten und bereits bewässerten Bewurzelungskugeln an die Äste angebracht. Diese wurden hierbei in etwa mittig an den Astbereich angebracht, an welchem die Rinde entfernt wurde. Die größere der beiden Öffnungen an den Kugeln wurde in Richtung Hauptstamm ausgerichtet. Anschließend wurden die Kugeln, an zwei Stellen mit Bindedraht fixiert, sodass diese geschlossen waren und nicht verrutschen konnten (Abbildung 18). Nach außen abstehendes Moos wurde entfernt, um einer zügigeren Austrocknung entgegenzuwirken.

Abbildung 18: Verschlossene und an Trieben befestigte Abmooskugeln.

2.1.6 Pflege während des Versuchs

Alle Bewurzelungskugeln wurden in regelmäßigen Zeitabständen bewässert und kontrolliert. Nachdem zu Beginn der Pflegephase, die Feuchtigkeit des Substrats in Zeitabschnitten von wenigen Tagen kontrolliert wurde, hat sich während der Sommermonate ein Rhythmus der Bewässerung von etwa 14 Tagen eingependelt. Nach etwa zwei Wochen ohne Bewässerung wurde genug Restfeuchtigkeit des Substrats festgestellt, sodass zu keinem Zeitpunkt ein vollständiges Austrocknen stattgefunden hat. Je nach Häufigkeit und Intensität der Trockenheitstage zwischen den Befeuchtungen, wurden die Bewässerungsintervalle vereinzelt um wenige Tage verkürzt oder verlängert. An den Bewässerungstagen wurden alle Kugeln, je Trockenheit mit etwa 10-30 ml Weidenwasser bzw. Regenwasser befeuchtet, welches in die geschlossenen Kugeln eingeführt wurde. Dieser Vorgang wurde mithilfe einer Spritze mit 20 ml Volumen durchgeführt (Abb. A.2.2). Durch die dünne Spritzenöffnung konnte das Wasser in die größere Bewässerungsöffnung der Kugel eingeführt und eine ausreichende Befeuchtung sichergestellt werden. Da die Öffnungen der Kugeln trotz der Bewässerungsöffnung unterschiedlich gut zugänglich waren, z.B. aufgrund von Belaubung oder Dicke des Astes, dient die Angabe von 20 ml Bewässerung lediglich als Richtwert. Die Bewässerungsintervalle mit zugehörigen Informationen sind in Tabelle 2 dargestellt.

An den Bewässerungstagen wurde gleichzeitig eine kurze Kontrolle der Position der Bewurzelungskugeln durchgeführt. Sofern Triebe durch Abbruch auf den Boden gefallen sind, wurden diese eingesammelt und dokumentiert. Jegliche Triebe, welche optisch keine hohe Vitalität mehr aufwiesen, sich jedoch noch am Baum befanden,

wurden nicht entfernt. Der finale Zustand wurde beim Entfernen der Abmooskugeln am 24.10.2025 kontrolliert und notiert.

Tabelle 2: Bewässerungsdaten während des Versuchszeitraums

Datum	Wetterbedingungen	Bewässerungsmenge pro Kugel	Bemerkungen
16.04.25	12-14°C, wolkig	Ca. 20-30 ml	Substrat im äußeren Bereich leicht trocken, Innenbereich noch feucht. Weidenwasser aus dem ersten Ansetzen
30.04.25	24°C, sonnig bis leicht bewölkt	Ca. 20-30 ml	Substrat im äußeren Bereich leicht trocken, Innenbereich noch feucht. (nur mit Wasser)
14.05.25	25°C, viel Sonne	Ca. 20-30 ml	Substrat im äußeren Bereich leicht trocken, Innenbereich noch feucht. (Weidenwasser aus dem zweiten Ansetzen)
28.05.25	16°C, windig, bewölkt mit Regen	Ca. 10 ml	Gesamtes Substrat noch sehr feucht. Einige Kugeln abgebrochen, wegen Wind (v.a. oberer Bereich)
11.06.25	25°C, sonnig	Ca. 20 ml	Gesamtes Substrat noch leicht feucht
21.06.25	30°C, sonnig	Ca. 20 ml	Substrat im äußeren Bereich leicht trocken, Innenbereich noch feucht.
03.07.25	26°C, wolkig	Ca. 20-30 ml	Substrat im äußeren Bereich leicht trocken, Innenbereich noch feucht.
18.07.25	27 °C, sonnig	Ca. 20-30 ml	Substrat im äußeren Bereich leicht trocken, Innenbereich noch feucht.
06.08.25	20°C, sonnig bis leicht bewölkt	Ca. 20 ml	Gesamtes Substrat noch leicht feucht
22.08.25	20°C, sonnig bis leicht bewölkt	Ca. 20 – 30 ml	Gesamtes Substrat leicht trocken
15.09.25	18°C, windig und leicht bewölkt	Ca. 20 – 30 ml	Gesamtes Substrat noch leicht feucht
15.10.25	10°C, windig und bewölkt	Ca. 20 ml	Gesamtes Substrat noch leicht feucht

2.2 Versuchsteil 2: Generative Vermehrung durch Aussaaten

Der Versuch zur generativen Vermehrung dient der Untersuchung des Etablierungserfolgs (Keimrate) und der frühen Wachstumsdynamik (Höhenwachstum) von Sämlingen. Die generative Vermehrung stellt im Gegensatz zur vegetativen eine Möglichkeit dar, genetisch diverse Nachkommen zu erhalten, die potenziell über eine größere Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umweltbedingungen verfügen können.

2.2.1 Standort und Sortenübersicht

Die Aussaat erfolgte am 7. März 2025 im Gewächshaus des Klosters Beuron (Landkreis Sigmaringen, Baden-Württemberg). Es wurden 510 Samen von insgesamt elf unterschiedlichen Apfelsorten mit überwiegend regionaler Herkunft und historischer Bedeutung (Tabelle 3) ausgesät. Je Sorte variierte die Zahl der ausgesäten Samen zwischen 24 und 86 (Tabelle 3).

Der Versuch wurde in Kooperation mit dem Pomologenverein e.V. Landesgruppe Baden-Württemberg und dem Kloster Beuron durchgeführt.

Tabelle 3: Sortenübersicht und Anzahl der ausgesäten Samen

Sorte	Ausgesäte Samen	Kurzbeschreibung/Sorteninfo
Bittenfelder	28	Zufallssämling aus Bittenfeld (BW), starkwüchsige Unterlage, Mostapfel, späte Reife
Genereuse de Vitry	24	Französische Sorte mit mittlerem Wuchs, sehr frosthart; Mostapfel
Ginger Luiken	72	Direkt verwandt mit Luikenapfel, Herkunft aus Kreis Göppingen, um 1850; Traditionell auf mittlerer Alb, Mostapfel
Luikenapfel	36	Von etwa 1800; Kulturgut in Baden-Württemberg, früher häufig vertreten, mittlerweile selten geworden
Blauluiken	69	55,88 % genetische Übereinstimmung mit Luikenapfel
Börtlinger Weinapfel	48	Herkunft aus Gemeinde Börtlingen (BW) um 1827, Mostapfel; sehr widerstandsfähig, starkwüchsig
Porsche Luiken	24	Genanteil ca. 60 % vom Luikenapfel
Brünnerling	33	Herkunft aus Oberösterreich, starker Wuchs
Pomme d´Or	30	Herkunft aus Frankreich, reiner Wirtschaftsapfel
Wellant	60	Aus den Niederlanden 1987
Heslacher Luiken	86	Herkunft aus Heslach ca. 1820, späte Blüte, Mostapfel, kräftiger Wuchs

Quellen: Stiftung Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee, 2025, Bosch and Mayr, 2022, Metzger, 1847

Der Luikenapfel nahm von etwa 1800 bis Mitte des 20. Jahrhunderts in der Region Stuttgart eine hohe wirtschaftliche Bedeutung an. Etwa zwei Drittel aller Obstbäume im Umland Stuttgarts waren zu dieser Zeit Luikenäpfel. Die Sorte zeichnete sich durch hohe Erträge, Regenerationsfähigkeit, ein gesundes und kräftiges Wachstum, eine besondere Eignung als Mostapfel und durch eine späte Blüte aus, wodurch die Einflüsse von Spätfrösten gering wurden. Aufgrund dieser Eigenschaften wurden über die Zeit zahlreiche Sämlinge aus dem Luikenapfel gezogen und verbreitet. Diese tragen ebenfalls das Attribut „Luiken“ und weisen unterschiedliche Grade der genetischen Verwandtschaft zu dem Luikenapfel auf. Diese sind je nach regionalem Standort häufig individuell benannt und haben durch lokale Umweltfaktoren oft spezifische Anpassungen entwickelt, die sich in bestimmten Eigenschaften widerspiegeln (Bosch and Mayr, 2022).

2.2.2 Durchführung der Aussaaten und Pflege

Die für den Versuch verwendeten Apfelsamen entstammten jeweiligen Sortenfrüchten des Vorjahres. Nach der Ernte wurden die Samen unmittelbar aus dem Fruchtfleisch entfernt, gereinigt und anschließend an der Luft getrocknet. Für eine gleichmäßige Wasseraufnahme erfolgte im Dezember ein mehrtägiges Einweichen der getrockneten Samen in Wasser. Im Anschluss wurden die Samen zur Förderung der Keimfähigkeit in einem Kühlschrank bei etwa 5°C gelagert. Hierfür wurden sie zwischen feuchten Tüchern ausgebreitet, die während der gesamten Lagerungszeit regelmäßig kontrolliert und bei Bedarf mit Wasser besprüht wurden. Die Kältebehandlung begann im Dezember und wurde bis zur Aussaat fortgeführt.

Die Aussaat am 07.03.2025 erfolgte in Saatkisten mit 20 cm Höhe, welche im Gewächshaus des Klosters Beuron aufgestellt und vollständig mit Substrat gefüllt wurden. Als Substrat wurde eine Mischung aus torffreier Pflanzenerde und humosem Gartenboden verwendet.

Die Samen wurden mit einem Abstand von vier bis fünf Zentimetern und einer Saattiefe von etwa einem Zentimeter ausgebracht. Anschließend wurden die Saatkisten gleichmäßig mit einer Brause von oben mit Leitungswasser bewässert. Während des Versuchszeitraums erfolgte die Bewässerung bedarfsgerecht in Abhängigkeit der Witterung und Substratfeuchte. Eine aktive Temperaturregelung innerhalb des Gewächshauses erfolgte während des Versuchszeitraums nicht. Es wurde nach Einschätzung des betreuenden Gärtners bei Bedarf gelüftet oder geheizt, um extreme

Temperaturen zu vermeiden. Im Verlauf der Vegetationsperiode wurden folgende Pflegemaßnahmen durchgeführt:

- Ende Juni 2025: Verlagerung der Saatkisten aus dem Gewächshaus ins Freie, um die Pflanzen schrittweise an Freilandbedingungen (Temperatur, Strahlung, Wind) zu gewöhnen.
- Ende Juli 2025: einmalige Düngung mit einem organisch-mineralischen Dünger
- Zum Schutz vor Blattläusen wurde eine Behandlung mit einem ökologisch anerkannten Läusemittel durchgeführt

2.3 Erhobene Parameter und Datenauswertung

Für beide Versuchsteile – die vegetative Vermehrung durch Abmoosen sowie die generative Vermehrung über Aussaaten – werden spezifische Merkmalsparameter erfasst, die eine quantitative Auswertung und den Vergleich zwischen Sorten, Bewässerungs- und Vermehrungsmethoden ermöglichen. Die folgenden Abschnitte definieren die erhobenen Variablen und die zugrunde liegenden Messkriterien.

2.3.1 Vegetative Vermehrung – Bewurzelungserfolg und Wurzelbild

Eine Abmooskugel gilt als bewurzelt, sobald beim Öffnen mindestens ein sichtbarer Wurzelansatz am Trieb erkennbar war. Als Mindestkriterium wird eine Wurzellänge von ≥ 1 mm festgelegt, unabhängig davon, ob es sich um einzelne oder mehrere Wurzeln handelt.

Die Bewurzelung wurde am Ende des Versuchszeitraums (24.10.2025) einmalig erfasst; Zwischenkontrollen fanden nicht statt, sodass der genaue Zeitpunkt des Wurzelansatzes nicht bestimmt wurde. Fälle von Verlust, wie das Abfallen der Kugeln oder Vitalitätsverluste des Astes wurden als „abgestorben“ markiert. Ebenfalls wurde notiert, wenn sich lediglich Kallus (ohne Wurzelansatz) an der Ringelstelle bildete. Der Bewurzelungserfolg wird als Anteil der bewurzelten Proben an der Gesamtzahl der eingesetzten Kugeln berechnet. Die Bewurzelungsrate (%) wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Bewurzelungsrate (\%)} = \frac{\text{Anzahl bewurzelter Proben}}{\text{Gesamtzahl eingesetzter Proben}} \times 100$$

Um den Zusammenhang zwischen Sorte und dem Bewurzelungserfolg zu untersuchen, wird ein Fisher´s Exact Test durchgeführt. Dieser Test wird gewählt, da

es sich um kategoriale Daten (bewurzelt / nicht bewurzelt) mit teilweise kleinen Stichprobengrößen handelt, bei denen der exakte Fisher-Test zuverlässigere Ergebnisse liefert als der Chi²-Test (Neuhäuser and Ruxton, 2025). Bei signifikanten Gesamtergebnissen werden zusätzlich paarweise Vergleiche der Sorten durchgeführt. Hierzu kommen paarweise Fisher-Tests mit Bonferroni-Korrektur zum Einsatz, um die Alphafehlerakkumulation durch Mehrfachvergleiche zu begrenzen.

Das gleiche Vorgehen wird zur Analyse des Einflusses der Bewässerungsmethode auf den Bewurzelungserfolg angewendet. Auch hier wird die Bewurzelungsrate zwischen den Bewässerungsvarianten verglichen und der Fisher-Test angewendet.

Für die Analyse des Wurzelbildes der abgemoosten Triebe wird eine digitale Bildanalyse der aufgenommenen Wurzelbilder durchgeführt. Die abgemoosten Triebe der unterschiedlichen Apfelsorten werden nach der Entnahme vor einem weißen Hintergrund fotografiert, sodass die automatisierte Auswertung ermöglicht wird. Ziel dieser Bildanalyse ist die Erfassung von Kennwerten wie Anzahl der neugebildeten Wurzeln sowie deren Länge und Dicke.

2.3.2 Generative Vermehrung – Keimrate und Wachstum

Als gekeimt gilt ein Samen, sobald ein oberirdischer Pflanzenanteil sichtbar ist. Die Keimung wird nicht nach Datum, sondern ausschließlich als Endpunktvariable bewertet: Es wird nur festgehalten, ob ein Samen bis zum Messzeitpunkt gekeimt hat, nicht wann dies geschieht.

Damit zählen auch spät gekeimte Pflanzen als „gekeimt“ und werden normal mitgemessen. Die Keimrate (%) pro Sorte ergibt sich aus:

$$\text{Keimrate } (\%) = \frac{\text{Anzahl gekeimter Samen}}{\text{Anzahl ausgesäter Samen}} \times 100$$

Zur statistischen Auswertung der Keimrate zwischen den Sorten wird ein paarweiser Fisher-Test mit Bonferroni-Korrektur verwendet. Dieser Ansatz wird gewählt, da kategoriale Daten mit unterschiedlichen Stichprobengrößen vorliegen. Ergänzend wird die Keimwahrscheinlichkeit zwischen den Sorten vergleichend analysiert. Die Ergebnisse werden in Form von Odds Ratios (OR) dargestellt. Das Odds Ratio beschreibt das Verhältnis der Keimchancen („odds“) zweier Sorten. Werte größer als 1 deuten auf eine höhere Keimwahrscheinlichkeit im Vergleich zur Referenz hin, Werte kleiner als 1 auf eine geringere Wahrscheinlichkeit. Diese Methode eignet sich

besonders, wenn die Grundgesamtheiten zwischen Gruppen unterschiedlich groß sind (Rita and Komonen, 2008).

Bei allen gekeimten Pflanzen wurde am 13. September 2025 die oberirdische Sprosslänge (Wuchshöhe) in cm gemessen, vom Substratniveau bis zur obersten Blattspitze. Diese Messung erfolgte einmalig und repräsentiert somit den Zuwachs seit der Aussaat am 7. März 2025. Nicht gekeimte Samen wurden für diese Erhebung nicht berücksichtigt, wodurch sich die Stichprobengröße zwischen den Sorten unterscheidet (Vgl. Tabelle A.4.1). Weitere morphologischen Merkmale wie Blattzahl, Seitentriebe oder Wurzellänge wurden nicht erhoben.

Für die Wuchshöhe der Sämlinge werden der Mittelwert, Median, Standardabweichung (SD), Standardfehler (SE) sowie der Interquartilsabstand (IQR) berechnet (Vgl. Tabelle A.4.4) und zur Darstellung in einem Boxplot verwendet. Zur Prüfung der Normalverteilung der Daten wird der Shapiro-Wilk-Test durchgeführt; zusätzlich erfolgt eine visuelle Kontrolle mittels Q-Q-Plot (Tabelle A.4.1 und A.4.5). Je nach Ergebnis wird für den Vergleich der mittleren Wuchshöhen entweder parametrische Verfahren verwendet oder – bei Abweichung von der Normalverteilung – nichtparametrische Tests wie der Kruskal–Wallis-Test. Bei einem signifikanten Unterschied wird zur weiteren Differenzierung ein Dunn-Test mit Bonferroni Korrektur angewendet.

Abschließend wird der Zusammenhang zwischen mittlerer Keimrate und mittlerer Wuchshöhe auf Sortenebene mit dem Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten geprüft. Diese Methode wird gewählt, da sie keine Normalverteilung der Daten voraussetzt und mögliche Zusammenhänge zwischen Variablen abbildet (Schober et al., 2018).

Die gewählte Methodik der einmaligen Erfassung von Keimrate und Wuchshöhe gibt erste Hinweise für die Etablierungsfähigkeit verschiedener Sorten. Zwar erlaubt sie keine detaillierte zeitliche Wachstumsanalyse, liefert aber Vergleichswerte für den anfänglichen Entwicklungserfolg nach der Aussaat.

3 Ergebnis

3.1 Vegetative Vermehrung – Abmoosen

Nach Abnahme der Abmooskugeln am 24.10.2025 weisen von den angebrachten 180 Kugeln 38 Triebe (21,1 %) einen Bewurzelungserfolg mit Kallusbildung auf. Eine Kallusbildung ohne Bewurzelung zeigt sich bei 66 Trieben (36,7 %), mit vollständigem Vitalitätsverlust sind 76 Triebe (42,2 %). Von Letztgenannten sind acht Exemplare bereits während des Versuchszeitraums durch Sturm abgebrochen.

Neben den Erfolgsraten wurden Wurzelbilder fotografisch dokumentiert.

Die Kallusbildung ist überwiegend über die gesamte Schnittfläche verteilt und weist unregelmäßige, knollenartige Wucherungen mit kleinen gelblich braunen Punkten auf (Abbildung 19).

Abbildung 19: Kallusbildung an der Ringelstelle.

Die Wurzelausbildungen zeigen kein einheitliches Bild. Wie Abbildung 20 beispielhaft anhand von Topaz mit Regenwasser Bewässerung darstellt, werden Haarwurzeln (Abb. 20, Foto links) oder dicke weiße Wurzeln (Abb. 20, Foto rechts) ausgebildet.

Abbildung 20: drei beispielhafte Wurzelbilder der Sorte Topaz bei der Bewässerung mit Regenwasser.

Diese Unterschiedlichkeit der Wurzelbilder können an allen drei Apfelsorten festgestellt werden (Abbildung 21 und 22).

Abbildung 21: Beispielhafte Wurzelbilder der Sorte Kanzi bei der Bewässerung mit Weidenwasser.

Abbildung 22: Beispielhafte Wurzelbilder der Sorte Cameo bei der Bewässerung mit Regenwasser.

Die ursprünglich geplante Analyse der Wurzelausbildung konnte aufgrund der geringen Wurzelerfolge und -ausprägungen nicht erfolgen. Die gebildeten Wurzeln sind sehr fein und besitzen teilweise eine Länge von nur wenigen Millimetern. Aufgrund dessen besteht beim Entfernen des umgebenden Mooses ein erhebliches Risiko, die neu entstandenen Wurzeln zu beschädigen oder vollständig zu zerstören. Daher war es nicht möglich aussagekräftige Merkmale (z.B. Wurzellänge, Anzahl der Wurzeln oder Verzweigungsgrad) systematisch auszuwerten. Die beiliegenden Fotos (Abbildung 19 bis 22) liefern dennoch erste visuelle Eindrücke zur Wurzelausprägung der einzelnen Sorten und ergänzen die quantitative Analyse.

3.1.1 Bewurzelungserfolg je Sorte

In Bezug auf die Sortenunterschiede, zeigt Topaz mit 31,7 % (N = 19) den höchsten Anteil an bewurzelten Trieben, gefolgt von Cameo (20%, N = 12) und Kanzi (11,7%, N = 7) (Abbildung 23). In Bezug auf die Kallusbildung ohne Bewurzelung drehen sich die Zahlen um. So haben 50 % (N = 30) der abgemoosten Kanzi-Äste eine Kallusbildung. Bei Cameo sind es rund 33 % (N = 20), während es bei Topaz nur noch 26,7 (N = 16) sind (Abbildung 23). Bei Betrachtung der abgestorbenen Triebe weist Cameo mit 46,7 % (N = 28) den höchsten Anteil auf, gefolgt von Topaz (41,7 %, N = 25). Kanzi zeigt mit 38,3 % (N = 23) die geringste Anzahl an Trieben mit Vitalitätsverlust (Abbildung 23).

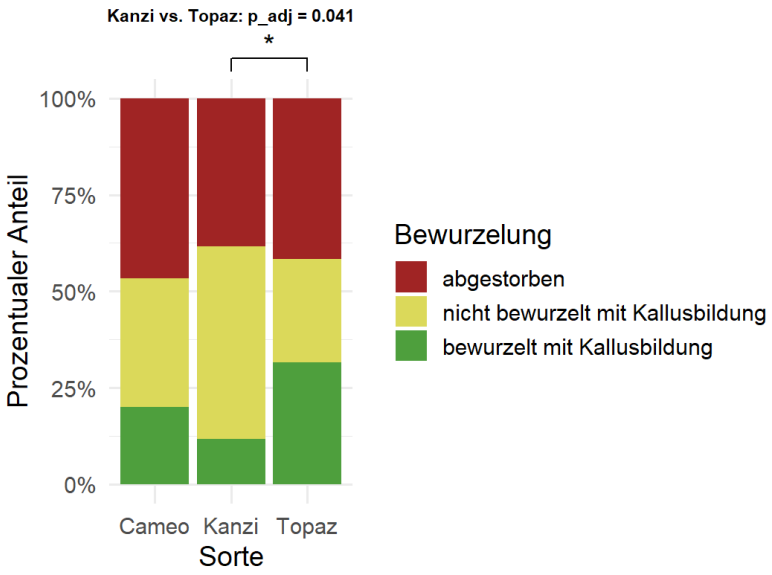

Abbildung 23: Bewurzelungsrate (%), Anteil abgestorben (%), Anteil unbewurzelt mit Kallusbildung (%) je Sorte.

Der Fisher-Test zeigt signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) in der Bewurzelungsrate je Sorte und untermauert damit eine sortenspezifische Bewurzelungswahrscheinlichkeit.

Ein paarweiser Vergleich zwischen den Sorten zeigt, dass Kanzi und Topaz signifikant unterschiedliche Bewurzelungsraten ($p < 0,05$) aufweisen, während bei Cameo und Kanzi sowie Cameo und Topaz keine statistischen Unterschiede festzustellen sind.

3.1.2 Einfluss der Bewässerungsvariante

Im Ergebnisvergleich zwischen den Bewässerungsvarianten und Sorten zeigen sich deutliche Unterschiede im Anteil bewurzelter, unbewurzelter mit Kallusbildung und abgestorbener Triebe (Abbildung 24). Die Erfolgsrate unter Regenwasser-Bewässerung ist bei Topaz mit 30 % (N = 9) höher als bei Cameo mit 16,7 % (N = 5) und Kanzi 3,3 % (N = 1) (Abbildung 24). Kanzi und Cameo zeigen jedoch mit 50,0 % (N = 15) bzw. 40,0 % (N = 12) starke Kallusbildung, während Topaz in dieser Kategorie mit 26,7 % (N = 8) am niedrigsten abschließt. Bei den abgestorbenen Trieben liegen die Sorten annähernd gleichauf: Cameo (N = 13), Topaz (N = 13) und Kanzi (N = 14) weisen jeweils 43,3 % (N = 13) Verlustraten auf (Abbildung 24).

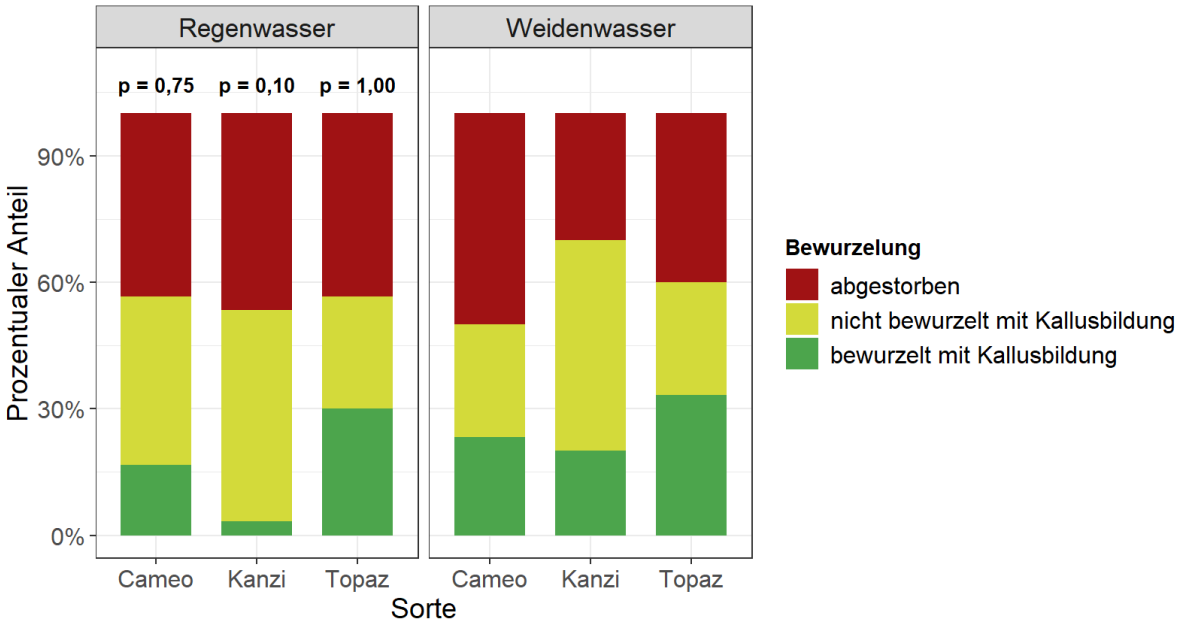

Abbildung 24: Bewurzelungsparameter (%) je Sorte und Bewässerungsmethode inklusive p-Werten.

Unter Bewässerung mit Weidenwasser erreicht ebenfalls Topaz mit 33,3 % (N = 10) den höchsten Bewurzelungsanteil, gefolgt von Cameo mit 23,3 % (N = 7) und Kanzi mit 20,0 % (N = 6). In Bezug auf die Kallusbildung ohne Bewurzelung zeigen Cameo und Topaz mit jeweils 26,7 % (N = 8) den gleichen Anteil, während Kanzi (50 %, N = 15) den mit Abstand höchsten aufweist (Abbildung 24). Bei Betrachtung der abgestorbenen Triebe drehen sich die Zahlen um. Bei Cameo ist der Anteil mit 46,7 % (N = 14) höher als bei Topaz (40 %, N = 12) und Kanzi (26,7 % N = 8) (Abbildung 24).

Für Cameo, Topaz und Kanzi können bei Anwendung des Fisher-Tests keine signifikanten Unterschiede im Anteil der bewurzelten Triebe zwischen Regenwasser- und Weidenwasser-Bewässerung nachgewiesen werden.

Irrelevant welche Bewässerungsvariante, Topaz zeigt konstant die höchste Bewurzelungsrate im Sortenvergleich.

Sogleich es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bewässerungsvarianten gibt, hebt Abbildung 25 hervor, dass alle Sorten bei einer Bewässerung mit Weidenwasser erhöhte Erfolgsraten für eine Bewurzelung aufweisen.

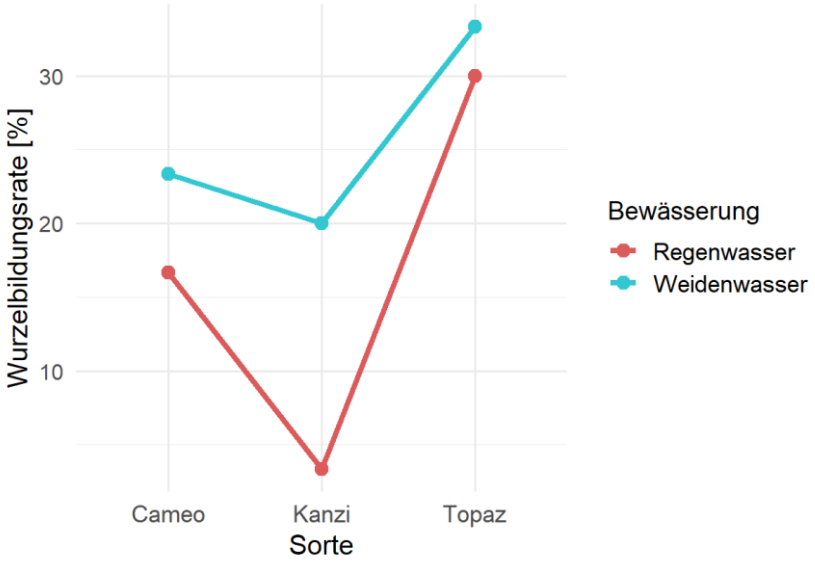

Abbildung 25: Wurzelbildungsrate (%) je Sorte und Bewässerungsmethode.

3.2 Generative Vermehrung - Aussaaten

3.2.1 Keimung

Von insgesamt 510 ausgesäten Samen sind 283 gekeimt und 227 nicht gekeimt. Die Sorte Genereuse de Vitry weist die höchste Keimrate (87,5 %) auf, gefolgt von Pomme d'Or (83,3 %) (Abbildung 26). Die geringsten Keimraten zeigen Luikenapfel (36,1 %) und Bittenfelder (39,3 %) (Abbildung 26).

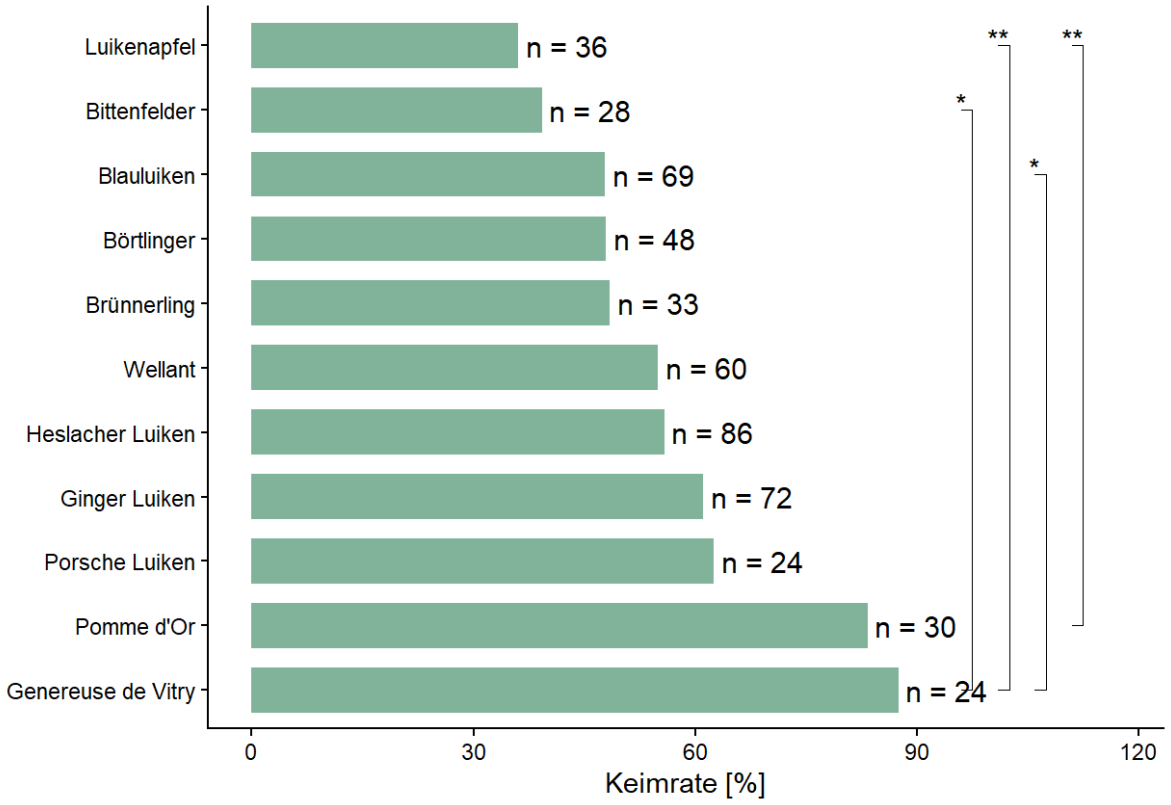

Abbildung 26: Keimraten (%) und Anzahl ausgesäte Samen der einzelnen Sorten. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Der paarweise Fisher-Test mit Bonferroni Korrektur zeigt zwischen folgenden Sortenpaaren signifikante Unterschiede in der Keimrate (Vgl. Tabelle A.4.2):

- Bittenfelder und. Genereuse de Vitry ($p < 0,05$)
- Genereuse de Vitry und Luikenapfel ($p < 0,05$)
- Genereuse de Vitry und Blauluiken ($p < 0,05$)
- Luikenapfel und Pomme d'Or ($p < 0,05$)

Zur Untersuchung des Einflusses der Sorte auf die Keimwahrscheinlichkeit der Apfelsamen wird Bittenfelder als Referenzsorte herangezogen. Im Vergleich zur Referenzsorte Bittenfelder zeigt Genereuse de Vitry eine etwa 10-fach erhöhte

Keimchance (95%-Konfidenzintervall: 2,28–66,8; p < 0,001) und weist somit eine signifikant höhere Keimwahrscheinlichkeit auf (Abbildung 27). Ebenso zeigt Pomme d'Or gegenüber der Referenzsorte Bittenfelder eine etwa siebenfach erhöhte Keimchance (95 %-KI: 2,00–32,7; p < 0,001) (Abbildung 27). Alle weiteren untersuchten Sorten weisen Keimchancen auf, die von nahezu gleich hoch (Luikenapfel, 0,9-fach) bis zu etwa 2,5-mal so hoch (Porsche Luiken) wie bei der Referenzsorte Bittenfelder reichen. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant (Abbildung 27).

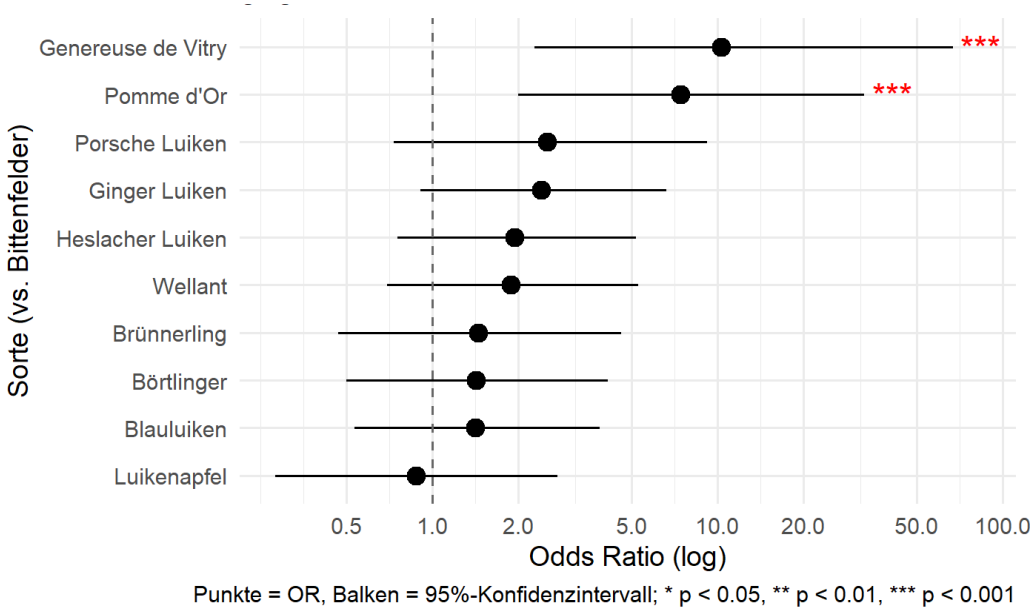

Abbildung 27: Chancenverhältnisse der Keimungen je Apfelsorte (logarithmische Skala, Referenz: Bittenfelder).

3.2.2 Wuchshöhe der gekeimten Sämlinge

Die gemessenen Wuchshöhen unterscheiden sich zwischen und innerhalb der Sorten. Die durchschnittlich höchsten Zuwächse erlangen Bittenfelder-Sämlinge mit 41,9 ± 5,31 cm, während Brünnerling am unteren Rand der Wuchsleistungen rangiert mit nur durchschnittlich 18 ± 11,7 cm (Abbildung 28). Mittlere Wuchshöhen im Bereich von durchschnittlich etwa 30 cm weisen die Sorten Ginger Luiken (30,9 ± 2,62), Pomme d´Or (30,1 ± 2,42), Genereuse de Vitry (29,9 ± 2,79) und Wellant (33,2 ± 1,97) auf.

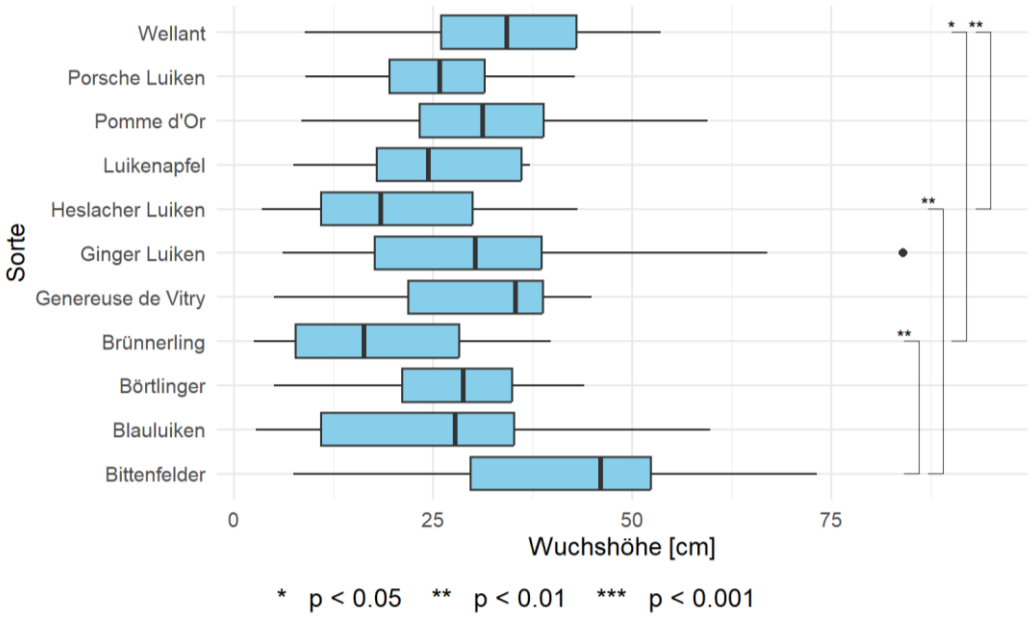

Abbildung 28: Boxplot Wuchshöhen (cm) der gekeimten Apfelsamen nach Sorte.

Nach Anwendung des Dunn-Test mit Bonferroni Korrektur (Tabelle A.4.6) zeigen folgende Sortenpaare einen signifikanten Unterschied in der Wuchshöhe:

- Bittenfelder und Brünnerling ($p < 0{,}01$)
- Bittenfelder und Heslacher Luiken ($p < 0{,}01$)
- Brünnerling und Wellant ($p < 0{,}05$)
- Heslacher Luiken und Wellant ($p < 0{,}001$)

Die Korrelation zwischen mittlerer Keimrate und Wuchshöhe (Spermann-Rangkorrelation) zeigt einen schwachen positiven, aber nicht statistisch signifikanten Zusammenhang (Spearman's rho = 0,073) (Abbildung 29). Bittenfelder erreicht die größte Wuchshöhe, bleibt aber bei der Keimrate am unteren Ende (Abbildung 29). Brünnerling und Heslacher Luiken bilden die Gruppe mit der geringsten Wuchshöhe, obwohl ihre Keimraten im mittleren Bereich liegen. Sorten wie Wellant und Ginger Luiken erreichen trotz mittlerer Keimraten überdurchschnittliche Wuchshöhen. Dagegen liegen Pomme d'Or und Genereuse de Vitry mit den höchsten Keimraten im Mittelfeld der Wuchshöhenwerte. Es besteht somit kein Zusammenhang zwischen der Keimrate und dem durchschnittlichen Wachstum der Sämlinge bei den untersuchten Apfelsorten (Abbildung 29).

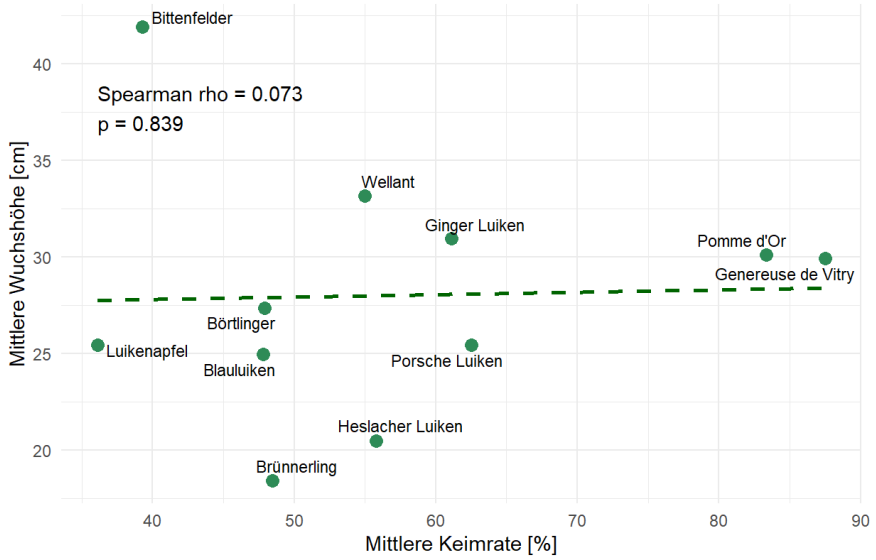

Abbildung 29: Zusammenhang zwischen mittlerer Keimrate (%) und Wuchshöhe (cm) je Apfelsorte (Scatterplot).

4 Diskussion

4.1 Sorteneffekte bei der vegetativen und generativen Vermehrung

Die Ergebnisse zur vegetativen Vermehrung belegen sortenspezifische Unterschiede in der Bewurzelungsrate, gleichzeitig sind manche Sortenpaare statistisch nicht unterscheidbar. Genotypische Unterschiede und sortenspezifische physiologische Eigenschaften könnten als Ursachen für den unterschiedlichen Bewurzelungserfolg der Apfelsorten gewirkt haben. Die Festigkeit des äußeren Stammgewebes kann sortenspezifisch unterschiedlich sein und mechanische Barrieren darstellen, welche das Wurzelaustreiben verhindern (Wamhoff et al., 2024). Somit kann es bei manchen Sorten zu sehr geringem Bewurzelungserfolg kommen und keine Sortenunterschiede nachgewiesen werden (Kemmer and Kirchhoff, 1952); oder zu teilweise höheren Erfolgsquoten, die je nach Sorte erheblich variieren (Suriyapananont, 1990). Diese Sortenunterschiede werden auch bei weiteren Obstgehölzen wie Mangos bestätigt (Fumuro, 2011). Die zum Teil niedrigen Bewurzelungsraten beim Abmoosen, wie sie auch bei Kemmer and Kirchhoff (1952) festgestellt wurden, können neben den bereits genannten möglichen Einflussfaktoren auch von der Astdicke beeinflusst werden. Einjährige und zweijährige Triebe könnten hierbei unterschiedlich anfällig für Vitalitätsverlust und Bruch sein, aufgrund des unterschiedlichen physiologischen Zustandes (Carmona et al., 2022). Dies wäre ein geeigneter Ansatzpunkt für zukünftige Versuche, um den Einfluss des Triebalters systematisch zu untersuchen. Ebenfalls könnte sich ein verlängerter Versuchszeitraum positiv auf die Bewurzelung auswirken, was ebenfalls interessante Ansätze für neue Studien bringt.

Hinsichtlich der generativen Vermehrung fallen die Keimraten zwischen den Sorten zum Teil ähnlich, aber auch stark unterschiedlich aus. Neben genotypischen Unterschieden könnten auch Faktoren wie die morphologische Sameneigenschaften die Keimrate beeinflussen. Fornah et al. (2017) berichten von einer positiven Korrelationen zwischen der Samengröße und Keimrate bei einer tropischen Baumart (*Gmelina arborea*), wohingegen Tumpa et al. (2021) keinen vergleichbaren Zusammenhang bei Edelkastanien feststellen konnten. Diese gegensätzlichen Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass der Einfluss der Samengröße arten- bzw. studienabhängig ist. Ein Ansatz für zukünftige Untersuchungen wäre daher zu prüfen, ob ein solcher Effekt auch bei Apfelsorten nachgewiesen werden kann. Des Weiteren bringen diploide Sorten häufiger vitale und keimfähige Samen hervor (Larsen and

Tung, 1950), sodass der Ploidiegrad die Keimrate beeinflusst haben könnte. Genereuse de Vitry und Pomme d'Or sind diploid (Gleißner, 2023) und zeigen entsprechend sehr hohe Keimraten. Dass jedoch auch die ebenfalls diploide Sorte Bittenfelder (Gleißner, 2023) eine ungewöhnlich geringe Keimrate aufweist, verdeutlicht, dass der Ploidiegrad allein nicht als zuverlässiger Variable für die Keimfähigkeit dient. Die stark variierenden Keimraten, wie sie auch bei Militaru et al. (2009) und Lewandowski and Żurawicz (2009) festgestellt wurden, weisen daher auf multifaktorielle Ursachen hin, welche weiter untersucht werden müssen.

Ebenso wie auf die Keimrate können morphologische Sameneigenschaften auch Auswirkungen auf das frühe Höhenwachstum haben (Tumpa et al., 2021), wie auch genotypischen Eigenschaften und hormonelle Zusammensetzungen in Samen (Nambara et al., 2010). Allerdings schränkt der in diesem Versuch nicht systematisch erfasste Keimzeitpunkt die Interpretation dieser Ergebnisse stark ein, da ein früherer Keimbeginn einen relevanten Wachstumsvorteil verursacht. Die Aussagekraft dieser Daten ist daher methodisch begrenzt.

Die erste Forschungsfrage wurde somit beantwortet und die dazugehörige Hypothese konnte bestätigt werden.

4.2 Wirkung von Weidenwasser

Die Bewässerung mit Weidenwasser wirkt sich tendenziell positiv auf die Bewurzelungsrate der getesteten Sorten aus, der Effekt ist jedoch nicht signifikant und fällt je nach Sorte unterschiedlich stark aus. Die Wirkung von Weidenwasser auf die Bewurzelung könnte von einem sortenspezifischen Konzentrationsoptimum beeinflusst werden. Sowohl zu hohe als auch zu niedrige Konzentrationen können die Bewurzelung hemmen oder fördern (Dong et al., 2020). Eine minimal differenzierte Bewässerungshäufigkeit der Abmooskugeln mit Weidenwasser könnte somit bereits zu veränderten Ergebnissen führen, wie es auch Rehman et al. (2018) bei der Einwirkzeit von Weidenwasser bei Apfelstecklingen festgestellt hat. Dies gibt Hinweise auf sortenspezifische Konzentrationsoptima und Sensitivität und kann die unterschiedlich starke Wirkung von Weidenwasser je nach Sorte erklären (Loconsole et al., 2022). Kocher et al. (2024) konnten des Weiteren feststellen, dass die Gehalte an Auxin und Salicylsäure in den Trieben der Weide innerhalb des Jahres variieren und somit je nach Erntemonat der Weidentrieb die Bewurzelungsrate von Brombeerstecklingen unterschiedlich stark beeinflussen. Beide Studien (Rehman et

al., 2018; Kocher et al., 2024) weisen erhöhte Bewurzelungsraten durch Weidenwasser auf, sodass diese Anwendungsmethode, trotz einer nicht signifikant höheren Bewurzelungsrate, großes Potenzial bietet.

Die zweite aufgestellte Hypothese kann durch den fehlenden signifikanten Unterschied nicht bestätigt werden. Aufgrund der geringen Wurzelmasse der Abmoosproben war eine Analyse der Wurzelbilder nicht möglich, sodass die Forschungsfrage in diesem Teil nicht beantwortet werden kann.

4.3 Vergleich Abmoosen und Aussaat

Ein direkter quantitativer Vergleich der Erfolgsraten beider Vermehrungsmethoden wird durch die unterschiedlichen Stichprobengrößen erschwert. Zudem zeigen die in Kapitel 4.1 beschriebene Sorteneffekte, dass sowohl Bewurzelungs- als auch Keimraten stark von der verwendeten Sorte abhängen. Die entsprechende Hypothese (Aussaat ist grundsätzlich erfolgreicher als das Abmoosen) kann daher nicht pauschal bestätigt werden. Für einen aussagekräftigen Vergleich müssten zunächst weitere Einflussfaktoren, etwa das Wurzelbild oder zusätzliche Sorten, untersucht werden. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass beide Vermehrungsmethoden grundsätzlich unterschiedliche Intentionen und Voraussetzungen aufweisen: Während die Aussaat genetisch vielfältige Nachkommen hervorbringt, erzeugt das Abmoosen genetisch identische Klone. An dieser Stelle knüpft das folgende Kapitel 4.4 („Praxisrelevanz“) an, indem die Bedeutung der Ergebnisse für den Streuobstbau sowie die praktische Umsetzbarkeit der Methoden diskutiert werden und damit die Aussage der dritten Hypothese reflektiert wird.

4.4 Praxisrelevanz

Die Arbeit liefert für den praktischen Obstbau, insbesondere im Streuobstbereich und für erhaltungs- sowie züchterisch orientierte Projekte, wertvolle Erkenntnisse zu Vermehrungsmethoden. Die vegetative Vermehrung durch Abmoosen bietet sich für Praktiker an, die gezielt sortenreine, wurzelechte Jungbäume erzeugen möchten, zum Beispiel im Kontext seltener und regionaltypischer Sorten. Ein Vorteil ist der geringe technische Anspruch und die Möglichkeit, wertvolle oder historische Bäume wurzelecht zu vervielfältigen (Tabelle 4). Zudem weist die Methode gegenüber der generativen Vermehrung einen schnelleren Ertragsbeginn auf, aufgrund der verkürzten Jugendphase (Goldschmidt, 2013).

Dem stehen allerdings Herausforderungen gegenüber. Abmoosen ist zeit- und arbeitsintensiv, insbesondere hinsichtlich der Vorbereitung und Anbringung der Abmooskugeln an geeigneten Ästen sowie der anschließenden regelmäßigen Bewässerung. In der Praxis wird die Wirtschaftlichkeit dadurch begrenzt, sodass sich die Methode vorrangig für Einzelbäume oder für die Erhaltung wertvoller Individuen eignet, weniger jedoch für großflächige Anwendung. Ökologische Aspekte verdienen ebenfalls Beachtung, insbesondere bei der Nutzung torfhaltiger oder nicht nachhaltig produzierter Substrate. Alternativen wie torffreie Holzfaser- oder Kompostmischungen bieten hier Potenzial, erfordern jedoch eigene Praxistests. Erste Hinweise auf mögliche positive Effekte von Weidenwasser auf die Bewurzelung sind vielversprechend, angesichts der fehlenden analytischen Analyse und statistischen Signifikanz besteht hier jedoch weiterer Forschungsbedarf. Dass eine direkte Übertragung von Krankheiten des Mutterbaums an den abgemoosten Trieb übergehen, stellt eine weitere Herausforderung des Abmoosens dar (Goldschmidt, 2013).

Die generative Aussaat ermöglicht hingegen eine einfache Erzeugung großer Stückzahlen genetisch variabler Jungpflanzen und ist insbesondere für Unterlagengewinnung, Biodiversitätsprojekte und Züchtungsfragestellungen geeignet. Die beobachteten Sortenunterschiede in Keimrate können als erste Hinweise auf die Etablierungsfähigkeit und Eignung bestimmter Sorten dienen. Die Wuchshöhe der Sämlinge liefert zudem Anhaltspunkte für frühes Wachstumspotenzial und Vitalität. Für eine sortenreine Reproduktion ist die Methode aufgrund genetischer Durchmischung, hoher phänotypischer Variabilität jedoch ungeeignet und weist zudem eine lange juvenilen Phase auf (Goldschmidt, 2013). In praktischen Freilandversuchen kommen weitere Herausforderungen, wie erhöhter Fraßdruck, variable Feuchtigkeit oder Spätfrost hinzu, die im Gewächshaus nicht abgebildet wurden (Tabelle 4).

Beide Methoden zeigen spezifische Stärken und Einschränkungen, deren Relevanz abhängig vom jeweiligen Vermehrungsziel unterschiedlich zu bewerten ist. Eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf andere Regionen oder Jahre ist aufgrund der standort- und jahresabhängigen Einflussfaktoren begrenzt. Für praktische Anwendungen sollten daher regionale Erfahrungswerte, klimatische Veränderungen sowie langfristige Beobachtungen einbezogen werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern damit eine wertvolle, aber vorläufige Grundlage für Entscheidungshilfen in der

Praxis und können als Ausgangspunkt für weiterführende, mehrjährige Versuche dienen.

Tabelle 4: Vor- und Nachteile der vegetativen (Abmoosen) und generativen (Aussaaten) Vermehrungsmethoden

	Abmoosen	**Aussaaten**
Vorteile	- Erhalt sortenechter Eigenschaften - Geringer technischer Anspruch - Wurzelechte Bäume - Geringere Gefahr durch Prädatoren - Früherer Ertragsbeginn	- Förderung genetischer Vielfalt - Geringer Arbeitsaufwand - Unterlagengewinnung - Hohe Stückzahl mit geringem Zusatzaufwand - Selektion und Züchtung neuer Genotypen möglich - Kostengünstig bei großen Stückzahlen
Nachteile	- Hoher Arbeits- und Kontrollaufwand (Bewässerung) - Sortenabhängige Bewurzelungsraten - Standort- und witterungsabhängig - Hohe Verlustquote (Kallusbildung, Vitalitätsverluste) - Direkte Übertragung von Krankheiten	- Keine Sortenechtheit - Hohe phänotypische Variabilität, unvorhersehbare Eigenschaften - Fraßdruck durch Nagetiere und Wildverbiss (Freiland) - Lange Jugendphase bis Ertragsbeginn - Zeitaufwendige Samenaufbereitung (Stratifikation)

Quellen: Goldschmidt (2013)

4.5 Stärken und Limitationen

Das kombinierte Versuchsdesign aus Abmoosen unter Freilandbedingungen und Aussaat in kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus erlaubt einen praxisnahen Vergleich beider Methoden. Die Durchführung des Abmoosens im Freiland erhöht die Übertragbarkeit auf reale Anbausituationen, da natürliche Umweltvariationen, Baumvitalität und standortspezifische Einflüsse direkt wirksam werden. Die kontinuierliche und detaillierte Erfassung der Klimadaten über den gesamten Versuchszeitraum schafft eine belastbare Datengrundlage für witterungsbezogene Einordnungen. Das multifaktorielle Design des Abmoosversuchs, insbesondere der Einbezug zweier Bewässerungsvarianten, erhöht die Relevanz für praktische Anwendungen und erlaubt erste Hinweise auf sortenspezifische Reaktionen.

Die Aussagekraft der Ergebnisse wird jedoch durch mehrere Limitationen eingeschränkt. Der Stichprobenumfang beim Abmoosen war für statistische Vergleiche ausreichend, jedoch wäre bei der Betrachtung einzelner Variablen (Bewässerung: N = 30) ein größerer Stichprobenumfang aussagekräftiger. Es fehlt zudem eine vollständige Dokumentation von Einflussparametern, wie die exakte Kugelposition (Himmelsrichtung, Höhenlage, Belichtungsgrad), Aststärke, das Internodienalter oder die Unterschiede zwischen Reihen und Einzelbäumen. Dadurch können Kovariablen nicht berücksichtigt werden, was die Möglichkeit von kausalen Schlussfolgerungen einschränkt. Die festgestellten Krankheiten der Versuchsbäume wurden ausschließlich visuell erfasst. Ohne laborbasierte Diagnostik oder Bodenanalysen bleibt unklar, in welchem Umfang pathogene Belastung, Nährstoffversorgung oder physiologische Stressfaktoren das Bewurzelungsverhalten beeinflusst haben. Der Bewässerungseinfluss durch Weidenwasser bleibt ebenfalls unspezifisch, da keine analytische Bestimmung der Inhaltsstoffe erfolgte.

Die Auswertung beschränkte sich beim Abmoosen auf eine Endpunktkontrolle, Zwischenbewertungen (Bewurzelungszeitpunkt oder Kallusbildung) fehlten. Die ursprünglich geplante qualitative Analyse der Wurzelsysteme konnte wegen geringer Wurzelmasse und Zerstörungsrisiko nicht durchgeführt werden, sodass für die Beurteilung des Abmoosens ein zentraler Parameter entfällt.

Hinsichtlich der Aussaaten wurden individuelle Keimungszeitpunkte nicht erhoben, was Interpretationen zur Keimdynamik und Wachstumsentwicklung einschränkt. Sortenvergleiche werden zusätzlich durch schwankende Stichprobengrößen und unterschiedliche Aussaatmengen erschwert. Die kontrollierten Gewächshausbedingungen minimieren zwar äußere Stressfaktoren, reduzieren aber gleichzeitig die Übertragbarkeit auf Freilandbedingungen, insbesondere im Hinblick auf klimatische Stressoren oder variierende Bodenfeuchten.

Schließlich ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse nur auf einem Versuchsjahr basieren. Dadurch können saisonale Schwankungen, Extremwetterereignisse oder langfristige klimatische Variabilität nicht berücksichtigt werden. Typische Ertragseinflüsse des Obstbaus, wie Hitze- und Trockenperioden oder Spätfrostereignisse, beeinflussen Bewurzelungs- und Keimprozesse erheblich (Raut et al., 2022) und könnten in anderen Jahren zu abweichenden Resultaten führen. Auch die sortenspezifische Aussagekraft ist begrenzt, da die Ergebnisse nur für die getesteten Sorten gelten und nicht kausal auf andere Apfelsorten übertragbar sind.

Insgesamt sind die Ergebnisse daher als explorative Hinweise zu werten, während kausale Aussagen oder generelle Empfehlungen nur mit Vorsicht möglich sind.

4.6 Fazit

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sowohl Bewurzelungs- als auch Keimrate beim Apfel (*Malus domestica*) stark von der verwendeten Sorte abhängen. Die Bewässerung mit Weidenwasser zeigte im eigenen Versuch einen tendenziellen, jedoch nicht signifikanten Anstieg der Bewurzelungsrate mit unterschiedlichen Effekten je Sorte. Die Literatur weist ebenfalls potenziell positive Effekte auf (Rehman et al., 2018; Kocher et al., 2024), weshalb weitere Untersuchungen durchgeführt werden sollten.

Für die Praxis ergibt sich, dass das Abmoosen zur Erhaltung vereinzelter sortenechter Bäume geeignet ist, während die Aussaat eine effiziente Methode zur Erzeugung großer genetischer Vielfalt darstellt. Offene Fragen betreffen insbesondere die genaue Wirkung von Weidenwasser auf verschiedene Apfelsorten beim Abmoosen, die Beurteilung der Wurzelsysteme beim Abmoosen und bei Aussaaten sowie den Einfluss von Sameneigenschaften auf die Keimrate und Triebalter auf die Bewurzelungsrate.

4.7 Ausblick

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit ergeben sich mehrere Ansatzpunkte für zukünftige Untersuchungen. Methodisch wären präzisere Erfassungen von Kovariablen wie Aststärke, Internodienalter, Belichtung, Himmelsrichtung sowie eine analytische Charakterisierung der Weidenwasserinhaltsstoffe sinnvoll, um kausale Zusammenhänge besser identifizieren zu können. Besonders zum Einsatz von Weidenwasser besteht weiterer Forschungsbedarf, da die hohe Empfindlichkeit gegenüber Konzentration, Herstellungsmethode und Expositionsdauer darauf hindeutet, dass nur eng definierte Parameter zu positiven Effekten führen. Künftige Studien sollten zudem über mehrere Jahre und in unterschiedlichen Regionen durchgeführt werden, um jahres- und standortspezifische Einflüsse auf Bewurzelungs- und Keimprozesse systematisch zu erfassen. Offene Fragen bestehen weiterhin zu den Ursachen sortenspezifischer Bewurzelungs- und Keimraten sowie zum Zusammenhang zwischen Samenmorphologie und Keimfähigkeit.

Schwerpunkte zukünftiger Abmoos-Arbeiten könnten in der Erweiterung des Versuchsdesigns liegen, etwa durch Versuche mit weiteren Apfelsorten, Zwischenbewertungen der Wurzelentwicklung, Bewertung des Wurzelsystems sowie dem Einsatz verschiedener Substratvarianten. Für die Aussaat sollten Keimungszeitpunkte standardisiert erhoben und Samenmerkmale (Gewicht, Größe, Füllgrad) erfasst werden, um Zusammenhänge zwischen Morphologie und Etablierungspotenzial aufzuklären.

Die in dieser Arbeit erzeugten Apfelsämlinge werden durch den Pomologenverein im kommenden Jahr im Freiland ausgepflanzt (je zwei pro Sorte), wodurch längerfristige Beobachtungen zu Wachstum, Vitalität und Überlebensrate möglich werden. Langfristig können solche Arbeiten dazu beitragen, sowohl praxisnahe Empfehlungen für die Streuobstvermehrung als auch grundlegende Erkenntnisse zur sortenspezifischen Biologie des Apfels zu verbessern.

5 Literaturverzeichnis

Agrarmeteorologie Baden-Württemberg (2025). *Wetterstation Hohenheim: Monatswerte*. Accessed November 21, 2025, https://www.wetter-bw.de/Internet/AM/NotesBwAM.nsf/bwweb/85f6baa2d299db4ac1257ca7003d9ab9?OpenDocument&TableRow=3.1.1,3.5#3.1.

Albrecht, U., Bordas, M., Lamb, B., Meyering, B., and Boeman, K. (2017). Influence of Propagation MEthod on Root Architecture an Other Traits of Young Citrus Rootstock Plants. *HortScience*, 1569–1576. doi: 10.21273/HORTSCI12320-17

Atucha, A. (2025). *Understanding and Preventing Southwest Injury (Sunscald) in Young Trees*. Wisconsin.

Bai, T., Dong, Z., Zheng, X., Song, S., Jiao, J., Wang, M., et al. (2020). Auxin and Its Interaction With Ethylene Control Adventitious Root Formation and Development in Apple Rootstock. *Front. Plant Sci.* 11, 574881. doi: 10.3389/fpls.2020.574881

Bodner, G., Mouhannad Alsalem, Hans-Peter Kaul, Jakub Jez, and Boris Rewald, eds (2017). *Moderne Methoden der Pflanzen-Phänotypisierung als Chance besserer Stressresistenz: Modern methods of plant phenotyping for better stress resistance*.

Bosch, H.-T., and Mayr, U. (2022). *Unterscheidung und Beschreibung verschiedener Luikensorten*.

BSA Bundessortenamt (2003). *Beschreibende Sortenliste Kernobst Apfel, Birne*. Hannover.

Buti, M., Sargent, D. J., Bianco, L., Magnago, P., Velasco, R., and Colgang, R. J. (2018). *A study of gene expression changes at the Bp-2 locus associated with bitter pit symptom expression in apple (Malus pumila)*.

Carmona, R., Oliveira Júnior, A. A. de, Ferreira, D. F. N., Da Costa, T. E., Carvalho Júnior, L. C., and Gonçalves, H. M. (2022). Air layering in Caryocar brasiliense - effect of stem diameter. *Cienc. Rural* 52. doi: 10.1590/0103-8478cr20201040

Deniau, M., Bonafos, R., Chovelon, M., Parvaud, C., Furet, A., Bertrand, C., et al. (2019). Willow Extract (Salix cortex), a Basic Substance of Agronomical Interests. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 408–418. doi: 10.23910/ijbsm%2F2019.10.4.2009

Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz (abgerufen: 2025). *Sorten - Unterlagen: Apfel*. Accessed June 18, 2025, https://www.obstbau.rlp.de/Obstbau/Sorten-Unterlagen/Sorten

Dong, C.-J., Liu, X.-Y., Wang, L.-L., and Shang, Q.-M. (2020). Salicylic acid regulates adventitious root formation via competitive inhibition of the auxin conjugation enzyme CsGH3.5 in cucumber hypocotyls. *Planta - An International Journal of Plant Biology*, 75–90. doi: 10.1007/s00425-020-03467-2

Fornah, Y., Mattia, S., Otesile, A., and Kamara, E. (2017). Effects of Provenance and Seed Size on Germination, Seedling Growth and Physiological Traits of Gmelina arborea, Roxb. *International Journal of Agriculture and Dorestry*, 28–34. doi: 10.5923/j.ijaf.20170701.05

Fumuro, M. (2011). Effect of Several Factors on Rooting and Cultivar Differences in Rooting Abilities of Air-layered Mango. *園学研.* 10, 451–459. doi: 10.2503/hrj.10.451

Gaudig, G. (2001). *Sphagnum als nachwachsender Rohstoff: Etablierung von Sphagnen - Optimierung der Wuchsbedingungen*. Stand der Forschungen. Greifswald: Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

Gleißner, C. (2023). *Empfehlung zu Apfelsorten für Cidre*. Accessed 22.11.25, https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/weinbau/dateien/cidre_sorten_apfel_glei%C3%9Fner.pdf

Goldschmidt, E. (2013). *The Evolution of Fruit Tree Productivity: A Review*. Accessed November 25, 2025, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3606516

Guerra, W. (2009). Versuchsergebnisse zu den Clubsorten CIVG198/Modì®, Nicoter/Kanzi® und Scifresh/Jazz®. *Obstbau Weinbau*, 1–10.

Gujas, B., Alonso-Blanco, C., and Hardtke, C. S. (2012). Natural Arabidopsis brx loss-of-function alleles confer root adaptation to acidic soil. *Curr Biol* 22, 1962–1968. doi: 10.1016/j.cub.2012.08.026

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies Jr, F., and Geneve, R. L. (2011). *Plant Propagation: Principles and Practices*. Prentice Hall, Boston (Pearson Education, Inc.).

Höller, I., and Guerra, W. (2020). *Perspektiven für Apfelunterlagen*.

Kaiser, B. (2013). *Die Gattung Sphagnum (Torfmoose): Eine Einführung in die Bestimmung häufigerer Arten*. Bonn.

Kemmer, E., and Kirchhoff, R.-H. (1952). Über die autovegetative Vermehrung von Apfelsorten. *Der Züchter*, 289–298.

Klopotek, Y., Haensch, K.-T., Hause, B., Hajirezaei, M., and Druege, U. (2010). Dark exposure of petunia cuttings strongly improves adventitious root formation and enhances carbohydrate

availability during rooting in the light. *Journal of Plant Physiology*, 547–554. doi: 10.1016/j.jplph.2009.11.008
Kocher, S. O., Aram Akram, M., and Brahim, N. M. (2024). Rooting of thornless blackberry cuttings as induced by the extract of white willow (Salix alba L.) shoots collected in different times. *Kirkuk University Journal for Agricultural*, 170–181. doi: 10.58928/kujas.2024.147482.1138
Larsen, P., and Tung, S. M. (1950). Growth-Promoting and Growth-Retarding Substances in Pollen from Diploid and Triploid Apple Varieties. *Botanical Gazette* 111, 436–447. doi: 10.1086/335614
Lee, D.-H., Back, C.-G., Win, N. K. K., Choi, K.-H., Kim, K.-M., Kang, I.-K., et al. (2011). Biological Characterization of Marssonina coronaria Associated with Apple Blotch Disease. *Mycobiology* 39, 200–205. doi: 10.5941/MYCO.2011.39.3.200
Lesemann, S., and Dunemann, F. (2006). Neue Erkenntnisse zur Biodiversität des Apfelmehltau-Erregers. *Gesunde Pflanzen* 58, 117–123. doi: 10.1007/s10343-005-0108-5
Lewandowski, M., and Żurawicz, E. (2009). THE INFLUENCE OF GENOTYPE ON GERMINATION OF APPLE SEEDS. *Acta Hortic*, 429–432. doi: 10.17660/ActaHortic.2009.814.72
Ligarreto-Moreno, G., Torres-Aponte, W. S., and Ariza-Castillo, C. A. (2013). Propagation of the neotropical fruit Vacciniummeridionale Swartz by air layering. *Agronomía Colombiana*, 169–175. doi: 10.21273/HORTSCI.40.5.1194
Loconsole, D., Cristiano, G., and Lucia, B. de (2022). Image Analysis of Adventitious Root Quality in Wild Sage and Glossy Abelia Cuttings after Application of Different Indole-3-Butyric Acid Concentrations. *Plants* 11, 290. doi: 10.3390/plants11030290
Messenger, A. S. (1976). Root Competition: Grass Effects on Trees. *AUF* 2, 228–230. doi: 10.48044/jauf.1976.057
Metzger, J. (1847). *Die Kernobstsorten des südlichen Deutschlands: nach der angestellten Untersuchungen der wandernden Gesellschaft der Wein-und Obstproduzenten, vom Jahr 1839 bis 1846*. Brönner.
Militaru, M., Braniste, N., and Butac, M., Sestras, A. (2009). Study of genitors influence on apple seeds germination within the cross combinations. *Agricultural and Food Sciences*. doi: 10.15835/buasvmcn-hort:3790
Milyaev, A., Born, U., Sprich, E., Hagemann, M., Flachowsky, H., and Luedeling, E. (2024). *Identifying indicators of apple bud dormancy status by exposure to artificial forcing conditions*.
Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (2020). Apfelland Brandenburg: 2. Auflage. *Land Brandenburg*, 24.
Nambara, E., Okamoto, M., Tatematsu, K., Yano, R., Seo, M., and Kamiya, Y. (2010). Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination. *Seed Sci. Res.* 20, 55–67. doi: 10.1017/S0960258510000012
Negri, I., Barreiro, P., Cockel, C., and Chapman, T. (2025). Factors affecting the vegetative propagation of ash (Fraxinus excelsior L.) from semi-hardwood and hardwood cuttings. *New Forests*, 2–23.
Neuhäuser, M., and Ruxton, G. D. (2025). The Choice Between Pearson's χ2 Test and Fisher's Exact Test for 2 × 2 Tables. *Pharmaceutical Statistics* 24, e70012. doi: 10.1002/pst.70012
Nichelmann, L. (2014). *Lichtschutzfunktion von Anthocyanen in Blättern Höherer Pflanzen: Abschirmung und antioxidative Wirkung*. Kiel.
Nierhaus-Wunderwald, D. (1998). *Biologie und natürliche Regulation von Gespinstmotten*. Birmensdorf.
Nierhaus-Wunderwald, D., and Lawrenz, P. (1997). *Zur Biologie der Mistel*.
Raut, U. A., Gawande, P., Bharaf S. G., and Nagre, P. K. (2022). Effect of IBA Concentration and Time of Air layering in Guava. *Annals of Plant Science*, 4802–4808. doi: 10.21746/aps.2022.11.2.12
Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2024). *n57 - Braunerde, Braunerde-Parabraunerde und Parabraunerde aus Sandstein führenden, oft lösslehmhaltigen Fließerden über Angulatensandstein*.
Rehman, A., Khan, M., Zakaria, S., Malik, A., and Shahid, M. (2018). To Study the Effect of Willow Extract on Apple Cuttings for Different Time Duration. *Journal of biology, agriculture an healthcare*.
Rita, H., and Komonen, A. (2008). Odds Ratio: An Ecologically Sound Tool to Compare Proportions. *anzf* 45, 66–72. doi: 10.5735/086.045.0106
Rühmer, T. (2019). Kanzi der geheime Schatz. *Haidegger Perspektiven*, 4–5.
Schober, P., Boer, C., and Schwarte, L. A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia and analgesia* 126, 1763–1768. doi: 10.1213/ANE.0000000000002864
Schöne, R., and Metzner, S. (2012). *Evaluierung von Sorten zur Optimierung des Tafelapfelanbaus in Sachsen*.
Stalheim, T., Ballance, S., Christensen, B. E., and Granum, P. E. (2009). Sphagnan--a pectin-like polymer isolated from Sphagnum moss can inhibit the growth of some typical food spoilage and

food poisoning bacteria by lowering the pH. *Journal of applied microbiology* 106, 967–976. doi: 10.1111/j.1365-2672.2008.04057.x
Stiftung Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee (2025). *Sortendatenbank Apfel*. Accessed November 01, 2025, https://www.kob-bavendorf.de/sortendatenbank-apfel.html
STIK-Projekt: Universität Hohenheim, and Universität Tübingen (2024). *STIK: Streuobstwiesen im Klimawandel: Transformation hin zu einer resilienten Kulturlandschaftsbewirtschaftung*. Accessed February 02, 2025, https://ecology.uni-hohenheim.de/streuobstwiesen_im_klimawandel
Streif, J., Kittemann, D., and Neuwald, D. A. (2010). Kanzi und Mairac: Wann ernten und wie lagern? Ansprüche neuerer Sorten ans Lagerklima. *Poma*, 9–12.
Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau, ed (2007). *Mairac und Kanzi: Apfelsorten der Zukunft?*
Suriyapananont, V. (1990). Propagation of Apple Rootstocks in THailand: Propagating By Air And Trench Layering Methods. *Acta Hortic*, 261–464. doi: 10.17660/ActaHortic.1990.279.50
Tumpa, K., Vidakovic, A., Drvodelic, D., Sango, M., Idzojtic, M., Perkovic, I., et al. (2021). The Effect of Seed Size on Germination and Seedling Growth in Sweet Chestnut (Castanea sativa Mill.). *Forests*. doi: 10.3390/f12070858
Vietmeier, A. (2019). *Schorf an Apfel und Birne*. Münster.
Wamhoff, D., Gündel Andre, Wagner, Steffen, Ortleb, Stefan, Borisjuk, L., and Winkelmann, T. (2024). Anatomical limitations in adventitious root formation revealed by magnetic resonance imaging, infrared spectroscopy, and histology of rose genotypes with contrasting rooting phenotypes. *Journal of Experimental Botany*. doi: 10.1093/jxb/erae158
Xu, X.-M., and Robinson, J. D. (2000). Epidemiology of brown rot (Monilinia fructigena) on apple: infection of fruits by conidia. *Plant Pathology* 49, 201–206. doi: 10.1046/j.1365-3059.2000.00437.x
Yokawa, K., Fasano, R., Kagenishi, T., and Baluška, F. (2014). Light as stress factor to plant roots - case of root halotropism. *Front Plant Sci* 5, 718. doi: 10.3389/fpls.2014.00718
Yun, F., Liu, H., Deng, Y., Hou, X., and Liao, W. (2023). The Role of Light-Regulated Auxin Signaling in Root Development. *National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information*. doi: 10.3390/ijms24065253

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Versuchsfläche (Apfelbaumreihen). (Luftbild © GisInfoService) 4

Abbildung 2: Apfelbaumreihen auf der Versuchsanlage. (Aufnahme J. Leußer) 5

Abbildung 3: Bodenkundliche Einheiten im Bereich des Versuchsstandortes (Luftbild © GisInfoService) 6

Abbildung 4: Monatliche Niederschlagssumme (mm) und durchschnittliche Lufttemperatur (°C) in 2 m Höhe für die Monate März bis Oktober im Jahr 2025 und langjährigen Mittel der Jahre 2010 bis 2024. (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg) 7

Abbildung 5: Monatliche Summe Sonnenscheindauer (h) und durchschnittliche rel. Luftfeuchtigkeit (%) von März bis Oktober im Jahr 2025 und dem langjährigen Mittel 2010 bis 2024. (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg) 8

Abbildung 6: Monatliche Anzahl Frosttage, Sommertage und Hitzetage von März bis Oktober im Jahr 2025 und langjährigen Mittel 2010 - 2024. Balken links langjähriges Mittel (unschraffiert), Balken rechts 2025 (schraffiert). (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg) 8

Abbildung 7: Monatliche durchschnittliche Bodentemperatur (°C) in 5 cm Tiefe von März bis Oktober im Jahr 2025 und dem langjährigen Mittel 2010 bis 2024. (Darstellung J. Leußer, Daten: Agrarmeteorologie Baden-Württemberg) 9

Abbildung 8: Marssonina-Blattfallkrankheit (hier: Sorte Kanzi). (Aufnahme J. Leußer) 14

Abbildung 9: Monilia Fruchtfäule (Aufnahme J. Leußer) 14

Abbildung 10: Apfelschorf (links: Kanzi; rechts: Topaz). (Aufnahme J. Leußer) 15

Abbildung 11: Echter Apfelmehltau. (Aufnahme J. Leußer) 15

Abbildung 12: Apfelgespinstmotte. (Aufnahme J. Leußer) 16

Abbildung 13: Versuchsaufbau Abmoosen: Verteilung der 180 Abmooskugeln auf die drei Sorten (Topaz, Cameo, Kanzi) und die beiden Bewässerungen (Regenwasser, Weidenwasser). (Darstellung J. Leußer) 18

Abbildung 14: Apfelbaumreihen (Pfeile) mit Abmooskugeln (grün: Cameo, blau: Topaz, gelb: Kanzi). (Luftbild © GisInfoService) 19

Abbildung 15: Aufbau Bewurzelungskugel. (Darstellung J. Leußer) 20

Abbildung 16: Befüllung der Abmooskugeln mit Sphagnum-Moos. 25

Abbildung 17: Einschneiden und Entfernen der Rinde an Apfelbaumtrieben. 26

Abbildung 18: Verschlossene und an Trieben befestigte Abmooskugeln. 27

Abbildung 19: Kallusbildung an der Ringelstelle. 34

Abbildung 20: drei beispielhafte Wurzelbilder der Sorte Topaz bei der Bewässerung mit Regenwasser. 34

Abbildung 21: Beispielhafte Wurzelbilder der Sorte Kanzi bei der Bewässerung mit Weidenwasser. 35

Abbildung 22: Beispielhafte Wurzelbilder der Sorte Cameo bei der Bewässerung mit Regenwasser. 35

Abbildung 23: Bewurzelungsrate (%), Anteil abgestorben (%), Anteil unbewurzelt mit Kallusbildung (%) je Sorte. 36

Abbildung 24: Bewurzelungsparameter (%) je Sorte und Bewässerungsmethode inklusive p-Werten. 37

Abbildung 25: Wurzelbildungsrate (%) je Sorte und Bewässerungsmethode. 38

Abbildung 26: Keimraten (%) und Anzahl ausgesäte Samen der einzelnen Sorten. * p < 0,05, ** p < 0,01 39

Abbildung 27: Chancenverhältnisse der Keimungen je Apfelsorte (logarithmische Skala, Referenz: Bittenfelder). 40

Abbildung 28: Boxplot Wuchshöhen (cm) der gekeimten Apfelsamen nach Sorte. 41

Abbildung 29: Zusammenhang zwischen mittlerer Keimrate (%) und Wuchshöhe (cm) je Apfelsorte (Scatterplot). 42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Herstellungsdaten Weidenwasser 23
Tabelle 2: Bewässerungsdaten während des Versuchszeitraums..... 28
Tabelle 3: Sortenübersicht und Anzahl der ausgesäten Samen 29
Tabelle 4: Vor- und Nachteile der vegetativen (Abmoosen) und generativen (Aussaaten) Vermehrungsmethoden 47

Steckbriefverzeichnis

Steckbrief 1: Sorte Kanzi (Nicoter) 10
Steckbrief 2: Sorte Topaz 11
Steckbrief 3: Sorte Cameo (Caudle) 12

Abkürzungsverzeichnis

k.A.	keine Angabe
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
CA	Controlled Atmosphere
ULO	Ultra Low Oxygen
ROS	reaktive Sauerstoffspezies
IBA	Indol-3-Buttersäure
IAA	Indol-3-Essigsäure
SA	Salicylsäure

6 Anhangsverzeichnis

A.1 Krankheitsbilder der Apfelbäume 60

Abbildung A.1.1: Mistelbewuchs am Stamm. (Aufnahme J. Leußer) 60

Abbildung A.1.2: Dichter Bewuchs am Stamm durch Segge (links) und Ahorn (rechts). (Aufnahme J. Leußer) 60

Abbildung A.1.3: rote Blattfärbung in den Sommermonaten. (Aufnahme J. Leußer) 61

Abbildung A.1.4: Vertikale Rindenrisse- und spalten. (Aufnahme J. Leußer) 61

A.2 verwendete Materialien für das Abmoosen 61

Abbildung A.2.1: Okuliermesser mit Rindenlöser. (https://www.schweizer-taschenmesser.de/Okuliermesser-Kombi-S/3.9040) 61

Abbildung A.2.2: Spritze (20 ml) für die Bewässerung der Abmooskugeln (https://www.hsk-handel.de/80-Stueck-Einmalspritze-20-ml-Spritze-BD-Discardit-II-Luer-Ansatz) 62

A.3 Übersicht Versuchsteil 1: Abmoosen 62

Tabelle A.3.1: Übersicht angebrachte Abmooskugeln 62

A.4 Ergebnisauswertung Versuchsteil 2: generative Vermehrung 67

Tabelle A.4.1: Übersicht ausgesäte, gekeimte, nicht gekeimte Samen sowie Keimrate (%) 67

Tabelle A.4.2: Paarweise statistische Vergleiche der Keimrate bei verschiedenen Apfelsorten: Chi-Quadrat-Test, Fisher-Exakt-Test und G-Test (Rohwerte und adjustierte p-Werte, Bonferroni-Korrektur) 68

Tabelle A.4.3: Odds Ratios (mit 95%-Konfidenzintervallen) für die Wahrscheinlichkeit der Keimung je Apfelsorte (Referenz: Bittenfelder) 70

Tabelle A.4.4: Statistische Kennwerte der Wuchshöhen der gekeimten Apfelsämlinge (Messung am 13. September 2025) 70

Tabelle A.4.5: Testergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung für jede Apfelsorte (p-Wert und Stichprobengröße n) 71

Abbildung A.4.1: QQ-Plot der Wuchshöhe pro Apfelsorte. Die beobachteten Quantile (y-Achse) werden den theoretischen Quantilen der Normalverteilung (x-Achse) gegenübergestellt. (Darstellung J. Leußer) 71

Tabelle A.4.6: Dunn-Test (1964) nach Kruskal-Wallis: Ergebnisse der Paarvergleiche der Apfelsorten nach Wuchshöhe einschließlich der Z-Werte, unadjustierte und Bonferroni-korrigierte p-Werte 72

A.1 Krankheitsbilder der Apfelbäume

Abbildung A.1.1: Mistelbewuchs am Stamm. (Aufnahme J. Leußer)

Abbildung A.1.2: Dichter Bewuchs am Stamm durch Segge (links) und Ahorn (rechts). (Aufnahme J. Leußer)

Abbildung A.1.3: rote Blattfärbung in den Sommermonaten. (Aufnahme J. Leußer)

Abbildung A.1.4: Vertikale Rindenrisse- und spalten. (Aufnahme J. Leußer)

A.2 verwendete Materialien für das Abmoosen

Abbildung A.2.1: Okuliermesser mit Rindenlöser. (https://www.schweizer-taschenmesser.de/Okuliermesser-Kombi-S/3.9040)

Abbildung A.2.2: Spritze (20 ml) für die Bewässerung der Abmooskugeln (https://www.hsk-handel.de/80-Stueck-Einmalspritze-20-ml-Spritze-BD-Discardit-II-Luer-Ansatz)

A.3 Übersicht Versuchsteil 1: Abmoosen

Tabelle A.3.1: Übersicht angebrachte Abmooskugeln

Kugel Nr.	Sorte	Baum Nr.	Anbringungsdatum	Bewässerung	Bemerkung
1	Cameo	1	28.03.2025	REGENWASSER	
2	Cameo	1	28.03.2025	REGENWASSER	
3	Cameo	1	28.03.2025	REGENWASSER	
4	Cameo	1	28.03.2025	REGENWASSER	
5	Cameo	2	28.03.2025	REGENWASSER	
6	Cameo	2	28.03.2025	REGENWASSER	
7	Cameo	2	28.03.2025	REGENWASSER	
8	Cameo	2	28.03.2025	REGENWASSER	
9	Cameo	13	28.03.2025	REGENWASSER	
10	Cameo	13	28.03.2025	REGENWASSER	
11	Cameo	13	28.03.2025	REGENWASSER	
12	Cameo	13	28.03.2025	REGENWASSER	
13	Cameo	15	28.03.2025	REGENWASSER	
14	Cameo	14	28.03.2025	REGENWASSER	
15	Cameo	15	28.03.2025	REGENWASSER	
16	Cameo	17	28.03.2025	REGENWASSER	
17	Cameo	17	28.03.2025	REGENWASSER	
18	Cameo	18	28.03.2025	REGENWASSER	

Tabelle A.3.1: Übersicht angebrachte Abmooskugeln

19	Cameo	18	28.03.2025	REGENWASSER	
20	Cameo	21	28.03.2025	REGENWASSER	
21	Cameo	21	28.03.2025	REGENWASSER	
22	Cameo	23	28.03.2025	REGENWASSER	
23	Cameo	25	28.03.2025	REGENWASSER	
24	Cameo	25	28.03.2025	REGENWASSER	
25	Cameo	33	28.03.2025	REGENWASSER	
26	Cameo	28	28.03.2025	REGENWASSER	
27	Cameo	33	28.03.2025	REGENWASSER	
28	Cameo	32	28.03.2025	REGENWASSER	
29	Cameo	34	28.03.2025	REGENWASSER	
30	Cameo	34	28.03.2025	REGENWASSER	
31	Cameo	1	28.03.2025	WEIDENWASSER	
32	Cameo	3	28.03.2025	WEIDENWASSER	
33	Cameo	4	28.03.2025	WEIDENWASSER	
34	Cameo	5	28.03.2025	WEIDENWASSER	
35	Cameo	7	28.03.2025	WEIDENWASSER	
36	Cameo	7	28.03.2025	WEIDENWASSER	
37	Cameo	8	28.03.2025	WEIDENWASSER	
38	Cameo	8	28.03.2025	WEIDENWASSER	
39	Cameo	8	28.03.2025	WEIDENWASSER	
40	Cameo	9	28.03.2025	WEIDENWASSER	
41	Cameo	9	28.03.2025	WEIDENWASSER	
42	Cameo	9	28.03.2025	WEIDENWASSER	
43	Cameo	10	28.03.2025	WEIDENWASSER	
44	Cameo	11	28.03.2025	WEIDENWASSER	
45	Cameo	11	28.03.2025	WEIDENWASSER	
46	Cameo	14	28.03.2025	WEIDENWASSER	
47	Cameo	14	28.03.2025	WEIDENWASSER	
48	Cameo	19	28.03.2025	WEIDENWASSER	
49	Cameo	19	28.03.2025	WEIDENWASSER	
50	Cameo	19	28.03.2025	WEIDENWASSER	
51	Cameo	20	28.03.2025	WEIDENWASSER	
52	Cameo	20	28.03.2025	WEIDENWASSER	
53	Cameo	21	28.03.2025	WEIDENWASSER	
54	Cameo	21	28.03.2025	WEIDENWASSER	
55	Cameo	21	28.03.2025	WEIDENWASSER	

Tabelle A.3.1: Übersicht angebrachte Abmooskugeln

56	Cameo	21	28.03.2025	WEIDENWASSER	
57	Cameo	22	28.03.2025	WEIDENWASSER	
58	Cameo	22	28.03.2025	WEIDENWASSER	
59	Cameo	22	28.03.2025	WEIDENWASSER	
60	Cameo	22	28.03.2025	WEIDENWASSER	
61	Topaz	1	31.03.2025	REGENWASSER	
62	Topaz	1	31.03.2025	REGENWASSER	
63	Topaz	1	31.03.2025	REGENWASSER	
64	Topaz	2	31.03.2025	REGENWASSER	
65	Topaz	4	31.03.2025	REGENWASSER	
66	Topaz	4	31.03.2025	REGENWASSER	
67	Topaz	4	31.03.2025	REGENWASSER	
68	Topaz	5	31.03.2025	REGENWASSER	
69	Topaz	5	31.03.2025	REGENWASSER	
70	Topaz	5	31.03.2025	REGENWASSER	
71	Topaz	5	31.03.2025	REGENWASSER	
72	Topaz	10	31.03.2025	REGENWASSER	
73	Topaz	11	31.03.2025	REGENWASSER	
74	Topaz	13	31.03.2025	REGENWASSER	
75	Topaz	15	31.03.2025	REGENWASSER	
76	Topaz	17	31.03.2025	REGENWASSER	
77	Topaz	17	31.03.2025	REGENWASSER	
78	Topaz	19	31.03.2025	REGENWASSER	
79	Topaz	21	31.03.2025	REGENWASSER	
80	Topaz	21	31.03.2025	REGENWASSER	
81	Topaz	23	31.03.2025	REGENWASSER	
82	Topaz	23	31.03.2025	REGENWASSER	
83	Topaz	23	31.03.2025	REGENWASSER	
84	Topaz	25	31.03.2025	REGENWASSER	
85	Topaz	26	31.03.2025	REGENWASSER	
86	Topaz	28	31.03.2025	REGENWASSER	
87	Topaz	28	31.03.2025	REGENWASSER	
88	Topaz	29	31.03.2025	REGENWASSER	
89	Topaz	29	31.03.2025	REGENWASSER	
90	Topaz	31	31.03.2025	REGENWASSER	
91	Topaz	1	31.03.2025	WEIDENWASSER	
92	Topaz	2	31.03.2025	WEIDENWASSER	

Tabelle A.3.1: Übersicht angebrachte Abmooskugeln

93	Topaz	3	31.03.2025	WEIDENWASSER	
94	Topaz	1	31.03.2025	WEIDENWASSER	
95	Topaz	1	31.03.2025	WEIDENWASSER	
96	Topaz	6	31.03.2025	WEIDENWASSER	
97	Topaz	6	31.03.2025	WEIDENWASSER	
98	Topaz	6	31.03.2025	WEIDENWASSER	
99	Topaz	6	31.03.2025	WEIDENWASSER	
100	Topaz	6	31.03.2025	WEIDENWASSER	
101	Topaz	7	31.03.2025	WEIDENWASSER	
102	Topaz	7	31.03.2025	WEIDENWASSER	
103	Topaz	7	31.03.2025	WEIDENWASSER	
104	Topaz	8	31.03.2025	WEIDENWASSER	
105	Topaz	8	31.03.2025	WEIDENWASSER	
106	Topaz	10	31.03.2025	WEIDENWASSER	
107	Topaz	10	31.03.2025	WEIDENWASSER	
108	Topaz	10	31.03.2025	WEIDENWASSER	
109	Topaz	10	31.03.2025	WEIDENWASSER	
110	Topaz	11	31.03.2025	WEIDENWASSER	
111	Topaz	12	31.03.2025	WEIDENWASSER	
112	Topaz	13	31.03.2025	WEIDENWASSER	
113	Topaz	14	31.03.2025	WEIDENWASSER	
114	Topaz	14	31.03.2025	WEIDENWASSER	
115	Topaz	15	31.03.2025	WEIDENWASSER	
116	Topaz	16	31.03.2025	WEIDENWASSER	
117	Topaz	16	31.03.2025	WEIDENWASSER	
118	Topaz	18	31.03.2025	WEIDENWASSER	
119	Topaz	20	31.03.2025	WEIDENWASSER	
120	Topaz	20	31.03.2025	WEIDENWASSER	
121	Kanzi	1	02.04.2025	REGENWASSER	
122	Kanzi	2	02.04.2025	REGENWASSER	
123	Kanzi	3	02.04.2025	REGENWASSER	
124	Kanzi	3	02.04.2025	REGENWASSER	
125	Kanzi	4	02.04.2025	REGENWASSER	
126	Kanzi	4	02.04.2025	REGENWASSER	
127	Kanzi	4	02.04.2025	REGENWASSER	
128	Kanzi	5	02.04.2025	REGENWASSER	
129	Kanzi	5	02.04.2025	REGENWASSER	

Tabelle A.3.1: Übersicht angebrachte Abmooskugeln

130	Kanzi	6	02.04.2025	REGENWASSER	
131	Kanzi	6	02.04.2025	REGENWASSER	
132	Kanzi	6	02.04.2025	REGENWASSER	
133	Kanzi	7	02.04.2025	REGENWASSER	
134	Kanzi	7	02.04.2025	REGENWASSER	
135	Kanzi	7	02.04.2025	REGENWASSER	
136	Kanzi	9	02.04.2025	REGENWASSER	
137	Kanzi	9	02.04.2025	REGENWASSER	
138	Kanzi	9	02.04.2025	REGENWASSER	
139	Kanzi	9	02.04.2025	REGENWASSER	
140	Kanzi	10	02.04.2025	REGENWASSER	
141	Kanzi	10	02.04.2025	REGENWASSER	
142	Kanzi	11	02.04.2025	REGENWASSER	
143	Kanzi	11	02.04.2025	REGENWASSER	
144	Kanzi	12	02.04.2025	REGENWASSER	
145	Kanzi	12	02.04.2025	REGENWASSER	
146	Kanzi	13	02.04.2025	REGENWASSER	
147	Kanzi	13	02.04.2025	REGENWASSER	
148	Kanzi	13	02.04.2025	REGENWASSER	
149	Kanzi	14	02.04.2025	REGENWASSER	
150	Kanzi	14	02.04.2025	REGENWASSER	
151	Kanzi	1	02.04.2025	WEIDENWASSER	
152	Kanzi	1	02.04.2025	WEIDENWASSER	
153	Kanzi	1	02.04.2025	WEIDENWASSER	
154	Kanzi	2	02.04.2025	WEIDENWASSER	
155	Kanzi	2	02.04.2025	WEIDENWASSER	
156	Kanzi	2	02.04.2025	WEIDENWASSER	
157	Kanzi	2	02.04.2025	WEIDENWASSER	
158	Kanzi	3	02.04.2025	WEIDENWASSER	
159	Kanzi	3	02.04.2025	WEIDENWASSER	
160	Kanzi	3	02.04.2025	WEIDENWASSER	
161	Kanzi	4	02.04.2025	WEIDENWASSER	
162	Kanzi	4	02.04.2025	WEIDENWASSER	
163	Kanzi	4	02.04.2025	WEIDENWASSER	
164	Kanzi	4	02.04.2025	WEIDENWASSER	
165	Kanzi	4	02.04.2025	WEIDENWASSER	
166	Kanzi	7	02.04.2025	WEIDENWASSER	

Tabelle A.3.1: Übersicht angebrachte Abmooskugeln

167	Kanzi	7	02.04.2025	WEIDENWASSER	
168	Kanzi	7	02.04.2025	WEIDENWASSER	
169	Kanzi	8	02.04.2025	WEIDENWASSER	
170	Kanzi	10	02.04.2025	WEIDENWASSER	
171	Kanzi	10	02.04.2025	WEIDENWASSER	
172	Kanzi	10	02.04.2025	WEIDENWASSER	
173	Kanzi	11	02.04.2025	WEIDENWASSER	
174	Kanzi	11	02.04.2025	WEIDENWASSER	
175	Kanzi	11	02.04.2025	WEIDENWASSER	
176	Kanzi	13	02.04.2025	WEIDENWASSER	
177	Kanzi	14	02.04.2025	WEIDENWASSER	
178	Kanzi	14	02.04.2025	WEIDENWASSER	
179	Kanzi	15	02.04.2025	WEIDENWASSER	
180	Kanzi	15	02.04.2025	WEIDENWASSER	

A.4 Ergebnisauswertung Versuchsteil 2: generative Vermehrung

Tabelle A.4.1*:* Übersicht ausgesäte, gekeimte, nicht gekeimte Samen sowie Keimrate (%)

Sorte	**Ausgesäte Samen**	**Gekeimte Samen**	**Nicht gekeimte Samen**	**Keimrate in %**
Bittenfelder	28	11	17	39,3
Blauluiken	69	33	36	47,8
Börtlinger	48	23	25	47,9
Brünnerling	33	16	17	48,5
Genereuse de Vitry	24	21	3	87,5
Ginger Luiken	72	44	28	61,1
Heslacher Luiken	86	48	38	55,8
Luikenapfel	36	13	23	36,1
Pomme d´Or	30	25	5	83,3
Porsche Luiken	24	15	9	62,5
Wellant	60	33	27	55

Tabelle A.4.2: Paarweise statistische Vergleiche der Keimrate bei verschiedenen Apfelsorten: Chi-Quadrat-Test, Fisher-Exakt-Test und G-Test (Rohwerte und adjustierte p-Werte, Bonferroni-Korrektur)

Comparison	p.Fisher	p.adj.Fisher	p.Gtest	p.adj.Gtest	p.Chisq	p.adj.Chisq
Bittenfelder : Blauluiken	0.504000	1.00000	4.42e-01	1.00000	4.44e-01	1.00000
Bittenfelder : Börtlinger	0.485000	1.00000	4.64e-01	1.00000	4.65e-01	1.00000
Bittenfelder : Brünnerling	0.606000	1.00000	4.70e-01	1.00000	4.71e-01	1.00000
Bittenfelder : Genereuse de Vitry	0.000504	0.02770	2.16e-04	0.01190	3.67e-04	0.02020
Bittenfelder : Ginger Luiken	0.072600	1.00000	4.89e-02	1.00000	4.89e-02	1.00000
Bittenfelder : Heslacher Luiken	0.191000	1.00000	1.28e-01	1.00000	1.28e-01	1.00000
Bittenfelder : Luikenapfel	0.801000	1.00000	7.95e-01	1.00000	7.95e-01	1.00000
Bittenfelder : Pomme d'Or	0.000963	0.05300	4.21e-04	0.02320	5.51e-04	0.03030
Bittenfelder : Porsche Luiken	0.164000	1.00000	9.36e-02	1.00000	9.51e-02	1.00000
Bittenfelder : Wellant	0.252000	1.00000	1.68e-01	1.00000	1.70e-01	1.00000
Blauluiken : Börtlinger	1.000000	1.00000	9.92e-01	1.00000	9.92e-01	1.00000
Blauluiken : Brünnerling	1.000000	1.00000	9.50e-01	1.00000	9.50e-01	1.00000
Blauluiken : Genereuse de Vitry	0.000664	0.03650	3.31e-04	0.01820	6.92e-04	0.03810
Blauluiken : Ginger Luiken	0.130000	1.00000	1.13e-01	1.00000	1.13e-01	1.00000
Blauluiken : Heslacher Luiken	0.337000	1.00000	3.22e-01	1.00000	3.22e-01	1.00000
Blauluiken : Luikenapfel	0.303000	1.00000	2.49e-01	1.00000	2.51e-01	1.00000
Blauluiken : Pomme d'Or	0.000925	0.05090	6.08e-04	0.03340	9.80e-04	0.05390
Blauluiken : Porsche Luiken	0.244000	1.00000	2.13e-01	1.00000	2.15e-01	1.00000
Blauluiken : Wellant	0.481000	1.00000	4.16e-01	1.00000	4.16e-01	1.00000
Börtlinger : Brünnerling	1.000000	1.00000	9.60e-01	1.00000	9.60e-01	1.00000
Börtlinger : Genereuse de Vitry	0.001730	0.09520	6.30e-04	0.03460	1.16e-03	0.06380
Börtlinger : Ginger Luiken	0.190000	1.00000	1.54e-01	1.00000	1.54e-01	1.00000
Börtlinger : Heslacher Luiken	0.471000	1.00000	3.80e-01	1.00000	3.80e-01	1.00000
Börtlinger : Luikenapfel	0.373000	1.00000	2.78e-01	1.00000	2.79e-01	1.00000
Börtlinger : Pomme d'Or	0.001950	0.10700	1.23e-03	0.06760	1.76e-03	0.09680
Börtlinger : Porsche Luiken	0.318000	1.00000	2.41e-01	1.00000	2.43e-01	1.00000

Tabelle A.4.2: Paarweise statistische Vergleiche der Keimrate bei verschiedenen Apfelsorten: Chi-Quadrat-Test, Fisher-Exakt-Test und G-Test (Rohwerte und adjustierte p-Werte, Bonferroni-Korrektur)

Börtlinger : Wellant	0.562000	1.00000	4.64e-01	1.00000	4.64e-01	1.00000
Brünnerling : Genereuse de Vitry	0.004280	0.23500	1.51e-03	0.08300	2.31e-03	0.12700
Brünnerling : Ginger Luiken	0.289000	1.00000	2.26e-01	1.00000	2.25e-01	1.00000
Brünnerling : Heslacher Luiken	0.540000	1.00000	4.73e-01	1.00000	4.73e-01	1.00000
Brünnerling : Luikenapfel	0.337000	1.00000	2.98e-01	1.00000	2.98e-01	1.00000
Brünnerling : Pomme d'Or	0.007430	0.40900	3.07e-03	0.16900	3.76e-03	0.20700
Brünnerling : Porsche Luiken	0.420000	1.00000	2.93e-01	1.00000	2.94e-01	1.00000
Brünnerling : Wellant	0.665000	1.00000	5.47e-01	1.00000	5.47e-01	1.00000
Genereuse de Vitry : Ginger Luiken	0.022200	1.00000	1.10e-02	0.60500	1.66e-02	0.91300
Genereuse de Vitry : Heslacher Luiken	0.004220	0.23200	2.49e-03	0.13700	4.53e-03	0.24900
Genereuse de Vitry : Luikenapfel	0.000136	0.00748	3.88e-05	0.00213	8.31e-05	0.00457
Genereuse de Vitry : Pomme d'Or	0.720000	1.00000	6.67e-01	1.00000	6.68e-01	1.00000
Genereuse de Vitry : Porsche Luiken	0.093300	1.00000	4.18e-02	1.00000	4.55e-02	1.00000
Genereuse de Vitry : Wellant	0.005430	0.29900	2.96e-03	0.16300	4.98e-03	0.27400
Ginger Luiken : Heslacher Luiken	0.521000	1.00000	5.01e-01	1.00000	5.01e-01	1.00000
Ginger Luiken : Luikenapfel	0.023800	1.00000	1.38e-02	0.75900	1.42e-02	0.78100
Ginger Luiken : Pomme d'Or	0.036600	1.00000	2.32e-02	1.00000	2.88e-02	1.00000
Ginger Luiken : Porsche Luiken	1.000000	1.00000	9.04e-01	1.00000	9.04e-01	1.00000
Ginger Luiken : Wellant	0.485000	1.00000	4.78e-01	1.00000	4.78e-01	1.00000
Heslacher Luiken : Luikenapfel	0.073200	1.00000	4.60e-02	1.00000	4.71e-02	1.00000
Heslacher Luiken : Pomme d'Or	0.008220	0.45200	5.02e-03	0.27600	7.21e-03	0.39700
Heslacher Luiken : Porsche Luiken	0.644000	1.00000	5.56e-01	1.00000	5.58e-01	1.00000
Heslacher Luiken : Wellant	1.000000	1.00000	9.22e-01	1.00000	9.22e-01	1.00000
Luikenapfel : Pomme d'Or	0.000146	0.00803	6.86e-05	0.00377	1.11e-04	0.00610
Luikenapfel : Porsche Luiken	0.065000	1.00000	4.38e-02	1.00000	4.47e-02	1.00000
Luikenapfel : Wellant	0.092600	1.00000	7.15e-02	1.00000	7.29e-02	1.00000
Pomme d'Or : Porsche Luiken	0.120000	1.00000	8.24e-02	1.00000	8.26e-02	1.00000
Pomme d'Or : Wellant	0.010000	0.55000	6.04e-03	0.33200	8.12e-03	0.44700
Porsche Luiken : Wellant	0.628000	1.00000	5.29e-01	1.00000	5.30e-01	1.00000

Tabelle A.4.3: Odds Ratios (mit 95%-Konfidenzintervallen) für die Wahrscheinlichkeit der Keimung je Apfelsorte (Referenz: Bittenfelder)

Variable	Odds Ratio	Lower CI	Upper CI
(Intercept)	0.6470588	0.2940948	1.365514
Sorte Blauluiken	1.4166667	0.5846554	3.535248
Sorte Börtlinger	1.4218182	0.5555755	3.732298
Sorte Brünnerling	1.4545455	0.5265912	4.102799
Sorte Genereuse de Vitry	10.8181818	2.8892863	54.044354
Sorte Ginger Luiken	2.4285714	1.0043404	6.080414
Sorte Heslacher Luiken	1.9521531	0.8265933	4.768002
Sorte Luikenapfel	0.8735178	0.3139192	2.440555
Sorte Pomme d'Or	7.7272727	2.4077870	28.693254
Sorte Porsche Luiken	2.5757576	0.8537248	8.171301
Sorte Wellant	1.8888889	0.7654186	4.811141

Tabelle A.4.4: Statistische Kennwerte der Wuchshöhen der gekeimten Apfelsämlinge (Messung am 13. September 2025)

Sorte	n	Mittelwert (cm)	Median (cm)	Standardab-weichung (cm)	Interquartils abstand (cm)
Bittenfelder	11	41,9	46,0	17,6	22,6
Blauluiken	33	25,0	27,8	14,4	24,3
Börtlinger	23	27,4	28,8	11,4	13,8
Brünnerling	16	18,4	16,4	11,7	20,5
Genereuse de Vitry	21	29,9	35,3	12,8	16,9
Ginger Luiken	44	30,9	30,2	17,4	21,0
Heslacher Luiken	48	20,5	18,4	11,8	19,0
Luikenapfel	13	25,5	24,4	10,3	18,2
Pomme d’Or	25	30,1	31,2	12,1	15,6
Porsche Luiken	15	25,5	25,8	10,7	12,0
Wellant	33	33,2	34,2	11,3	17,0

Tabelle A.4.5: Testergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung für jede Apfelsorte (p-Wert und Stichprobengröße n)

Sorte	p-Wert	n
Bittenfelder	0.907	11
Blauluiken	0.136	33
Börtlinger	0.267	23
Brünnerling	0.247	16
Genereuse de Vitry	0.00647	21
Ginger Luiken	0.0164	44
Heslacher Luiken	0.00690	48
Luikenapfel	0.110	13
Pomme d'Or	0.735	25
Porsche Luiken	0.539	15
Wellant	0.444	33

Abbildung A.4.1: QQ-Plot der Wuchshöhe pro Apfelsorte. Die beobachteten Quantile (y-Achse) werden den theoretischen Quantilen der Normalverteilung (x-Achse) gegenübergestellt. (Darstellung J. Leußer)

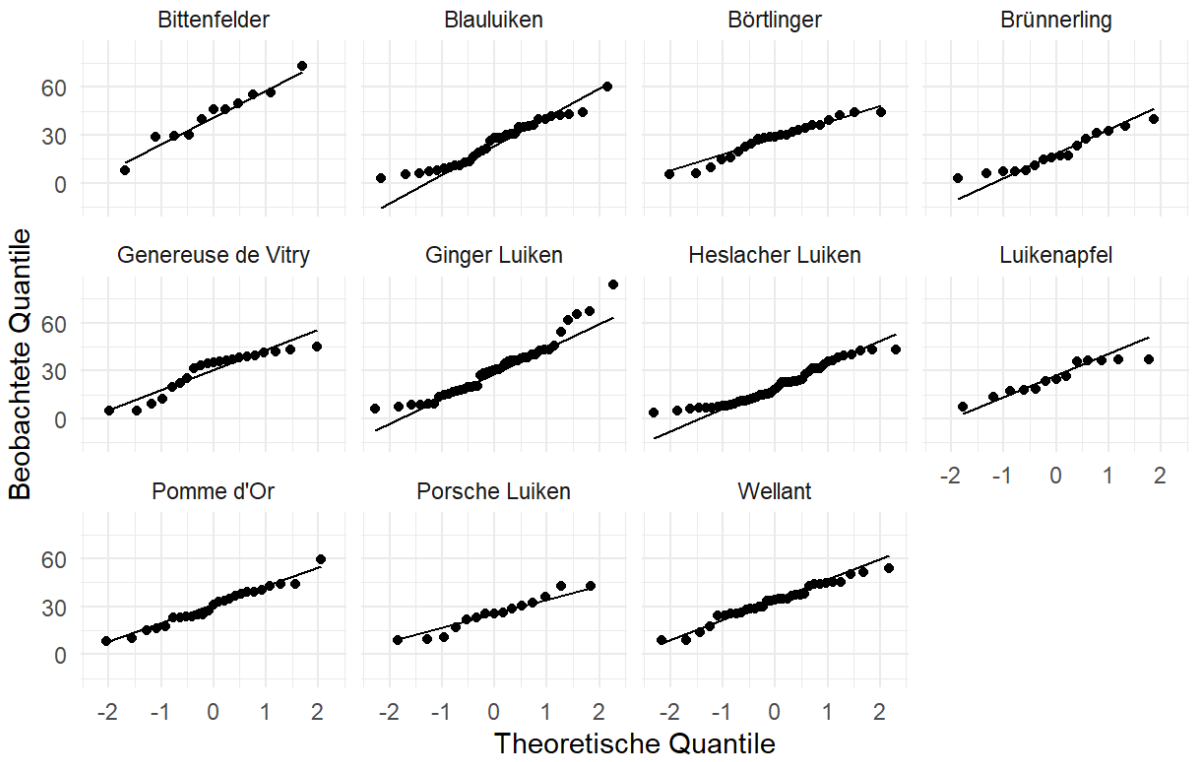

Tabelle A.4.6: Dunn-Test (1964) nach Kruskal-Wallis: Ergebnisse der Paarvergleiche der Apfelsorten nach Wuchshöhe einschließlich der Z-Werte, unadjustierte und Bonferroni-korrigierte p-Werte

Vergleich	**Z**	**P.unadj**	**P.adj**
Bittenfelder - Blauluiken	2.99654187	0.00273061	0.15018341
Bittenfelder - Börtlinger	2.33826051	0.01937374	1.00000000
Blauluiken - Börtlinger	-0.68506356	0.49330380	1.00000000
Bittenfelder - Brünnerling	3.90306471	0.00009498	0.00522403
Blauluiken - Brünnerling	1.59360678	0.11102410	1.00000000
Börtlinger - Brünnerling	2.06286612	0.03912535	1.00000000
Bittenfelder - Genereuse de Vitry	1.64700358	0.09955731	1.00000000
Blauluiken - Genereuse de Vitry	-1.54133957	0.12323420	1.00000000
Börtlinger - Genereuse de Vitry	-0.80900246	0.41851370	1.00000000
Brünnerling - Genereuse de Vitry	-2.75952937	0.00578847	0.31836576
Bittenfelder - Ginger Luiken	2.08755339	0.03683814	1.00000000
Blauluiken - Ginger Luiken	-1.47448020	0.14035230	1.00000000
Börtlinger - Ginger Luiken	-0.59643770	0.55088290	1.00000000
Brünnerling - Ginger Luiken	-2.82601178	0.00471315	0.25922342
Genereuse de Vitry - Ginger Luiken	0.34200575	0.73234660	1.00000000
Bittenfelder - Heslacher Luiken	4.08983155	0.00004317	0.00237428
Blauluiken - Heslacher Luiken	1.43226308	0.15206850	1.00000000
Börtlinger - Heslacher Luiken	2.01092244	0.04433365	1.00000000
Brünnerling - Heslacher Luiken	-0.55975434	0.57564700	1.00000000
Genereuse de Vitry - Heslacher Luiken	2.88242409	0.00394628	0.21704552
Ginger Luiken - Heslacher Luiken	3.17869238	0.00147941	0.08136755
Bittenfelder - Luikenapfel	2.39453370	0.01664151	0.91528328
Blauluiken - Luikenapfel	-0.19021170	0.84914320	1.00000000
Börtlinger - Luikenapfel	0.35677292	0.72126180	1.00000000
Brünnerling - Luikenapfel	-1.46696362	0.14238600	1.00000000
Genereuse de Vitry - Luikenapfel	1.04269361	0.29709020	1.00000000
Ginger Luiken - Luikenapfel	0.87831720	0.37977160	1.00000000
Heslacher Luiken - Luikenapfel	-1.23510518	0.21679140	1.00000000
Bittenfelder - Pomme d'Or	1.82501467	0.06799882	1.00000000

Tabelle A.4.6: Dunn-Test (1964) nach Kruskal-Wallis: Ergebnisse der Paarvergleiche der Apfelsorten nach Wuchshöhe einschließlich der Z-Werte, unadjustierte und Bonferroni-korrigierte p-Werte

Blauluiken - Pomme d'Or	-1.44428015	0.14866020	1.00000000
Börtlinger - Pomme d'Or	-0.68136804	0.49563860	1.00000000
Brünnerling - Pomme d'Or	-2.71247790	0.00667822	0.36730229
Genereuse de Vitry - Pomme d'Or	0.15983108	0.87301410	1.00000000
Ginger Luiken - Pomme d'Or	-0.17328105	0.86243050	1.00000000
Heslacher Luiken - Pomme d'Or	-2.86578665	0.00415975	0.22878597
Luikenapfel - Pomme d'Or	-0.93777003	0.34836260	1.00000000
Bittenfelder - Porsche Luiken	2.53602742	0.01121180	0.61664875
Blauluiken - Porsche Luiken	-0.11742233	0.90652540	1.00000000
Börtlinger - Porsche Luiken	0.45051276	0.65234080	1.00000000
Brünnerling - Porsche Luiken	-1.45252788	0.14635490	1.00000000
Genereuse de Vitry - Porsche Luiken	1.16455775	0.24419810	1.00000000
Ginger Luiken - Porsche Luiken	1.01335974	0.31088840	1.00000000
Heslacher Luiken - Porsche Luiken	-1.21853644	0.22302020	1.00000000
Luikenapfel - Porsche Luiken	0.06787573	0.94588460	1.00000000
Pomme d'Or - Porsche Luiken	1.06057258	0.28888420	1.00000000
Bittenfelder - Wellant	1.20875643	0.22675640	1.00000000
Blauluiken - Wellant	-2.52831042	0.01146130	0.63037132
Börtlinger - Wellant	-1.60641235	0.10818330	1.00000000
Brünnerling - Wellant	-3.63679014	0.00027606	0.01518312
Genereuse de Vitry - Wellant	-0.68842063	0.49118790	1.00000000
Ginger Luiken - Wellant	-1.22839732	0.21929790	1.00000000
Heslacher Luiken - Wellant	-4.18473883	0.00002855	0.00157022
Luikenapfel - Wellant	-1.71059587	0.08715574	1.00000000
Pomme d'Or - Wellant	-0.90319714	0.36642130	1.00000000
Porsche Luiken - Wellant	-1.88138256	0.05991990	1.00000000

7 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich,

Name: Johanna Leußer

Geboren am: 21.07.1999

Matrikelnummer: 1023509

dass die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema „Vergleich zwischen vegetativer und generativer Vermehrungsformen von Apfelsorten“ selbständig und ausschließlich unter Zuhilfenahme der im Literaturverzeichnis genannten Quellen angefertigt wurde und noch an keiner anderen Stelle vorgelegt wurde. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderen fremden Mitteilungen entnommen wurden, sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Ich erkläre weiterhin, dass dem betreuenden Dozenten ein unverschlüsseltes digitales Textdokument (in einem der Formate doc, docx, odt, pdf, rtf) der Arbeit übermittelt wurde, dass in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Mir ist bekannt, dass diese digitale Version anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft werden kann.

Stuttgart, den 28.11.2025

J. Leußer

Name