Wiedtalgymnasium
Neustadt/Wied

Schuljahr 2013/2014
Jahrgangsstufe 12/2

Besondere Lernleistung (BLL)

im Leistungskurs Biologie

Thema:

Umweltverträgliche Alternativen zur Bekämpfung von Feuerbrand

Verfasser: Nils Kröll
Fachlehrer: Frau Edelmann-Schneider
Abgabetermin: 24.07.2014

Inhalt

1 Einleitung ..... - 1 -
1.1 Ziele und Inhalte der Arbeit ..... - 1 -
1.2 Erwinia carotovora als Alternative zu Untersuchung ..... - 1 -

2 Hauptteil ..... - 2 -
2.1 Methode und Vorgehensweise ..... - 2 -
2.1.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern ..... - 2 -
2.1.1.1 Versuchsaufbau ..... - 2 -
2.1.1.2 Versuchsdurchführung ..... - 2 -
2.1.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora) ..... - 3 -
2.1.2.1 Versuchsaufbau ..... - 3 -
2.1.2.2 Herstellung des Nährmediums ..... - 3 -
2.1.2.3 Applikation der Bakterienlösung und Extraktlösung ..... - 3 -
2.1.2.4 Lagerung im Wärmeschrank ..... - 3 -
2.1.2.5 Auswertungsverfahren ..... - 3 -
2.1.3 Trockenextrakte des Unternehmens Finzelberg ..... - 4 -
2.1.4 Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora) ..... - 4 -
2.1.4.1 Versuchsaufbau ..... - 4 -
2.1.4.2 Versuchsdurchführung ..... - 4 -
2.1.4.2.1 Herstellen des Nährbodens ..... - 4 -
2.1.4.2.2 Herstellen der Bakterien-Nährlösungs-Mischung ..... - 5 -
2.1.4.2.3 Applikation der Bakterien-Nährlösungs-Mischung ..... - 5 -
2.1.4.2.4 Verflüssigen der Extrakte und Positionierung in der Petrischale ..... - 5 -
2.1.4.2.5 Verschließung und Lagerung ..... - 5 -
2.1.4.2.6 Auswertung ..... - 5 -
2.1.5 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora) ..... - 6 -
2.1.5.1 Versuchsaufbau ..... - 6 -
2.1.5.2 Versuchsdurchführung ..... - 6 -
2.1.5.2.1 Ansetzen der Reagenzgläser ..... - 6 -
2.1.5.2.2 Messung ..... - 6 -
2.1.5.2.3 Auswertungsverfahren ..... - 7 -
2.1.6 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum ..... - 7 -
2.1.6.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung ..... - 7 -
2.1.6.1.1 Auswertung ..... - 7 -
2.2 Ergebnisse ..... - 8 -
2.2.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern ..... - 8 -
2.2.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora) ..... - 8 -
2.2.3 Hemmhoftest 2 (Erwinia amylovora) ..... - 9 -
2.2.4 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora) ..... - 10 -
2.2.4.1 Berechnung ..... - 10 -
2.2.4.1 Ergebnisse ..... - 10 -

2.2.5 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum ..... - 12 -

3 Schluss ..... - 16 -

3.1 Diskussion ..... - 16 -
3.1.1 Evaluation und Optimierung der Versuche ..... - 16 -
3.1.1.1 Hemmhoftest 1 ..... - 16 -
3.1.1.2 Hemmhoftest 2 ..... - 16 -
3.1.1.3 Flüssigmediumtest ..... - 18 -
3.1.1.4 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum ..... - 19 -
3.1.2 Ideen für weitere Experimente ..... - 19 -
3.1.2.1 Hemmhof- und Flüssigmediumtest mit Erwinia amylovora ..... - 19 -
3.1.2.2 Versuche in Pflanzengewebe Gewebe ..... - 20 -
3.1.2.3 Freilandversuch ..... - 20 -
3.2 Fazit ..... - 21 -
3.3 Persönliche Erkenntnisse, kritische Rückschau ..... - 23 -
3.3.1 Allgemein ..... - 23 -
3.3.2 Experimente ..... - 24 -
3.3.3 Persönliche Erkenntnisse ..... - 24 -
3.4 Danksagung ..... - 25 -

4 Anhang ..... - 26 -

4.1 Literaturverzeichnis ..... - 26 -
4.2 Abbildungsverzeichnis ..... - 28 -
4.3 Allgemeine Texte ..... - 30 -
4.3.1 Kurzfassung ..... - 30 -
4.3.2 Themenwahl ..... - 31 -
4.3.3 Literatur und Hilfsmittel ..... - 32 -
4.4 Informationen zu Feuerbrand ..... - 33 -
4.4.1 Gattung Erwinia ..... - 33 -
4.4.1.1 Form und Aufbau ..... - 33 -
4.4.1.2 Fortbewegung ..... - 36 -
4.4.1.3 Stoffwechsel ..... - 36 -
4.4.1.4 Gramnegativität ..... - 37 -
4.4.2 Schwarzbeinigkeit/Knollennassfäule (Erwinia carotovora) ..... - 39 -
4.4.2.1 Bakterium ..... - 39 -
4.4.2.2 Symptomatik ..... - 39 -
4.4.2.2.1 Schwarzbeinigkeit ..... - 39 -
4.4.2.2.2 Knollennassfäule ..... - 40 -
4.4.2.3 Wirtspflanzen ..... - 41 -
4.4.2.4 Ausbreitung ..... - 41 -
4.4.2.5 Bedeutung ..... - 41 -
4.4.2.6 Bekämpfung ..... - 42 -
4.4.3 Feuerbrand (Erwinia amylovora) ..... - 43 -

4.4.3.1 Bakterium ..... - 43 -
4.4.3.2 Symptomatik ..... - 43 -
4.4.3.3 Infektion ..... - 44 -
4.4.3.3.1 Blüteninfektion (Blossom blight) ..... - 45 -
4.4.3.3.2 Triebinfektion (Shoot blight) ..... - 46 -
4.4.3.3.3 Infektion aus wieder aktiv werdenden Befallstellen (Canker blight) - 46 -
4.4.3.3.4 Infektion durch Verletzungen ..... - 46 -
4.4.3.4 Verbreitung/Übertragung ..... - 46 -
4.4.3.4.1 Biotische Vektoren ..... - 47 -
4.4.3.4.2 Abiotische Vektoren ..... - 47 -
4.4.3.5 Wirtspflanzen ..... - 48 -
4.4.3.6 Bedeutung ..... - 48 -
4.4.3.7 Räumliche Ausbreitung ..... - 49 -
4.4.3.8 Geschichtlicher Hintergrund ..... - 50 -
4.5 Bekämpfung von Feuerbrand ..... - 51 -
4.5.1 Feuerbrandverordnung ..... - 51 -
4.5.2 Mechanische Maßnahmen ..... - 53 -
4.5.2.1 Entfernen von infizierten Pflanzenabschnitten ..... - 53 -
4.5.2.2 Rodung ..... - 54 -
4.5.3 Antibiotika (Streptomycin) ..... - 54 -
4.5.4 Bakterizide ..... - 56 -
4.5.5 Feuerbrandresistenter Kultivare ..... - 56 -
4.5.6 Biologische Antagonisten ..... - 57 -
4.5.7 Gentechnik ..... - 58 -
4.5.8 Pollenübertragende Insekten ..... - 59 -
4.5.9 Erstellen einer eigenen Bekämpfungsstrategie ..... - 61 -
4.5.9.1 Sammeln von Daten ..... - 61 -
4.5.9.2 Verarbeitung ..... - 61 -
4.5.9.3 Ausgabe ..... - 62 -
4.5.9.4 Kommunikation ..... - 62 -
4.5.9.5 Bewertung: ..... - 62 -
4.6 Ergänzungen zu Methode und Vorgehensweise ..... - 63 -
4.6.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern ..... - 63 -
4.6.1.1 Abbildungen: ..... - 63 -
4.6.1.2 Prinzip der Wasserdampfdestillation ..... - 64 -
4.6.1.1 Aufbereiten der Bakterien ..... - 64 -
4.6.1.1 Voruntersuchung zur Verwendung des richtigen Nährbodens ..... - 64 -
4.6.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora) ..... - 65 -
4.6.2.1 Abbildungen ..... - 65 -
4.6.2.2 Herstellung des Nährmediums ..... - 66 -
4.6.2.3 Fehleranalyse ..... - 66 -
4.6.2.3.1 Nährboden ..... - 66 -
4.6.2.3.2 Extrakte ..... - 67 -

4.6.2.3.3 Bakterien ..... - 67 -
4.6.2.3.4 Steriles Umfeld ..... - 69 -
4.6.2.3.5 Auswertungsverfahren ..... - 69 -
4.6.2.4 Aufbereiten der Bakterien ..... - 70 -
4.6.3 Trockenextrakte des Unternehmens Finzelberg ..... - 71 -
4.6.3.1 Thymiankraut (Thymus vulgaris) ..... - 72 -
4.6.3.2 Salbei (Salvia officinalis) ..... - 73 -
4.6.3.3 Kamille (Matricaria chamomilla) ..... - 73 -
4.6.3.4 Cassia - Zimt (Cinnamomum cassia) ..... - 74 -
4.6.3.5 Pelargonie (Pelargonium sidoides) ..... - 75 -
4.6.3.6 Zistrosenkraut (Cistus creticus eriocephalus) ..... - 75 -
4.6.3.7 Rotes Weinlaub (Vitis viniferae) ..... - 76 -
4.6.3.8 Pfefferminze (Menthae x piperitae) ..... - 77 -
4.6.3.9 Zwiebel (Aliium cepa) ..... - 77 -
4.6.3.10 Schafgarbenkraut (Achillea millefolium) ..... - 78 -
4.6.3.11 Wermutkraut (Artemisia absinthium L.) ..... - 78 -
4.6.4 Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora) ..... - 80 -
4.6.4.1 Abbildungen ..... - 80 -
4.6.4.1 Funktionsweise ..... - 80 -
4.6.4.1 Herstellen der Bakterien-Nährlösungs-Mischung ..... - 81 -
4.6.5 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora) ..... - 82 -
4.6.5.1 Abbildungen ..... - 82 -
4.6.5.2 Vorüberlegungen ..... - 83 -
4.6.6 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum ..... - 85 -
4.6.6.1 Abbildungen ..... - 85 -
4.6.6.2 Vorüberlegungen ..... - 85 -
4.7 Ergänzungen zu den Ergebnissen ..... - 86 -
4.7.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern ..... - 86 -
4.7.1.1 Abbildungen ..... - 86 -
4.7.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora) ..... - 87 -
4.7.2.1 Abbildungen ..... - 87 -
4.7.3 Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora) ..... - 87 -
4.7.3.1 Abbildungen: ..... - 87 -
4.7.4 Flüssigmediumtest ..... - 91 -
4.7.4.1 Abbildungen ..... - 91 -
4.7.5 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum ..... - 93 -
4.7.5.1 Abbildungen ..... - 93 -
4.8 Weitere Anhänge ..... - 98 -
4.8.1 Feuerbrandverordnung ..... - 98 -
4.8.2 Hemmhoftest (Erwinia carotovora) ..... - 101 -
4.8.3 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum ..... - 119 -
4.8.4 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora) ..... - 130 -

1 Einleitung

1.1 Ziele und Inhalte der Arbeit

Feuerbrand ist eine durch das Bakterium Erwinia amylovora hervorgerufene Pflanzenkrankheit (Informationen zu Feuerbrand s. Anhang 4.4). Bei betroffenen Wirtspflanzen (Kernobstgewächse) führt es zu einem durch Dehydratation hervorgerufenen verbrannten Aussehen. Aktuell gibt es kaum ausreichend effektive und umweltverträgliche Möglichkeiten die Pflanzenkrankheit zu bekämpfen. (Zusammenfassung und Bewertung aller bisherigen Maßnahmen s. Anhang 4.5)

Ziel der Arbeit ist es festzustellen, ob ätherische Öle, welche aus Heilpflanzen extrahiert werden, als umweltverträgliche Alternative präventiv gegen Feuerbrand eingesetzt werden können. Dazu werden in einem ersten Schritt mittels einer Wasserdampfdestillation ätherische Öle gewonnen und diese auf ihre antibakterielle Wirkung gegenüber dem Feuerbranderreger mittels eines Hemmhoftests untersucht. In einem zweiten Versuch wird der Hemmhoftest optimiert und Trockenextrakte des Unternehmens Finzelberg auf ihre antibakterielle Wirkung untersucht. Ebenfalls wird die antibakterielle Wirkung mittels eines selbst entworfenen Flüssigmediumtests ermittelt und die Umweltverträglichkeit der Extrakte am Beispiel eines Wachstumsversuchs mit Kresse ermittelt.

Alle erhobenen Daten werden kritisch hinterfragt und anschließend auf ihre praktische Anwendbarkeit diskutiert. Ebenfalls beinhaltet diese Arbeit zusammengefasste und bewertete Informationen über die Pflanzenkrankheit Feuerbrand und deren Bekämpfung. Diese zusätzlichen Informationen befinden sich im Anhang der Arbeit. An entsprechenden Stellen im Hauptteil wird darauf zusätzlich verwiesen.

1.2 Erwinia carotovora als Alternative zu Untersuchung

Da Versuche mit dem Bakterium Erwinia amylovora nur mit einer entsprechenden Genehmigung in einem Sicherheitsstufe 1 Labor durchgeführt werden dürfen, und uns entsprechende Genehmigungen und ein Sicherheitsstufe 1 Labor fehlt, entschieden wir uns dazu, die Versuche an dem verwandten Bakterium Erwinia carotovora vorzunehmen. Da beide Bakterien ähnliche physiologische Eigenschaften besitzen (s. Anhang 4.4), kann man aus einer antibakteriellen Wirkung gegenüber Erwinia carotovora auch eine antibakterielle Wirkung gegenüber Erwinia carotovora ableiten. Es empfiehlt sich trotzdem, die durchgeführten Versuche auch mit dem Feuerbranderreger Erwinia amylovora durchzuführen.

2 Hauptteil

2.1 Methode und Vorgehensweise

Ergänzungen zu Methode und Vorgehensweise befindet sich im Anhang unter Ergänzungen zu Methode und Vorgehensweise (4.6).

2.1.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern

Als ersten Schritt gewannen wir aus getrockneten Teilen der Heilpflanzen Kamille, Lavendel und Thymian ätherische Öle mittels einer Wasserdampfdestillation, da den ätherischen Ölen dieser Pflanzen antibakterielle Wirkungen nachgesagt werden.Bei einer Wasserdampfdestillation werden bestimmte Extrakte durch Wasserdampf und erhöhte Temperatur aus einem Material gelöst. Aufgrund der unterschiedlichen Siedepunkte können die Stoffe durch Erhitzen und Abkühlen voneinander getrennt werden. Dieses Prinzip macht man sich auch bei der Gewinnung ätherischer Öle aus Heilpflanzen zu Nutze.

2.1.1.1 Versuchsaufbau

Bei diesem Versuch stand uns eine Wasserdampfdestillationsapparatur der Kooperation Phytopharmaka zur Verfügung. (Prinzip der Wasserdampfdestillation s. Anhang 4.6.1.2)

Die verwendete Apparatur hat einen großen Glasrundkolben, indem sich Wasser befindet. Das Wasser wird mit einem Heizpilz erwärmt und der Wasserdampf in einen zweiten Kolben mit getrockneten Heilpflanzen geleitet. Anschließend wird der Dampf mit den ätherischen Ölen durch einen Liebigkühler heruntergekühlt und in einem Becherglas aufgefangen. (s. Bilder Anhang 4.6.1.1)

2.1.1.2 Versuchsdurchführung

Da die Apparatur bereits vorgegeben ist, füllen wir den größeren Glaskolben zur Hälfte mit Wasser und den kleineren Glaskolben zu zwei Dritteln mit dem getrockneten Pflanzenmaterial, dabei achten wir auf eine lockere Schichtung, um den Durchfluss des Wasserdampfes und die Oberflächenvergrößerung zu erhöhen. Anschließend wird der Liebigkühler in umgekehrter Richtung angeschlossen, um aufgrund des Gegenstromprinzips die Abkühlung zu maximieren. Um die Extrakte weiter abzukühlen, befindet sich das Becherglas, das die Extrakte auffängt, in einem Eisbecken.

Nach Abschluss der Vorbereitungen wird der Heizpilz angeschlossen und das Wasser beginnt nach 7-10 min zu kochen. Das an den Wänden des Liebigkühlers kondensierende Extrakt fließt nun in das Becherglas. Die Gewinnung der Extrakte ist nach 30-45 min abgeschlossen.

2.1.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora)

Als nächstes testen wir die gewonnen Öle auf ihre antibakterielle Wirkung. In einer Petrischale werden die Bakterien mit den Extrakten in Form eines Filterpapierstückes oder direkt auf den Nährboden aufgetragen, versetzt. Bei einer Blindprobe und drei zu testenden Extrakten ergeben sich daraus 8 Ansätze.

2.1.2.1 Versuchsaufbau

Zum Testen der antibakteriellen Wirkung applizieren wir eine Bakterienlösung auf einem Nährboden. Bei dem einen Teil der Ansätze wird nun ein Filterpapierstück, welches zuvor in das Extrakt getaucht wurde, in die Mitte der Petrischale gelegt. Bei dem anderen Teil wird das Extrakt direkt auf dem Nährboden verteilt (s. Abb. Anhang 4.6.2.1). Anschließend werden die Petrischalen verschlossen und in einem Wärmeschrank gelagert.

2.1.2.2 Herstellung des Nährmediums

Ein Nährmedium besteht aus Wasser, Agar (verantwortlich für die feste Konsistenz) sowie Pepton und Liebig Fleischextrakt als Nährstoffe für die Bakterien. Wir entschieden uns für die Rezeptur der Herstellerfirma der Bakterien DSMZ. (genaue Rezeptur s. Anhang 4.6.2.2)

Alle Inhaltsstoffe werden in Wasser zuerst gelöst und über eine Heizplatte zum Kochen gebracht. Nach 30-40 min kocht die Nährbodenlösung und wird in die Petrischalen gegossen. Nach dem Abkühlen erstarrt der Nährboden.

2.1.2.3 Applikation der Bakterienlösung und Extraktlösung

Die gefriergetrockneten Bakterien werden nach Anleitung des DSMZ mit 1 ml Nährlösung 30 Minuten lang gequellt.

Zur Applikation wird eine Impföse in die Bakterienlösung getaucht und die Flüssigkeit in einem doppelten und gekreuzten Zick-Zack-Muster (s. Abb. Anhang 4.6.2.1) auf dem Nährboden verteilt. Anschließend wird die Extraktlösung in Form eines Filterpapiers oder direkt auf den Nährboden aufgetragen.

2.1.2.4 Lagerung im Wärmeschrank

Nach Verschließung der Petrischalen werden die Ansätze im Wärmeschrank bei 24°C gelagert, welches den idealen Wachstumsbedingungen des Bakteriums entspricht.

2.1.2.5 Auswertungsverfahren

Neben dem fotografischen Dokumentieren mit einer Mobiltelefonkamera wurden die Proben vor allem nach der optisch sichtbaren Ausbreitung der Bakterienkolonie im Vergleich zur Blindprobe bewertet.

2.1.3 Trockenextrakte des Unternehmens Finzelberg

Während der Wasserdestillation und nach den Ergebnissen des ersten Hemmhoftests, fielen uns der hohe Wassergehalt der Extrakte und die daraus resultierende geringe bis fehlende antibakterielle Wirkung auf.

Daher kontaktierten wir das Unternehmen Finzelberg: Dr. Bjoern Feistel, Leiter der Abteilung Produktentwicklung bei Finzelberg, stellte uns eine Auswahl aus 14 verschiedenen Extrakten zusammen, welche sich seiner Meinung nach besonders für die Bekämpfung von Feuerbrand eignen.

Die grundlegende Methode zur Gewinnung von ätherischen Ölen aus Pflanzen wurde schon in 2.1.1 gezeigt und dokumentiert. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass es uns unter Schulbedingungen möglich ist, ätherische Öle zu gewinnen.

Das Unternehmen Finzelberg ist auf die Extraktion von Wirkstoffen aus Pflanzen spezialisiert. Die zugesendeten Extrakte liegen in hoher Konzentration vor, dadurch sind antibakterielle Wirkungen leichter nachweisbar. Ebenfalls erlaubt uns die Kenntnis über die Zusammensetzung der Extrakte, quantitative Aussagen treffen.

Eine Auflistung aller Extrakte und Steckbriefe der Pflanzen befinden sich im Anhang (s. 4.6.3).

2.1.4 Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora)

Nach einer umfassenden Fehleranalyse des ersten Bakterienwachstumsversuchs (s. Diskussion 3.1.1.1; Anhang 4.6.2.3) starten wir mit den Erkenntnissen aus dem ersten Versuch einen optimierten, zweiten Hemmhoftest, um quantitative Aussagen über die antibakterielle Wirkung der verschiedenen Extrakte zu erlangen.

2.1.4.1 Versuchsaufbau

Um die Hemmhofbildung zu beobachten, wird auf einem festen Nährboden eine Bakterienlösung planiert. Im Zentrum der Petrischale befindet sich ein Filterpapierstück mit dem zu testenden Extrakt, welches mit der Zeit diffundiert und bei antibakterieller Wirkung einen Hemmhof bildet. (s. Funktionsweise Hemmhoftest Anhang 4.6.4.1; Abb. Versuchsaufbau s. Anhang 4.6.4.1)

2.1.4.2 Versuchsdurchführung

2.1.4.2.1 Herstellen des Nährbodens

Als erstes wird eine ausreichende Menge an Nährbodenlösung hergestellt und gekocht. Nach Herstellung der Nährbodenlösung werden 25 g Nährboden pro Ansatz in die Petrischalen gegeben. Um eine Verschmutzung oder Infektion der Ansätze zu minimieren,

werden die Petrischalen nach dem Eingießen zügig verschlossen. Zusätzlich sorgt die hohe Temperatur der Nährbodenlösung (>85°C) für ein Autoklavieren der Petrischale von innen.

2.1.4.2.2 Herstellen der Bakterien-Nährlösungs-Mischung

Um mit einer Einheit gefriergetrockneter Bakterien mehrere Ansätze herstellen zu können, verdünnen wir die 1 ml gequellte Bakterienlösung. Dazu werden dieser 24 ml Nährlösung (Nährbodenlösung ohne Agar) beigesetzt und beides anschließend verrührt.

2.1.4.2.3 Applikation der Bakterien-Nährlösungs-Mischung

Die Applikation der Bakterien-Nährlösungs-Mischung erfolgt in zwei Schritten: Zuerst werden 0,5 ml Bakterien-Nährlösungs-Mischung mittels einer Messpipette auf die Mitte des Nährbodens gegeben. Danach wird die Bakterien-Nährlösungs-Mischung gleichmäßig mit einem Paganellispatel auf dem Nährboden planiert.

Zu jedem der beiden Schritte wird die Petrischale nur kurz geöffnet, um die Infektion und Verunreinigung von außen gering zu halten.

2.1.4.2.4 Verflüssigen der Extrakte und Positionierung in der Petrischale

Da die Extrakte bis auf Zwiebelsaft als Trockenextrakte vorliegen, werden 0,25 g Trockenextrakt in 25 ml Wasser gelöst. Anschließend werden 10 mm x 10 mm Quadrate aus Filterpapier mittels einer Pinzette 3 Sekunden in die Trockenextrakt-Lösung getaucht und anschließend 3 Sekunden abgetropft. Mittels einer unter die Petrischale gelegten Grafik werden die Filterpapierstücke mittig positioniert. Hierbei wird ebenfalls darauf geachtet, dass die Petrischale kurzweilig geöffnet bleibt.

2.1.4.2.5 Verschließung und Lagerung

Um den Ansatz vor Infektionen von außerhalb zusätzlich zu schützen, wird es mit einem Parafilmstück zusätzlich abgeschlossen. Das 5 x 15 cm große Stück wird einmal entlang des Petrischalenrandes angebracht.
Alle Ansätze werden in einem Brutschrank bei 24°C gelagert, um optimale Wachstumsbedingungen für die Bakterien zu schaffen.

2.1.4.2.6 Auswertung

Da wir die Versuche dienstagnachmittags ansetzen und die Auswertung alle 24 h erfolgen soll, findet die Auswertung mittwochs-, donnerstags-, und Freitagnachmittags statt. Da wir Samstag und Sonntag keinen Zutritt zur Schule haben, ist die nächste und letzte Auswertung am Montagnachmittag.

Die Auswertung besteht aus zwei Elementen: Zum einen werden alle Ansätze mit einer Spiegelreflexkamera fotografiert, zum anderen werden die sichtbaren Hemmhöfe markiert und vermessen.

2.1.5 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora)

Schickt man Licht durch eine Flüssigkeit, so wird ein Teil des Lichtes adsorbiert. Je mehr adsorbierende Partikel die Flüssigkeit enthält (allg. als trüber bezeichnet), desto mehr Licht wird adsorbiert. Enthält eine Nährlösung Bakterien, so wird bei einer Vermehrung der Bakterien mehr Licht adsorbiert. In Anwesenheit antibakterieller Wirkstoffe vermehren sich die Bakterien weniger stark und die Flüssigkeit wird weniger trüb. Mit einem Lichtsensor kann man diese Differenz messen und Rückschlüsse auf die antibakterielle Wirkung eingesetzter Stoffe ziehen.

2.1.5.1 Versuchsaufbau

Um die Versuchsbedingungen gleich zu halten, konstruiere ich eine Kiste, welche den Versuch von Lichteinflüssen von außen unabhängig macht und alle Komponenten fest fixiert. Die Kiste hat die Maße 100 * 200 * 300 mm und besteht aus 6 mm dicken Holzplatten. Am hinteren Ende der Oberseite ist eine 15 W Glühbirne eingelassen, welche das benötigte konstante Licht erzeugt. Auf der gegenüberliegenden Seite wird von oben ein Reagenzglas eingeführt, welches die Probe enthält. Das Reagenzglas wird durch zwei Abstandshalter innen fixiert. In der Mitte der Vorderseite befindet sich eine Öffnung für den Lichtsensor inklusiver Halterungsplatte. Das Licht der Glühlampe scheint durch das Reagenzglas und wird vom Lichtsensor gemessen.

2.1.5.2 Versuchsdurchführung

2.1.5.2.1 Ansetzen der Reagenzgläser

Zunächst wird pro Reagenzglas 20 ml Nährlösung hergestellt und diese mit 0,1 g Trockenextrakt vermischt. Pro Reagenzglas werden anschließend 1 ml verdünnte Bakterienlösung zugesetzt. Abschließend werden alle Reagenzgläser mit einem Stopfen verschlossen und beschriftet.

2.1.5.2.2 Messung

Da die Bakterien bei ihrer Sedimentation auf den Reagenzglasboden nicht gemessen würden, wird das gesamte Reagenzglas unmittelbar vor der Messung 15 Sekunden lang geschüttelt. Anschließend wird es 15 Sekunden ruhig gehalten, um entstandene Luftblasen, welche die Messung beeinträchtigen könnten, zu verhindern. Danach wird das Reagenzglas in die dafür vorgesehene Öffnung gesteckt und die Messung begonnen. Die-

ser Schritt wiederholt sich für jedes Reagenzglas. Die Reagenzgläser werden ihrer numerischen Reihenfolge nach getestet, sodass die Messung aller Reagenzgläser ca. 15-20 min dauert. Gemessen wird zu jeder vollen Stunde, sodass der Abstand zwischen den einzelnen Messungen immer genau eine Stunde beträgt, da die Reihenfolge konstant bleibt. Insgesamt finden 7 Messungen zwischen 16 und 22 Uhr statt.

2.1.5.2.3 Auswertungsverfahren

Die vom Lichtmesssensor generierten Daten werden mit dem PASCO-System 30 Sekunden lang aufgezeichnet, um etwaige Schwankungen der Glühbirne auszugleichen. Über ein integriertes Analyseprogramm werden aus den aufgezeichneten 30 Sekunden ein Mittelwert errechnet und dieser als Ergebnis festgehalten.

2.1.6 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum

Um zu ermitteln, ob die getesteten Extrakte sich mitunter negativ auf das Wachstum von Wirtspflanzen oder die Umwelt auswirken, versetze ich Kresseansätze mit hohen Konzentrationen an Trockenextrakten, um die Auswirkungen zu beobachten.

2.1.6.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die Kresse wird in einer Petrischale mit Watte angesetzt. Pro Petrischale wird 3 g Watte gleichmäßig auf dem Petrischalenboden verteilt. Exakt 25 Kressesamen werden pro Petrischale gleichmäßig mit Abstand zueinander auf der Watte verteilt. Anschließend werden 0,2 g Trockenextrakt in 20 ml Wasser gelöst und die Lösung gleichmäßig auf der Watte verteilt und die Petrischale verschlossen.

2.1.6.1.1 Auswertung

Die Auswertung findet alle 3 Tage statt. Dazu werden die gekeimten Kressesamen gezählt, die Höhe des größten und kleinsten Triebes gemessen und die Durchschnittshöhe berechnet, welche sich aus den Höhen von 5 Trieben mittlerer Wachstumshöhen zusammensetzt. Zudem werden die Ergebnisse fotografisch dokumentiert.

2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche werden in diesem Kapitel schriftlich festgehalten und erläutert. Entsprechende Visualisierungen befinden sich im Anhang der Arbeit (s. Anhang 4.7).

2.2.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern

Mit Hilfe der Wasserdampfdestillation können wir erfolgreich ätherische Öle aus Heilpflanzen gewinnen. Allerdings sind diese stark mit Wasser verdünnt, was sie für Untersuchungen auf eine antibakterielle Wirkung unbrauchbar macht. Bilder der fertigen Extrakte befinden sich im Anhang (s.4.7.1.1)

2.2.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora)

Der Versuch hat keine aussagekräftigen Ergebnisse über die antibakterielle Wirkung der Extrakte, die wir mit der Wasserdampfdestillation hergestellt haben, geliefert. Die Ursachen für dieses Problem werden in der Fehleranalyse (s. Diskussion 3.1.1.1; Anhang 4.6.2.3) beschrieben.

Es ist zu erkennen, dass es keine gleichmäßige Verteilung der Bakterien gibt: Durch die Applikation mit einer Impföse wird die Bakterienlösung nur entlang des Zick-Zack-Musters aufgetragen. Ebenfalls wird der Nährboden durch die Impföse an diesen Stellen beschädigt, wodurch sich die Bakterien entlang des Zick-Zack-Musters verbreiten, durch die Beschädigung sind sie in die Tiefe gewachsen.

Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass sich bei allen drei getesteten Mitteln (Thymian, Lavendel, Kamille) keine Hemmhöfe gebildet haben. Insgesamt fällt aber auf, dass sich die Bakterien bei beiden Thymianansätzen weniger stark vermehrt haben. Diese Unterschiede könnten aber auch auf eine ungleichmäßige Bakterienapplikation zurückzuführen sein. Die geringe bis fehlende antibakterielle Wirkung der gewonnenen Extrakte begründet sich in der starken Verdünnung der ätherischen Öle mit Wasser. Je geringer der Anteil der ätherischen Öle innerhalb der Suspension, desto geringer ist auch die Menge an ätherischem Öl in den Ansätzen und somit deren Wirkung.

Vergleicht man die Ansätze mit Filterpapier mit den Ansätzen, bei denen das Extrakt direkt angewendet wurde, so fällt auf, dass alle Ansätze ohne Filterpapier ein deutlich geringeres Bakterienwachstum aufweisen. Da dies sowohl bei den Extraktansätzen als auch bei der Blindprobe auftritt, ist erwiesen, dass dies nicht an der antibakteriellen Wirkung der Extrakte, sondern an dem Fehlen des Filterstücks liegt.

Die Analyse der Leerprobe, bei welcher keine Bakterien verwendet werden, weist Bakterien auf. Dies ist aufgrund mangelnder Sterilität beim Ansetzen des Versuchs möglich. Das Ergebnis ist ein Indikator dafür, dass nicht ausreichend präzise gearbeitet wurde und

wahrscheinlich auch andere Ansätze durch fremde Bakterien kontaminiert sind. Dadurch sind die Ergebnisse dieses Versuches unbrauchbar und eine Wiederholung mit verbessertem Verfahren unabdingbar.

2.2.3 Hemmhoftest 2 (Erwinia amylovora)

Als erstes fällt auf, dass sich bei der Blindprobe keine Hemmhöfe bilden. Da in der Blindprobe statt der potentiell antibakteriellen Mittel Wasser verwendet wurde, kann sich die Bakterienkultur ungehindert vermehren und die gesamte Petrischale besiedeln.

Der Ansatz mit Streptomycin zeigt den anderen Extremfall, hier können sich im gesamten Untersuchungszeitraum keine Bakterien vermehren. Streptomycin wird als Antibiotikum gegen gramnegative Bakterien verwendet und ist als Bekämpfungsmittel gegen Feuerbrand bekannt. Der Kurvenverlauf zeigt, dass die Wirkungsweise des Antibiotikums bakterizid ist, d.h. die Bakterien werden nicht nur in ihrer Vermehrung gehindert, sondern durch das Antibiotikum abgetötet.

Die Extrakte aus Kamillenblüten, Pelargonienwurzel, Rotes Weinlaub, russisches Estragonkraut, Pfefferminzblätter, Zwiebel, Schafgrabenkraut sowie Wermutkraut zeigen geringe bis keine antibakterielle Wirkung. Pelargonienwurzel und Schafgrabenkraut bildeten während des gesamten Versuchzeitraums keine Hemmhöfe, während die anderen Extrakte außer Wermutkraut nur zu Beginn des Versuchs kleinere Hemmhöfe (<=5 mm) bildeten, die am zweiten Tag jedoch wieder von Bakterien überwachsen waren. Wermutkraut zeigte am ersten Tag keinen und am zweiten Tag einen kleinen Hemmhof (3 mm), der an den nachfolgenden Tagen verschwand.

Die Extrakte aus Pelargonienwurzel und Schafgrabenkraut zeigen in diesem Versuch keine antibakteriellen Wirkungen. Die restlichen Extrakte zeigen eine schwach bakteriostatische bis keine antibakterielle Wirkung. Das temporäre Auftreten kleinerer Hemmhöfe muss nicht zwingend als schwach antibakterielle Wirkung interpretiert werden: Es kann ebenfalls durch die alleinige Verteilung der Flüssigkeit vom Filterpapierstück ausgehen, welches kurzzeitig das Bakterienwachstum an dieser Stelle hemmt.

Die Extrakte aus Thymiankraut (Extraktion durch Ethanol), Zimtrinde, Zistrosenkraut (Extraktion durch Wasser), Traubenkerne und Thymian (Extraktion durch Wasser) zeigen eine mittlere antibakterielle Wirkung gegenüber Erwinia carotovora.

Die Ansätze mit Thymiankraut (Ethanol) und Zimtrinde zeigen während der gesamten Versuchszeit gleichbleibende Hemmhöfe von 3-4 mm. Das Zistrosenkraut (Wasser) zeigt nur an den Tagen 1 und 3 Hemmhöfe. Der Ansatz mit Traubenkernextrakten startet mit einem Hemmhof von 5 mm und werden täglich weniger. Der Ansatz mit Thymiankraut (Wasser) zeigt nur am 2. Tag einen Hemmhof von 14 mm.

Die beste antibakterielle Wirkung zeigen die Ansätze mit Extrakten aus Salbeiblättern und Zistrosenkraut (Extraktion durch Ethanol). Beide Kurven starten mit geringen Hemmhöfen (4 mm) und erreichen am zweiten Tag ihren größten Hemmhof, welcher am dritten Tag konstant bleibt. Während der Hemmhof bei dem Ansatz mit Salbei nach sechs Tagen verschwindet, bleibt der Hemmhof bei Zistrosenkraut konstant. Neben dem konstanten Hemmhof übertrifft Zistrosenkraut den Hemmhof von Salbei (14 mm) um 7 mm und schneidet somit von allen getesteten Extrakten aus Heilkräutern am besten ab. Es ist daher zu vermuten, dass beide Extrakte bakterizid wirken. Somit erreicht Zistrosenkraut im Durchschnitt maximal 47,1% der Wirkung von Streptomycin bzw. 60,0% an den Tagen 2-6. Jedoch ist einzuwenden, dass der Hemmhof von Streptomycin durch die Grenzen der Petrischalen limitiert wird, die Wirkung von Streptomycin könnte noch stärker sein.

2.2.4 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora)

2.2.4.1 Berechnung

Da jeder Ansatz aufgrund der verschiedenen, verwendeten Extrakte unterschiedliche Ausgangswerte hat, werden die Ausgangswerte jeweils von den anderen Werten subtrahiert. Ebenfalls werden die Ergebnisse invertiert, da ein Absinken der gemessenen lux-Werte auf ein Bakterienwachstum deutet.

2.2.4.1 Ergebnisse

Um zu beweisen, dass die Veränderungen nicht auf Messungenauigkeiten beruhen, wird bei jeder Messung eine Probe mit Nährlösung ohne Bakterien mitgemessen, die sich faktisch in ihrer Trübheit nicht ändert und eine Kontrollprobe darstellt. Somit können alle Schwankungen dieser konstanten Flüssigkeit als Messfehler interpretiert werden und dienen als Messtoleranz für die anderen Proben:

	00:00	**01:00**	**02:00**	**03:00**	**04:00**	**05:00**	**06:00**
Nährlösung	1102	1133	1130	1160	1110	1183	1120

Tabelle 1: Ergebnisse der Kontrollprobe

Betrachtet man den Kurvenverlauf der Blindprobe genauer, so fällt auf, dass dieser zunächst 2h lang steigt, anschließend fällt er 3h unter den Startwert und erreicht nach insgesamt 5h ein Plateau.

Betrachtet man die anderen Proben, so fällt auf, dass sich die Kurve des Zwiebelansatzes ähnlich verhält.

Die anderen Kurven lassen sich in drei Gruppen einteilen:

Die Kurven der Ansätze mit Pelargonienwurzel, Zistrosenkraut (Ethanol und Wasser), Traubenkerne und Kamille bleiben nahezu konstant, wobei die Kurve des Kamillenansatzes sogar unter dem Nullwert verläuft. Die Kurven von Thymian (Ethanol), Zimtrinde, russisches Estragonkraut und Wermutkraut zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die Blindprobe. Allerdings sind die Kurven abgeschwächt und/oder zeitlich verschoben. Die Kurven von Rotem Weinlaub und Pfefferminze steigen im Verlauf der Zeit konstant. Die Kurve von Salbei ist die einzige Kurve, die stärker ausschlägt als die Blindprobe.

Dieser Verlauf wirkt zunächst paradox, da trotz faktischer Zunahme der Bakterien, die Trübheit in der Blindprobe nach 2h sinkt.

Diese Entwicklung lässt sich mittels einer Hypothese erklären: Die Bakterien vermehren sich ausgehend vom Startpunkt exponentiell. Die erhöhte Anzahl an Bakterien verstoffwechselt eine immer höhere Anzahl an Nährstoffen aus der enthaltenen Nährlösung. Da die Stoffwechselprodukte weniger Licht als die Nährstoffe adsorbieren, wird die Lösung insgesamt weniger trüb. Nach 2h überwiegt die Verstoffwechslung das Bakterienwachstum in Bezug auf die Trübheitsveränderung und die Lösung wird klarer, die Kurve sinkt. Mit der Zeit werden viele Nährstoffe verstoffwechselt und die wachstumslimitierenden Nährstoffe verlangsamen das Bakterienwachstum. Ebenfalls sinkt durch den geringeren Nährstoffanteil die Bedeutung der Verstoffwechslung der Nährstoffe für den Trübheitsgrad. Die negative Steigung der fallenden Kurve wird geringer. Die beiden sich beeinflussenden Faktoren Nährstoffgehalt und Bakterienvorkommen limitieren sich gegenseitig und so erreicht die Kurve nach 6h ihr Plateau.

Nach dieser Hypothese würden die Ansätze mit Pelargonienwurzel, Zistrosenkraut (Ethanol und Wasser), Traubenkerne und Kamille kein Bakterienwachstum aufweisen. Die Ansätze von Thymian (Ethanol), Zimtrinde, russisches Estragonkraut und Wermutkraut würden ein geringeres Bakterienwachstum als die Blindprobe aufweisen. Die Ansätze mit Rotem Weinlaub, Pfefferminze und Salbei zeigen demnach ein ungehindertes Bakterienwachstum.

Für diese Hypothese spricht, dass alle Kurven einen ähnlichen Verlauf haben und es kaum Ausschläge gibt, was ein Indiz für Messfehler wäre, sondern sich die Werte über einen Zeitraum von 6 h in Form einer regelmäßigen Kurve ausbilden. Die geringen Abweichungen der Kontrollprobe (Nährlösung) unterstützen dies ebenfalls. Ebenso fällt auf, dass beide Zistrosenkrautansätze, mit wahrscheinlich ähnlichen Wirkstoffen sich ähnlich verhalten.

Dagegen spricht zum einen, dass vom Volumen betrachtet 48x mehr Nährlösung als Bakterienlösung zur Verfügung steht (Verdünnung nicht mit eingerechnet) und diese Nährstoffe in nur 6h verbraucht werden müssten. Zum anderen zeigen sich bis auf Zistrosenkraut kaum Überschneidungen mit dem Hemmhoftest: Während der Ansatz mit Salbei im

Hemmhoftest einer der größten Hemmhöfe ausbildet, weist er in diesem Versuch laut der Hypothese keine antibakterielle Wirkung auf.

Da der Versuch aufgrund der gründlichen Planung und Dokumentation reproduzierbar ist, ist eine Wiederholung des Versuchs sowie eine Variation mit verschiedenen Extrakt- und Bakterienkonzentrationen zu einem späteren Zeitpunkt wichtig, um die Ergebnisse zu verifizieren bzw. zu falsifizieren.

2.2.5 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum

Da sich die einzelnen Trockenextrakte auch in ihrer inneren Zusammensetzung unterscheiden, muss sichergestellt werden, dass nicht beigesetzte Stoffe für die Hemmung des Kressewachstums verantwortlich sind. Neben dem nativen Extrakt enthalten die Trockenextrakte sprühgetrocknetes Glucose-Sirup, Sliciumdioxid (tw. hochdispers, teilweise wassergefällt) und Maltodextrin.

Alle diese beigefügten Stoffe sind weder giftig, noch beeinflussen sie positiv oder negativ das Pflanzenwachstum. Ebenfalls zeigt eine Analyse der erhobenen Daten, dass es keine Kohärenz zwischen beigesetzten Inhaltsstoffen und Pflanzenwachstum gibt. So gibt es z.B. Ansätze mit beigefügtem Maltodextrin, die kein Pflanzenwachstum zeigen (Zimtrinde) und welche, die ausreichendes Pflanzenwachstum zeigen (2. Thymiankraut). Gleiches gilt für Siliciumoxid.

Somit beruhen die gemessenen Wirkungen auf den beigesetzten Extrakten, da sie der einzige sich verändernde Faktor sind.

Die Kresse hat in ihren Samen alle für das am Anfang zu erledigende Wachstum notwendigen Nährstoffe gespeichert. Somit benötigt sie lediglich am Anfang Wasser, um zu wachsen. Mit dem Auftreten erster grüner Pflanzenteile wird zudem Licht zur Fotosynthese benötigt. All diese wachstumslimitierenden Faktoren stehen allen Pflanzen gleich zur Verfügung. Jedoch werden einige Mengen des Wassers, je nach hygroskopischer Eigenschaft des Trockenextraktes und seiner Zusätze, von den Trockenextrakten aufgenommen und stehen der Kresse nicht mehr zu Verfügung. Da Wasser ein wachstumslimitierender Faktor ist, könnte dies eine Erklärung für die geringeren Keimzahlen der 1. Gruppe zeigen. Allerdings muss erwähnt werden, dass bei konstantem Wasserverbrauch der Pflanze vor allem am Anfang ausreichende Wassermengen vorhanden sind. Ebenfalls spielt Wasser eher bei dem eigentlichen Wachstum der Pflanze eine Rolle, da hier größere Mengen benötigt werden als bei der Keimung.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil der gekeimten Samen sich bei allen Ansätzen im Verlauf der Zeit erhöht. Ebenfalls liegen die Ergebnisse der Ansätze mit beigesetzten Trockenextrakten unter denen der Blindprobe.

Betrachtet man die Ergebnisse näher, so lassen sich die Ergebnisse der einzelnen Ansätze in drei Gruppen zusammenfassen:

Bei den Ansätzen mit Extrakten aus Kamillenblüten, Pelargonienwurzel, Zistrosenkraut, Thymian und Wermut sind am dritten Tag über die Hälfte der Samen gekeimt. Am sechsten Tag hat sich die Anzahl der gekeimten Samen erhöht und liegt bei 20-25 gekeimten Samen und somit nahe der Blindprobe. Da ich von geringen Auswirkungen der Extrakte von Heilkräutern auf das Pflanzenwachstum ausgegangen bin, habe ich mich dazu entschieden, die Kresse mit 0,3 g Trockenextrakt/30 ml zu bewässern. Bei solchen Konzentrationen handelt es sich um eine gesättigte Lösung bis Suspension. Diese hohen Konzentrationen an Trockenextrakt erklären auch das geringfügige Keimen der Kressesamen: Dieses begründet sich nicht durch die wachstumshemmenden Eigenschaften des Extraktes, sondern vielmehr durch das Beisetzen eines trockenen Pulvers allgemein: Zum einen sorgen hygroskopische Eigenschaften der trockenen Pulver dafür, dass den Samen insgesamt weniger Wasser zur Verfügung steht und zum anderen kann sich durch Wasser-Trockenextrakt-Mischungen in bestimmten Verhältnissen eine sirupartige, viskose Flüssigkeit bilden, welche die Samen verklebt und so eine Keimung hindert bzw. verzögert. (vgl. Verzögerung der Keimung im Diagramm). Da die Auswirkungen in realitätsfernen Konzentrationen und Relationen zwischen verwendetem Extrakt und Pflanzengröße kaum Auswirkungen auf die Keimung haben, ist davon auszugehen, dass bei einer realistischer Anwendung zur Feuerbrandbekämpfung die Extrakte keine nachteiligen Effekte auf das Wachstum der behandelten Pflanzen darstellt.

Bei den Ansätzen mit Extrakten aus Salbei, Zistrosenkraut, Traubenkernen und Zwiebel sind am dritten Tag 1-3 Samen gekeimt. Am sechsten Tag hat sich die Anzahl der gekeimten Samen um das bis zu 8,5-fache vervielfacht. Etwas mehr als die Hälfte der Samen ist gekeimt, jedoch ist die Anzahl der gekeimten Samen geringer als bei der oberen Gruppe und der Blindprobe. Bei diesen Ansätzen traten folglich zwei Effekte auf: Zum einen wurde das Keimen insgesamt um mehrere Tage verschoben, zum anderen wurde die relative Menge an gekeimten Samen dezimiert. Die Verzögerung des Keimungsprozesses deutet neben den oben beschriebenen Effekten wie Wasserentzug und Verklebung, auf weitere negative Auswirkungen der Trockenextrakte auf den Keimungsprozess hin. Es ist jedoch zu beachten, dass über 50% der Samen am sechsten Tag gekeimt sind. Eine Untersuchung über einen längeren Zeitraum würde zeigen, ob die Keimung lediglich verzögert oder ob die Samen ihre Fähigkeit zum Keimen verloren haben. Unter realistischer Anwendung der Extrakte treten meiner Vermutung nach keine großen nachteiligen

Effekte auf. Allerdings wäre bei den vorliegenden Ergebnissen eine Untersuchung der Auswirkungen von geringen Konzentrationen empfehlenswert.

Die Extrakte aus Thymian, Zimtrinde, Rotem Weinlaub, russischem Estragonkraut, Pfefferminz und Schafgarbenkraut zeigen am dritten Tag keine bis kaum Keimung. Die Anzahl der gekeimten Samen bleibt auch nach 6 Tagen unter 4 von 25 Samen. Teilweise keimen während des gesamten Versuchsdurchlaufs keine Samen. Das Ergebnis zeigt eine deutliche Verhinderung des Keimungsprozesses bei den getesteten Extrakten, welche verglichen mit der ersten Gruppe nicht an der Verwendung eines allgemeinen Pulvers liegen, sondern vielmehr an den in ihm enthaltenen Wirkstoffen. Die Tendenzen der Keimungs-verhindernden Wirkungen müssen allerdings bei geringen Konzentrationen nachgewiesen sein, bevor eine Verwendung zur Feuerbrandbekämpfung in Betracht gezogen wird. Ebenfalls ist zu hinterfragen, ob sich die Extrakte auch in geringen Konzentrationen bei größeren Pflanzen wie Apfel- oder Birnenbäumen durchsetzen.

Die Wachstumshöhen verhalten sich kohärent zu den Ergebnissen der Anzahl der gekeimten Kressesamen: Ansätze mit vielen gekeimten Kressesamen erzielen insgesamt höhere Wachstumshöhen als Ansätze mit wenig gekeimten Kressesamen.

Betrachtet man die minimalen und maximalen Wachstumshöhen, so fällt auf, dass Kamille, Pelargonienwurzel, Zistrosenkraut, rotes Weinlaub und Wermutkraut die höchsten Minimal- und Maximalhöhen erzielen. Auffällig ist dabei, dass alle Extrakte außer Rotes Weinlaub schon bei Testung der insgesamt gekeimten Kressesamen am besten abgeschnitten haben. Diese Tatsache kann mehrere Ursachen haben:

Zum einen haben Triebe, welche schon früh keimen, insgesamt mehr Zeit zum Wachsen und können so bei gleicher Wachstumsgeschwindigkeit höher wachsen. Da bei der ersten Gruppe ein Großteil der Kressesamen schon am 3. Tag (oder früher) gekeimt war, sind die kleinsten Triebe dementsprechend größer als andere Ansätze. Es zeigt sich also ebenfalls eine Kohärenz zwischen Wachstumshöhe und dem Zeitpunkt der Keimung. Zum anderen ist anzunehmen, dass Extrakte, die kaum negative Auswirkungen auf das Keimen der Kresse hat, ebenfalls kaum negative Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum haben. Es fällt allerdings auf, dass Rotes Weinlaub, trotz seiner geringen Anzahl an gekeimten Kressesamen überdurchschnittliche Wachstumshöhen beim kleinsten Trieb erzielt. Den Ansätzen mit wenigen Samen, die gekeimt sind, stehen mehr wachstumsfördernde Ressourcen wie Wasser zur Verfügung, im Vergleich zu den Ansätzen mit einer hohen Anzahl an gekeimten Samen. Dies bietet einen Wachstumsvorteil für die gekeimten Samen.

Blickt man auf die Ergebnisse der zweiten Gruppe (Salbei, Zistrosenkraut(Extraktion durch Ethanol), Traubenkerne, Zwiebel) zurück, so würde man aufgrund der verzögerten Keimung eines Großteils der Samen annehmen, dass die maximalen Wachstumshöhen

in Relation zur ersten Gruppe nicht so schlecht abschneiden, wie die durchschnittlichen Wachstumshöhen im Vergleich zur ersten Gruppe. Genau diese Tatsache wird durch die Ergebnisse bestätigt: Die wenigen Kressesamen, die schon bis zum 3. Tag keimen konnten (<4; vgl Diagramm Anzahl gekeimte Samen), haben ausreichend Zeit zum Wachsen und erreichen im Vergleich zum Durchschnitt hohe Wachstumshöhen. Der Großteil der Samen keimt jedoch erst zwischen dem 4. und 6. Tag und hat so folglich weniger Zeit zum Wachsen und erreicht weniger hohe Wachstumshöhen.

Insgesamt erzielt die 2. Gruppe schlechtere Ergebnisse als die 1.Gruppe, welche zum einen durch die verzögerte Keimung, zum anderen aber auch durch eine wachstumshemmende Wirkung der Extrakte bestätigt werden können.

Die Ansätze mit Thymiankraut (Extraktion durch Ethanol), Zimtrinde, russisches Estragonkraut, Pfefferminz und Schafgrabenkraut erzielen die geringsten Minimal- und Maximalwachstumshöhen. Bei den Ansätzen Pfefferminz und Zimtrinde kommt es zu keinem Wachstum, da keine Samen gekeimt sind. Die Ansätze mit Thymiankraut(Ethanol), russischem Estragonkraut und Schafgrabenkraut erreichen nur Wachstum am 4. – 6. Tag, da auch dann erst Samen gekeimt sind. Die minimalen und maximalen Wachstumshöhen fallen jedoch am 6. Tag gering aus. Das geringe bis fehlende Wachstum begründet sich, wie oben erwähnt, in der späten Keimung und einer möglichen Wachstumseinschränkung.

Aus den hohen Minimal-Wachstumshöhen und Maximal-Wachstumshöhen als obere und untere Grenze resultieren so für diese Gruppe ebenfalls hohe Durchschnittswerte. Da der höchste und niedrigste Trieb nicht in den Mittelwert mit einberechnet ist, zeigt ein hoher Durchschnittswert, dass die Triebe dieses Ansatzes insgesamt hoch gewachsen sind.

3 Schluss

3.1 Diskussion

3.1.1 Evaluation und Optimierung der Versuche

3.1.1.1 Hemmhoftest 1

Eine vollständige Fehleranalyse befindet sich aufgrund des Umfangs im Anhang der Arbeit (s. Anhang 4.6.2.3). Da der erste Hemmhoftest durch den zweiten Hemmhoftest in optimierter Form wiederholt worden ist, konzentriert sich die Diskussion auf die Evaluation des zweiten Hemmhoftests.

Zusammenfassend gesagt wurden konzentrierte Extrakte der Firma Finzelberg verwendet, das sterile Umfeld verbessert, Nährboden, Bakterienlösung und Extraktlösung in standardisierten Mengen verwendet und die Bakterienlösung gleichmäßig planiert, um eine Hemmhofbildung zu ermöglichen.

3.1.1.2 Hemmhoftest 2

Da der zweite Hemmhoftest eine Optimierung des ersten Hemmhoftests darstellt und eine entsprechende Fehleranalyse vorliegt, beschränkte ich mich an dieser Stelle lediglich auf den zweiten, erfolgreichen Hemmhoftest.

Zu allererst ist die schwierige Differenzierung zwischen Nährboden und Bakterienkultur zu kritisieren. Durch ähnliche Farbtöne war eine optische Unterscheidung oft schwer, was zu potentiellen Messfehlern führen kann.

Die Differenzierung zwischen Bakterien und Nährboden kann durch Einfärbung des Nährbodens geschehen. Dazu bietet sich Lebensmittelfarbe aufgrund ihrer hohen Verträglichkeit an. Zudem ist eine Färbung mit Schafsblut möglich, welche von vielen mikrobiologischen Labors verwendet wird. Neben der intensiven Färbung dient das Schafsblut auch als Bakteriennährstoff. Zuvor sollten jedoch mögliche antibakterielle / wachstumsfördernde Eigenschaften der entsprechenden Färbemittel getestet werden, um Verfälschungen der Messergebnisse auszuschließen.

Ebenfalls ist uns aufgefallen, dass die Hemmhöfe im Vergleich zu Experimenten anderer Arbeiten mit Antibiotika sehr unregelmäßig biomorph und nicht gleichmäßig kreisförmig verliefen.

Die ungleichmäßige Verteilung kann durch die Verwendung kreisrunder statt quadratischer Filterpapierstücke minimiert werden. Ebenfalls wäre es sicherer, statt die Filterpapierstücke in die Extraktlösung zu geben und anschließend auf den Nährboden zu geben,

das Filterpapierstück erst auf den Nährboden zu platzieren und anschließend eine abgemessene Menge Extraktlösung auf das Filterpapierstück zu geben.

Allerdings ist einzuwenden, dass durch gleiche Gesamtextraktlösungsmenge, Filterpapiergröße und Eintauch- bzw. Abtropfzeit, die Menge an Extraktionslösungsmenge sich nur geringfügig unterscheiden kann.

Ebenfalls können (ungleichmäßige) Hemmhöfe durch das Wegspülen von Bakterien durch Kondenswasser oder überschüssige Extraktlösung entstehen. Um dieser Fehlerquelle vorzubeugen, ist es möglich, die Extraktlösung möglichst gering zu halten, so dass diese nur geringfügig diffundiert und sich nicht in größeren Mengen frei bewegt. Es ist allerdings darauf zu achten, dass geringere Mengen die Wirkung des Extraktes minimieren. Kondenswasser ist ebenfalls eine Fehlerquelle, es entsteht primär beim Abkühlen des zunächst kochenden Nährbodens. Da aufgrund von Infektionsvermeidung die Petrischale beim Abkühlvorgang geschlossen bleiben muss und nur ein geschlossenes System Kondensation erzeugt, ist es ratsam, die Petrischalendeckel mit dem angesammelten Kondenswasser nach dem Abkühlen durch neue, trockene Petrischalendeckel auszutauschen.

Da entsprechend angesammelte Flüssigkeit die Bakterien nur in Bewegung wegspülen kann, ist auf ein langsames Bewegen der Petrischale bei der Auswertung zu achten. Ebenfalls kann das Bewegen der Flüssigkeiten durch simples waagerecht halten der Petrischalen minimiert werden.

Bei Auswertung des Versuchs ist aufgefallen, dass die Ergebnisse teils von Tag zu Tag schwanken. Diese starken Schwankungen könnten ein Indiz für mögliche Messfehler sein, allerdings sind diese Schwankungen aber auch über das exponentielle Bakterienwachstum erklärbar.

Positiv zu bewerten ist die korrekte und präzise Durchführung der Versuche durch eine detailgenaue Planung. Der Hemmhoftest lief ohne Komplikationen ab. Dies zeigt sich auch daran, dass selbst nach mehreren Tagen kein Pilz oder Befall durch andere Bakterien auftrat, was für die Qualität der Durchführung und das sterile Arbeiten trotz schwieriger Schulbedingungen spricht.

Ebenfalls hat sich die Dokumentation durch Messen und Markieren der Hemmhöfe und das fotografische Festhalten der Ergebnisse in der Auswertung bewährt. Die exakte Dokumentation macht den Versuch besser nachvollziehbar und beweisbar.

Außerdem konnten für alle Ansätze durch Abwiegen des Nährmediums, gleiche Filterpapiere und Bakterienmengen etc. gleiche Versuchsbedingungen geschaffen werden, was die Ergebnisse qualitativ hochwertiger und die quantitativen Messungen aussagekräftiger macht.

Zudem zeigt sich auch in der Auswertung, dass die gewonnen Ergebnisse in sich korrekt und logisch nachvollziehbar sind. Dies ist ein weiteres Indiz für geringe Fehlerquellen.

Interessant wäre es, denselben Versuch mit Verdünnungsreihen der Extrakte durchzuführen: Dadurch kann die Wirkungsweise der einzelnen Extrakte untereinander besser verglichen werden und eine Abhängigkeit der Wirkungsweise von der Extraktkonzentration gezeigt werden.

Außerdem erhöht die Wiederholung des Versuchs die Aussagekraft der Ergebnisse.

Durch mehrfache Reproduktion desselben Versuchs kann die Korrektheit der einzelnen Ergebnisse verifiziert und deren Aussagekraft insgesamt gesteigert werden.

Um den Diffusionsradius der Extrakte zu testen, um zu beweisen, dass die Hemmhöfe tatsächlich durch die antibakterielle Wirkung des Extraktes entstehen können, kann folgender Versuch angesetzt werden:

Ein Ansatz wird, wie in der Arbeit dokumentiert, angesetzt. Zusätzlich wird auf den Nährboden ein Indikator dünn aufgetragen. Anstatt in die Extraktlösung wird das Filterpapier in eine Flüssigkeit getaucht, die den Indikator bei ihrem Kontakt verfärbt (z.B. eine saure oder basische Lösung bei einem pH-Indikator). Danach wird der Versuch in den Wärmeschrank gestellt und die Indikatorverfärbung regelmäßig dokumentiert. Es ist wichtig, dass der Versuch unter gleichen Bedingungen (Wärmeschrank) durchgeführt wird wie der Versuch mit den Extrakten, da Diffusion aufgrund der Brownschen Molekularbewegung temperaturabhängig ist.

Wegen der farblosen Eigenschaften im neutralen und sauren Bereich und violetter Verfärbung im alkalischen Bereich (ab pH 8,3) ist Phenolphythalein in Verbindung mit einer Lauge für diesen Versuch besonders geeignet.

3.1.1.3 Flüssigmediumtest

Da der Versuch keine eindeutig erklärbaren Ergebnisse geliefert hat, ist eine Wiederholung des Versuchs durchzuführen. Wenn es gelingt, aus dem Versuch eine standardisierte Methode zu entwickeln, die sicher Rückschlüsse auf Bakterienwachstum gibt, können die Auswirkungen weiterer Umweltfaktoren (Temperatur, pH-Wert,…) untersucht werden.

Um eine starke Suspensionsbildung zu vermeiden, empfiehlt es sich bei einer Wiederholung geringere Trockenextraktkonzentrationen zu verwenden, da eine Suspension trotz Schütteln zu Messungenauigkeiten führen kann. Ebenfalls sind, wie bereits beschrieben, verschiedene Bakterien und Trockenextraktkonzentrationen zu kombinieren und deren Auswirkungen auf die Trübheit zu analysieren. Außerdem wäre es interessant zu sehen,

wie sich verschiedene Umweltbedingungen (Temperatur,…) auf das Bakterienwachstum auswirken.

Es wäre ebenfalls denkbar, den Versuch durch die Kooperation mit einem Institut mit Zugang zu einem Fotometer zu wiederholen und beide Ergebnisse zu vergleichen. Außerdem ist eine Wiederholung des Versuchs mit einem Streptomycinansatz zum Vergleich durchzuführen.

3.1.1.4 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum

Der Versuch hat durch eine korrekte Ausführung des Versuchsablaufs zu erwartende logische Ergebnisse geliefert. Es konnten rückblickend keine Fehler bei der Durchführung und Auswertung der Versuche gemacht werden. Positiv zu erwähnen ist die exakte und detaillierte Auswertung der Versuche, untergliedert in mehrere Messparameter, und die fotografische Dokumentation.

Allerdings hat sich gezeigt, dass die Verwendung großer Mengen an Extrakten zu extremen Ergebnissen führt, was ich zunächst nicht erwartet hätte. Demnach wäre es sinnvoll, die Auswirkungen noch einmal in Relation zur Konzentration mit Hilfe von Verdünnungsreihen zu messen. Dadurch kann auch zwischen den einzelnen Extrakten besser differenziert werden und eine Zusammenhang zwischen Konzentration und Wachstumshemmnis gezeigt werden. Zudem könnte durch entsprechendes Gießen der Kresse und größere Gefäße die Versuchsdauer verlängert werden. Zwar wurden die Kressesamen gleichmäßig auf der Watte verteilt, um gegenseitige Wachstumshinderung zu vermeiden, allerdings könnte diese Technik durch ein entsprechendes Raster (eine Schablone mit Löchern für die Kressesamen in regelmäßigen Abständen) perfektioniert werden.

3.1.2 Ideen für weitere Experimente

3.1.2.1 Hemmhof- und Flüssigmediumtest mit Erwinia amylovora

Da unsere Schule kein Sicherheitsstufe 1 Labor besitzt und mir eine entsprechende Ausbildung/Qualifikation fehlt, ist es uns laut der Feuerbrandverordnung nicht gestattet, Versuche mit dem eigentlichen Feuerbranderreger Erwinia amylovora zu machen. Daher haben wir uns wie oben erwähnt für die Alternative Erwinia carotovora entschieden.

Obwohl sich beide Bakterienarten sehr ähneln ist es unabdinglich zu testen, ob die getesteten Extrakte auch bei Erwinia amylovora eine antibakterielle Wirkung zeigen. Es ist zu erwarten, dass die Extrakte eine ähnliche Wirkweise wie bei Erwinia carotovora zeigen, da die verwendeten Extrakte für ihre allgemein antibakterielle Wirkung stehen.

Streptomycin zeigt eine hohe antibakterielle Wirkung gegen Erwinia amylovora in entsprechenden Studien, wir konnten ebenfalls nachweisen, dass es bei Erwinia carotovora eine stark antibakterielle Wirkung zeigt.

Um die Vermutungen zu verifizieren ist es notwendig, die Hemmhof- und Flüssigmediumversuche mit Erwinia amylovora und in einem Sicherheitsstufe 1 Labor durchzuführen. Leider ist uns dies aufgrund zeitlicher Probleme im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr gelungen. Die Versuche sind ähnlich wie in dieser Arbeit zuzüglich der Optimierungen durchzuführen.

3.1.2.2 Versuche in Pflanzengewebe Gewebe

Um die räumliche Ausbreitung des Erregers und die Wirkung der Extrakte unter realeren Bedingungen zu untersuchen, ist es interessant die Reaktionen in pflanzlichem Gewebe zu untersuchen. Dazu kann man Pflanzenstücke wie z.B. Äste oder Fruchtstücke mit dem Bakterium infizieren und auf verschiedene Arten (Injektion, Aufsprühen,…) die Extraktlösungen auftragen, um zu erkennen, wie gut die Extrakte in realistischeren Umgebungen reagieren und wie sich der Erreger ausbreitet.

3.1.2.3 Freilandversuch

Um die praktische Anwendbarkeit und Wirkung unter realen Bedingungen zu untersuchen, stellt ein Freilandversuch das ideale Experiment dar:

Dazu werden gleich alte und große sowie gesunde Pflanzen infiziert und mit einem Gegenmittel (Extrakt) behandelt. Da sehr viele Umweltfaktoren die Feuerbrandausbreitung beeinflussen, ist es wichtig, den Versuch unter kontrollierbaren Bedingungen wie in einem Gewächshaus zu durchzuführen. Ebenfalls lassen sich in einem solchen Versuch die Ausbreitung zwischen den einzelnen Pflanzen über Vektoren besonders gut untersuchen und wie eine Verbreitung unterbunden werden kann. Zur Auswertung werden die Pflanzen dann einer Bonitur und fotografischer Dokumentation unterzogen. Neben optisch erkennbaren Symptomen wäre es aussagekräftiger, die Bakterienmengen über ein PCR-Verfahren festzustellen.

Allerdings sind solche Versuche sehr umfangreich und benötigen entsprechendes Fachwissen und Qualifikationen. Der logistische und zeitliche Aufwand macht es daher schwierig, solche Versuche im Rahmen einer BLL durchzuführen. Denkbar wären solche Experimente allerdings durch eine Kooperation mit Instituten, die sich mit der Pflanzenkrankheit Feuerbrand beschäftigen.

3.2 Fazit

Die Bekämpfung von Feuerbrand stützt sich heute auf wenige effektive Methoden: Am effektivsten und praktikabelsten ist derzeit das Entfernen befallener Stellen durch Schnittwerkzeug. Diese Methode zeigt sich allerdings in der Praxis als sehr arbeitsintensiv, außerdem bekämpft diese Methode nur die bereits sichtbaren Symptome des Feuerbrands und es ist fraglich, wie gut sich diese Methode gegen eine schnelle Verbreitung der Pflanzenkrankheit durchsetzen kann. Ebenfalls sehr effektiv zeigt sich der Einsatz des Antibiotikums Streptomycin, allerdings ist der Einsatz von Streptomycin sehr umstritten und eine Verwendung dieser Methode nur in Ausnahmefällen gestattet.

Andere Methoden zeigen eine zu geringe Effektivität, sodass sie nur als zusätzliche präventive Maßnahme eingesetzt werden können.

Zusammenfassend fehlt es der Feuerbrandbekämpfung bislang an effektiven Bekämpfungsmethoden. Vielversprechende Alternativen wie biologische Antagonisten oder Gentechnik befinden sich noch im Forschungsstadium, außerdem ist deren Unbedenklichkeit für Verbraucher und Umwelt umstritten.

Unsere und meine Versuche haben gezeigt, dass vor allem Salbei und Zistrosenkraut (mit Ethanol extrahiert) hohe antibakterielle Wirkungen gegenüber Erwinia carotovora zeigen. In einem weiteren Versuch konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Zistrosenkraut auch in hohen Konzentrationen kaum das Pflanzenwachstum negativ beeinflusst und Salbei eine mittlere Hinderung des Pflanzenwachstums erzeugt.

Diese zwei Extrakte stellen Ansätze zu einer alternativen Feuerbrandbekämpfung dar: Bevor sie allerdings praktisch eingesetzt werden können, ist noch eine Reihe an weiteren Untersuchungen nötig: Zum einen muss die Verträglichkeit gegenüber Apfelbäumen in praxisüblichen Konzentrationen überprüft werden, zum anderen muss auch eine antibakterielle Wirkung gegenüber Erwinia amylovora festgestellt werden.

Eine ausreichende antibakterielle Wirkung der Extrakte kann durch geänderte Extraktionsverfahren sowie höhere Konzentrationen und der Kombination mehrerer Extrakte miteinander erreicht werden.

Wie sich die Extraktlösungen allerdings in der praktischen Anwendungen verhalten ist schwierig zu sagen und muss mittels eines Feldversuchs, wie oben beschrieben, nachgewiesen werden. Ebenfalls ist zu untersuchen, ob die Extrakte blütenbesuchende Insekten fernhalten. Sollte dies der Fall sein, sind die Extrakte für eine Behandlung in der Blütezeit ungeeignet, da die Blüten so nicht bestäubt werden können.

Neben der Wahl eines natürlichen, antibakteriellen Extraktes stellt sich auch die Frage, wie ein solcher Extrakt angewendet werden soll:

Grundsätzlich sollten Behandlungen am besten schon präventiv stattfinden, da eine Abwehr weniger Bakterien, die sich an der Oberfläche der Pflanze befinden sich einfacher gestaltet als die Heilung einer bereits erkrankten Pflanze.

Eine entsprechende Anwendung macht in Zeiträumen Sinn, in denen das Risiko für eine Infektion besonders hoch ist. Dies ist zum einen der Fall bei Feuerbrandbefällen in näherer Umgebung, bei günstigen Wetterbedingungen, nach Großwetterereignissen sowie besonders in der Blütezeit. Ein ausgeweitetes Risikomanagement kann über das optimale Timing und Verwendung der richtige Methode entscheiden und die Feuerbrandbekämpfung zukünftig effizienter machen.

Besonders zu beachten ist die Behandlung von Stellen, durch die das Bakterium in den Wirtsorganismus eindringen kann: In der Blütezeit sind es die Blüten, zu sonstigen Zeiten vor allem Verletzungen.

Diese Arbeit hat gezeigt, dass neben Gentechnik und modernen Verfahren wie der Nutzung von biologischen Antagonisten auch mehrere Jahrhunderte bekannte, traditionelle Extrakte aus Heilpflanzen eine antibakterielle Wirkung zeigen können.

Entsprechende Extrakte stellen einen neuen Ansatz zur Bekämpfung von Feuerbrand dar. Allerdings wurde auch deutlich, dass die Extrakte momentan unter den Experimentbedingungen mittlere Wirkungsgerade zeigen und vor einem praktischen Einsatz deren Effektivität gesteigert werden muss, sowie einiges an Forschung in entsprechende Alternativen investiert werden muss, um deren praktische Anwendbarkeit zu ermöglichen.

Ebenfalls wurde klar, dass im Bereich der Feuerbrandbekämpfung noch Forschungsbedarf und dass die Suche nach umweltverträglichen Alternativen schwieriger ist als sie zunächst scheint. Es gilt ökonomische und ökologische Folgen abzuwägen und praktisch anwendbare Methoden zu entwickeln.

Letztendlich zeigt diese Arbeit auch, dass bei der Bekämpfung von Feuerbrand oft vergessen wird, dass es sich hierbei um eine Bekämpfung von anthropogenen Folgen der Monokulturen und des internationalen Handels handelt. Die Pflanzenkrankheit Feuerbrand konnte sich nur aufgrund dieser Strukturen so schnell verbreiten und zeigt die Nachteile des monokulturellen Anbaus und eines monostrukturierten Angebots auf. Neben dem Erforschen umweltverträglicher Bekämpfungsalternativen geht es auch um die Bekämpfung von Ursachen, die zur heutigen Feuerbrandsituation geführt haben und den Ausbau diversifizierter Strukturen, die Feuerbrand langfristig unterbinden.

3.3 Persönliche Erkenntnisse, kritische Rückschau

Abschließend soll die Arbeit noch einmal kritisch reflektiert werden, sowie persönliche Erkenntnisse aus der Arbeit dargestellt werden:

3.3.1 Allgemein

Es hat sich gezeigt, wie wichtig eine gute, vorausschauende Planung von wissenschaftlichen Arbeiten ist. Ebenfalls ist aufgefallen, dass wir uns am Anfang der Arbeit im Zeitmanagement verschätzt haben, mit einer besseren Zeiteinteilung hätten wir am Ende mehr Zeit für weitere Versuche gehabt. Beim Verfassen der Arbeit haben sich eine Vorstrukturierung des Textes sowie eine Organisation der vielen, verschiedenen Quellen in Ordner und Verwaltung der Literaturangaben bewährt.

Im Vergleich zu den 5 Jugend-forscht und Bundesumweltwettbewerb hat mich die tiefgehende Recherche und der hohe Theorieanteil überrascht. Hatten bei den Jugend-forscht-Arbeiten kurze Recherchen zu Randthemen ausgereicht, so waren detaillierte Literaturrecherchen eine elementarer Bestandteil dieser Arbeit. Auch das Zusammentragen von vielen verschiedenen Quellen und Informationen und Zusammenfügen mit eigenen Erkenntnissen in diesem Umfang war neu für mich.

In Bezug auf die Literaturrecherche hat sich gezeigt, dass es gerade bei detaillierten Fragestellungen schwierig ist, qualitativ hochwertige Quellen zu finden. Ebenfalls ist mir aufgefallen, wie wichtig das ständige Bewerten, Vergleichen und kritische Hinterfragen verwendeter Quellen, gerade im Internet, ist. Da die Forschung im Bereich Feuerbrand noch relativ jung ist, stellte es eine Herausforderung dar, qualitativ hochwertige Ergebnisse und Studien zu finden und auszuwerten.

Vor allem beim Umgang mit großen Datenmengen waren meine Kenntnisse aus 5 Jahren aktiver Jugend-forscht-Teilnahme und meiner einjährigen Tätigkeit als Betreuer in der NaWi-AG sehr hilfreich. So stellte das Digitalisieren, Auswerten und Visualisieren der Forschungsergebnisse für mich kein Problem dar.

Ebenfalls hat die Arbeit gezeigt, wie wichtig eine stetiges kritisches Hinterfragen, Optimieren und Reflektieren der eigenen Experimente ist, um zu guten Ergebnissen zu kommen.

Bei dem umfassenden Verständnis der Feuerbrandproblematik stellten die Darstellung der verschiedenster Aspekte, sowie das Einnehmen verschiedener Aspekte sich als unabdinglich heraus. Bei der Bewertung einzelner Maßnahmen musste ebenfalls darauf geachtet werden, dass möglichst alle Folgen möglicher Maßnahmen berücksichtigt werden.

3.3.2 Experimente

Betrachtet man die Experimente rückblickend, so fällt auf, dass die Versuche mit gesteigertem Wissensstand stets aussagekräftiger wurden, ebenfalls stellte sich das Wiederholen fehlgeschlagener Versuch als sinnvoll heraus, da sie nach entsprechender Fehleranalyse und Optimierung aussagekräftige Ergebnisse hervorbrachten.

Das Testen von über 14 verschiedenen Ansätzen erwies sich im Nachhinein aufwendiger als zunächst angenommen: Neben entsprechenden Materialen ist es vor allem die Zeit, welche sich durch die Summierung der sich wiederholenden Arbeitsschritte ergibt, die die Versuche so aufwendig machen. Ebenfalls schlägt sich der gesteigerte Aufwand auch in der Auswertung der vielen verschiedenen Daten nieder. Allerdings ist die Entscheidung, viele verschiedene Extrakte zu untersuchen, rückblickend positiv zu bewerten, da die Wahrscheinlichkeit ein antibakterielles Mittel zu finden höher war und die Unterschiede zwischen den Wirkweisen der verschiedenen Extrakte aufgezeigt werden konnten.

Experimentell betrachtet wäre es sinnvoll, die Versuche mit geringeren Extraktkonzentrationen unter realen Bedingungen zu wiederholen. Solche Untersuchungen sollte man sowohl im Labormaßstab als auch im Feldversuch durchführen. Allerdings ist es schwierig, entsprechende Genehmigungen für Freilandversuche mit Feuerbrand zu erlangen, da diese eine mögliche Quelle für eine Feuerbrandverbreitung darstellen. Ebenfalls benötigt man entsprechend präparierte Flächen und entsprechende Bäume und Werkzeuge. Denkbar wäre ein solcher Versuch in Verbindung mit einer entsprechend befugten Institution, die sowohl die Mittel als auch die Kompetenz besitzt entsprechende Versuche durchzuführen. Untersuchungen in Gewebe wären aber auch modellhaft in einem Labor vorstellbar.

3.3.3 Persönliche Erkenntnisse

Die BLL hat mir gezeigt, wie viel Arbeit hinter einer solchen Ausarbeitung steckt. Das habe ich am Anfang unterschätzt. Betrachtet man nun Dissertationen oder andere Veröffentlichungen, weiß man die Werke vielmehr zu schätzen.

Außerdem hat die Arbeit gezeigt, wie wichtig es ist, mit Rückschlägen bei Versuchen umzugehen, diese zu analysieren, zu optimieren und erfolgreich zu wiederholen. Wissenschaft fordert deshalb von den Forschenden Ausdauer und Ehrgeiz. Ebenfalls ist präzises und gewissenhaftes Arbeiten ein elementarer Bestandteil wissenschaftlicher Arbeitsweise.

Ebenfalls hat sich gezeigt, dass das Erstellen einer solchen Arbeit alleine schwierig ist und man auf Teamarbeit angewiesen ist. Forschen besteht nicht in einer einsamen Arbeit, sondern in der Interaktion mit anderen interessierten Menschen. Diese Interaktion

fand zu allererst durch meinen Freund und Mitforscher Yanik Söltzer statt, welcher Mitbearbeiter dieser Arbeit ist und den Entstehungsprozess beider Arbeiten begleitet hat. Ebenfalls fand diese Interaktion durch Ideen der Betreuungslehrerin Frau Edelmann-Schneider, sowie den Betreuungslehrern der NaWi-AG Frau Becker, Frau Schreiber und Herr Poloczek statt. Auch außerhalb der Schule wurde die Arbeit durch viele Experten unterstützt.

3.4 Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Frau Edelmann-Schneider bedanken, die mich in ihrer Funktion als zuständige Biologielehrerin während der ganzen BLL betreut hat. Angefangen beim Finden eines passenden Themas, stand sie mir stets mit wertvollen Tipps und Ratschlägen zur Seite. Sie organisierte sämtliche benötigte Materialien, die für die Versuche verwendet wurden. Außerdem knüpfte sie die Kontakte zu Wirtschaft und Wissenschaft. Sie ließ mich selbstständig arbeiten, unterstützte dabei doch insofern, dass der Gesamtüberblick nicht durch die vielen Details verloren ging.

Weiterhin danke ich den betreuenden Lehrern der NaWi-AG Frau Becker, Frau Schreiber und Herrn Poloczek, dass ich zu den AG-Zeiten meine Versuche durchführen konnte. Sie gaben mir praktische Tipps zur Versuchsdurchführung und unterstützten mich mit guten Ideen.

Die wichtigste Unterstützung aus dem außerschulischen Bereich stellte für mich die Firma Finzelberg aus Andernach da, die ich im Rahmen von zwei Schulexkursionen kennenlernte. Sie lieferten mir 14 verschiedene Trockenextrakte aus Heilpflanzen. Diese qualitativ hochwertigen Extrakte waren die Grundlage für die Experimente. Ohne die Unterstützung von Dr.Björn Feistel und Bernd Walbroel wären die aussagekräftigen Versuche nicht möglich gewesen.

Frau Schwöppe von der Kooperation Phytopharmaka stellte uns eine Apparatur zur Wasserdampfdestillation zur Verfügung. Nachdem das erste Gerät durch einen Defekt ausfiel, ersetzten sie dieses innerhalb kürzester Zeit durch ein Ersatzgerät.

4 Anhang

4.1 Literaturverzeichnis

[1] Agroscope (2013): Das Feuerbrandjahr 2013. In: *Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinanbau*, S. 9–12, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[2] Alexander; K., Steve; Strete, Dennis (2006): Mikrobiologisches Grundpraktikum. Ein Farbatlas. 1. Aufl. München [u.a.]: Pearson-Studium (Biologie).

[3] Autonome Provinz Bozen - Südtirol, Abteilung Landwirtschaft (2014): Feuerbrand (Erwinia amylovora). Hg. v. Autonome Provinz Bozen - Südtirol (Abteilung Landwirtschaft). Südtirol. Online verfügbar unter http://www.provinz.bz.it/landwirtschaft/themen/feuerbrand.asp, zuletzt aktualisiert am 27.05.2014, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[4] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (2014): Feuerbrand. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Online verfügbar unter http://www.lfl.bayern.de/ips/kleingarten/035205/, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[5] BDsoft (Hg.) (2009): Zellwand. Online verfügbar unter http://www.bdsoft.de/demo/index.htm?/demo/biologie/mikrobiologie/bakteriologie/begriffe/zellwand.htm, zuletzt aktualisiert am 27.09.2012, zuletzt geprüft am 29.06.2014.

[6] Bedlan, Gerhard (2009): Gesamtheitliche Strategie zur Bekämpfung des Feuerbrandes 2009 - 2013. in Österreich. In: *AGES*, S. 1–54, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[7] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hg.) (1985): Verordnung zur Bekämpfung der Feuerbrandkrankheit (Feuerbrandverordnung). Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/feuerbrandv_1985/BJNR025510985.html, zuletzt aktualisiert am 30.05.2014, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[8] Bundesministerium für Ernährung (2008): Strategiepapier zur Bekämpfung des Feuerbranderregers im Obstbau ohne Antibiotika 2008 - 2012, S. 1–44, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[9] DSMZ (Hg.) (2007): NUTRIENT AGAR. Online verfügbar unter http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium1.pdf.

[10] Düker, Andreas; Kipp, Heiko (2011): Stamminjektion zur Feuerbrandbekämpfung? In: *Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinanbau* (11), S. 13–15, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[11] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.) (2009): Arzneipflanzen. Anbau und Nutzen. Unter Mitarbeit von Barbara Wenig. Bundesminsterium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Gülzow.

[12] Friends of the Earth Austria (2000): Antibiotika zur Bekämpfung von Feuerbrand. Stellungnahme der Umweltschutzorganisation GLOBAL 2000, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[13] Heß, Michael: Vorkommen und Bedeutung der Schwarzbeinigkeit in Deutschland als Grundlage für die Bekämpfung durch neue Pflanzenschutzmittel. Online verfügbar unter http://www.alf-nd.bayern.de/pflanzenbau/linkurl_0_7_0_1.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2014.

[14] Hirsch, Siegrid; Grünberger, Felix (2005): Die Kräuter in meinem Garten. [Deutschland]: Freya Verlag.

[15] Hoffmann, Klemens (2013): Layout einer wissenschaftlichen Arbeit. mit Word 2013 für Windows & Macintosh, S. 1–9, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[16] Kellerhals, M. (2009): Züchtung krankheitsresistenter Apfelsorten. In: *Band 1, 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, S. 236–239, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[17] Kooperation Phytopharmaka (Hg.) (2014): Droge-Extrakt-Verhältnis (DEV). Online verfügbar unter http://www.koop-phyto.org/stada/droge-extrakt-verhaeltnis.php, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[18] Koradi, Martin (2013): Zimt bei Diabetes – zum aktuellen Stand des Wissens. Hg. v. Martin Koradi. Heilpflanzen-Info. Online verfügbar unter http://heilpflanzen-info.ch/cms/blog/archive/tag/cinnamomum-cassia, zuletzt aktualisiert am 24.06.2014, zuletzt geprüft am 24.06.2014.

[19] Kunz, Stefan (2004): Feuerbrandbekämpfung im ökologischen Obstbau. Ergebnisse der Bekämpfungsversuche 2004. In: *Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau*, S. 3–7, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[20] Madigan, Michael T.; Martinko, John M.; Parker, Jack (2001): Brock - Mikrobiologie. Hg. v. Spektrum Akademischer Verlag. Berlin.

[21] Marbach, Eva (2011): Zwiebeln. Online verfügbar unter http://www.heilkraeuter.de/lexikon/zwiebeln.htm, zuletzt aktualisiert am 15.03.2014, zuletzt geprüft am 24.06.2014.

[22] Melzer, Martina (2012): Ceylon-Zimt. Apotheken Umschau. Online verfügbar unter http://www.apotheken-umschau.de/heilpflanzen/zimt, zuletzt aktualisiert am 24.06.2014, zuletzt geprüft am 24.06.2014.

[23] Melzer, Martina (2012): Kamille, echte Kamille. Hg. v. Apotheken Umschau. Online verfügbar unter http://www.apotheken-umschau.de/heilpflanzen/kamille, zuletzt aktualisiert am 22.07.2014, zuletzt geprüft am 22.07.2014.

[24] Melzer, Martina (2012): Kapland-Pelargonie. Hg. v. Apotheken Umschau. Online verfügbar unter http://www.apotheken-umschau.de/heilpflanzen/kapland-pelargonie, zuletzt aktualisiert am 24.06.2014, zuletzt geprüft am 24.06.2014.

[25] Moltmann, E. (2010): Der Feuerbrand gefährdet Obst- und Ziergehölze, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[26] Nachrichtenfernsehen, n-tv (2007): Neuseeland verklagt Australien: Apfelstreit eskaliert. Online verfügbar unter http://www.n-tv.de/wirtschaft/meldungen/Apfelstreit-eskaliert-article227935.html, zuletzt aktualisiert am 23.07.2014, zuletzt geprüft am 23.07.2014.

[27] Nagel, Geraldine (2014): Bakterien: Aufbau und Struktur. Hg. v. Onmeda.de. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.onmeda.de/krankheitserreger/bakterien_aufbau_struktur.html, zuletzt aktualisiert am 22.07.2014, zuletzt geprüft am 22.07.2014.

[28] Schmoock, Silvia (2006): Erwinia amylovora oder der Erreger vom Feuerbrand. Hg. v. FSBIO Hannover. FSBIO Hannover. Online verfügbar unter http://www.fsbio-hannover.de/oftheweek/201.htm, zuletzt aktualisiert am 19.09.2010, zuletzt geprüft am 30.05.2014.

[29] Semdner, Günther (1959): Die Bakterien und Pilzkrankheiten der Kartoffel. Online verfügbar unter http://www.neuebrehm.de/uploads/books/553/3-89432-677-8-extract.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2014.

[30] Spektrum Akademischer Verlag (1999): Gegenstromprinzip - Lexikon der Biologie. Hg. v. Spektrum der Wissenschaft. Online verfügbar unter http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/gegenstromprinzip/26938, zuletzt geprüft am 11.06.2014.

[31] Spektrum Akademischer Verlag (2001): Erwinia - Kompaktlexikon der Biologie. Hg. v. Spektrum Akademischer Verlag. Online verfügbar unter http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/erwinia/3849, zuletzt aktualisiert am 29.06.2014, zuletzt geprüft am 29.06.2014.

[32] Stiftung Deutsches Gartenbaumuseum Erfurt (Hg.) (2011): Kräuter, Drogen und Extrakte. Pflanzenwirkstoffe im Alltag. Unter Mitarbeit von Wolf-Dieter Blüthner, Brigitte Mikus-Plescher und Regina Kresse. Stiftung Deutsches Gartenbaumuseum Erfurt.

[33] Universität Hamburg (2014): Pflanzenbakteriologie. Online verfügbar unter http://www.biologie.uni-hamburg.de/lehre/mambo/ga/bakterien.pdf, zuletzt geprüft am 29.06.2014.

[34] Wendelberger, Elfrune (2013): Heilpflanzen. Erkennen, sammeln, anwenden. 14., durchges. Aufl. München: blv.

4.2 Abbildungsverzeichnis

a) http://www.planet-wissen.de/natur_technik/mikroorganismen/bakterien/img/bak_bakterienzelle_wdr_g.jpg
b) http://www.biostudies.de/images/0/0a/Zellwandaufbau.jpg
c) http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Gram_stain_01.jpg
d) http://www.kartoffelproduzenten.ch/fileadmin/media/pdf/profiseite/Krautf%C3%A4ule_Stengelbefall__Sirtema__Illiswil__29.6.01_1391.jpg
e) http://www.fabio-angeli.de/CMS/uploads/file/schwarzbeinigkeit_1024_01_gr.jpg
f) http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Apple_tree_with_fire_blight.jpg
g) https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lravs/Feuerbrand1.JPG
h) http://maik-ruebner.de/wp-content/uploads/pressebilder_g/Thymian_G.jpg
i) http://www.gartengrewe.de/images/background/salbei.jpg
j) http://www.immac.at/fileadmin/images/Kamille2gr.jpg
k) https://www.flickr.com/photos/sauerpower/6000724287/sizes/o/in/photostream/
l) http://www.tapetus.pl/obrazki/n/132773_biale-pelargonie.jpg
m) http://www.baiertal.net/gallery3/var/albums/Reisen/Weltreise/Europa/Spanien/2013-06-14_09-09-50_DSC06059.jpg?m=1 http://img.galerie.chip.de/imgserver/communityimages/871000/871038/original_4FF9E26A7A3C1AF0DA3DEFF26665F43D.jpg 373157981
n) http://www.balkon-oase.de/wp-content/uploads/Pefferminze-Balkon.jpg
o) http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Field_with_onions.jpg
p) http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Gemeine_Schafgarbe,_weiss_-_gross.jpg
q) http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Artemisia_absinthium_001.jpg

4.3 Allgemeine Texte

4.3.1 Kurzfassung

Feuerbrand ist eine durch das Bakterium Erwinia amylovora hervorgerufene Pflanzenkrankheit. Bei befallenen Wirtspflanzen (Kernobstgewächse) sorgt es für ein dem Namen entsprechendes verbranntes Aussehen durch Wasserentzug. Der Befall mit Feuerbrand führt letztendlich zu einem Absterben der Wirtspflanze.

Dies stellt viele Landwirte vor Probleme: Einmal in einer Plantage angekommen, verbreitet sich Feuerbrand rasant auf den gesamten Bestand. Bis heute gibt es kaum effektive Bekämpfungsmethoden und so stellt die Rodung aller befallenen Bäume oft die einzige Option dar.

Besonders problematisch sind Feuerbrandbefälle für Betreiber von ökologischem Anbau: Die wenigen Mittel, welche eine zumindest geringe Wirkung zeigen, sind auf chemischer Basis und somit für eine Anwendung in der ökologischen Landwirtschaft ungeeignet. Ebenfalls ist die Verwendung des effektiven Antibiotika Streptomycin nur in besonderen Ausnahmefällen gestattet und dessen Verwendung sehr umstritten.

Diese Arbeit befasst sich mit der Gefahr von Feuerbrand und dem geringen Angebot an umweltverträglichen Bekämpfungsmethoden, welche auch für den ökologischen Obstanbau geeignet sind.

Im Zuge dessen werden verschiedene Extrakte aus Heilkräutern per Wasserdampfdestillation hergestellt und die antibakterielle Wirkung der gewonnen Extrakte aus den Heilpflanzen durch Bakterienkulturversuche getestet. Ebenfalls befasst sich die Arbeit mit bisherigen Methoden gegen Feuerbrand und deren Bewertung.

Ziel der Arbeit ist es, eine umweltschonende Alternative/Strategie zu finden, um die Infektionen einer Wirtspflanze mit Feuerbrand langfristig zu vermeiden.

4.3.2 Themenwahl

Im Jahr 2012 führten Yanik Söltzer und ich im Rahmen unserer 5. Jugend forscht Arbeit eine klinische, nicht randomisierte Einfachblindstudie zur konzentrationssteigernden Wirkung von Griechischem Bergtee (getrocknete Pflanzenteile von sideritis scardica) durch. Im Rahmen dieser Studie testeten wir 512 Schüler des Wiedtalgymnasiums Neustadt/Wied. Dadurch entstand der Kontakt zur Kooperation Phytopharmaka, welche uns neben vielen wertvollen Informationen auch finanziell unterstützte und so die Studie ermöglichte.

Die Kooperation Phytopharmaka arbeitet derzeit an einem Koffer mit Heilkräuterexperimenten für den Unterricht der Mittelstufe. Die Ergebnisse unserer Studie konnten wir auf einem Symposium zum 30-jährigen Bestehen der Kooperation Phytopharmaka vor Vertretern aus Pharmaunternehmen und wissenschaftlichen Instituten vorstellen.

Hier entstand der Kontakt zu Dr. Werner Knöß von BfArM (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte). Im Rahmen einer Exkursion (04.02.2013) konnten wir das BfArM in Bonn besuchen und Informationen über pflanzliche Heilmittel einholen.

Eine weitere Kooperation aus Schule und Wirtschaft war besonders wichtig für das Entstehen dieser Arbeit: Bereits während dem Entstehen der Bergtee-Studie fand eine Exkursion zu dem Unternehmen Finzelberg in Andernach statt, die prägend für unsere Arbeit war. Am 13.06.2013 besuchten wir erneut das Unternehmen Finzelberg in Andernach und erhielten einen detaillierten Einblick in die Gewinnung von Extrakten aus Heilpflanzen sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus industrieller Perspektive.

Als feststand, eine Besondere Lernleistung (BLL) in Biologie anzufertigen, war es Frau Edelmann-Schneider, die uns auf das Thema Feuerbrand und die Problematik bei der Bekämpfung, vor allem im ökologischen Obstanbau, aufmerksam machte: Die ökologische Landwirtschaft verzichtet auf Pflanzenschutzmittel und weitere chemische Erzeugnisse und auch im konventionellen, landwirtschaftlichen Anbau ist die Verwendung des Antibiotikums Streptomycin nur in Ausnahmefällen gestattet.

Derzeit gibt es kaum wirksame Alternativen zur Behandlung von Feuerbrand und oft sind flächenhafte Baumrodungen die Konsequenz aus einem Feuerbrandbefall.

Aufgrund unserer Erfahrungen mit Heilpflanzen und Phytopharmaka und der Tatsache, dass diese bei Betrachtung der Feuerbrandbekämpfung oft unterschätzt werden, entschlossen wir uns dazu, die Bekämpfung von Feuerbrand durch Wirkstoffe aus Heilpflanzen näher zu untersuchen.

4.3.3 Literatur und Hilfsmittel

Um den theoretischen Teil dieser Arbeit zu verfassen, die Durchführung des praktischen Anteils zu optimieren und die gewonnenen Ergebnisse mit ähnlichen Studien zu vergleichen, verwende ich verschiedenste Literatur.

Die Informationen stammen vor allem aus wissenschaftlichen Artikeln aus dem Internet und Fachzeitschriften. Neben dem Internet und den Fachzeitschriften wird auch Fachliteratur zu verschiedenen Heilpflanzen verwendet. Alle verwendeten Quellen sind in Form eines Literaturverzeichnisses im Anhang der Arbeit angegeben.

Da die Forschung im Bereich Feuerbrand in Deutschland noch jung ist, werden stets verschiedene Quellen miteinander abgeglichen, um die Wahrscheinlichkeit von Fehlschlüssen aus einzelnen Quellen möglichst gering zu halten.

Um das Thema Feuerbrand und die damit verbundene Problematik für den Obstbau möglichst umfassend und von mehreren Perspektiven darzustellen, fokussiert sich diese Arbeit nicht ausschließlich auf die Ergebnisse wissenschaftliche Studien, sondern verwendet zusätzlich auch auf weitere Quellen wie Verbraucherhinweise, Richtlinien und Veröffentlichungen öffentlicher Institute und Organisationen sowie Anweisungen für Landwirte, die sich mit dem Komplex Feuerbrand beschäftigen zur Wissensgenerierung.

Zitate sowie sinngemäße Übernahmen im Fließtext werden entsprechend gekennzeichnet.

Neben dieses schriftlichen Quellen fließen auch Informationen aus Gesprächen mit der betreuenden Lehrerin Frau Edelmann-Schneider, den Betreuern der NaWi-AG Frau Becker, Frau Schreiber und Herr Polozcek; Dr. Bjoern Feistel und Bernd Walbroel des Unternehmens Finzelberg und Prof. Dr. Oliver Planz aus der Fakultät für Zellbiologie, Bereich Immunologie, der Universität Tübingen, mit in die Ausarbeitung.

Neben diesen neu erworbenen Informationen sind auch Informationen und Inspirationen aus den zahlreichen Exkursionen zu Institutionen und Unternehmen, die sich unter anderem mit pflanzlichen Wirkstoffen beschäftigen, Bestandteil des Informationsgehalts der Arbeit.

Schlussendlich wird vor allem der praktische Teil durch erworbene Erkenntnisse aus 5 Jahren Jugend forscht sowie NaWi-AG Teilnahme und 1 Jahr Betreuung der Jugend forscht Arbeiten jüngerer Schüler, sowie dem freiwilligen Wahlfach NaWi sowie naturwissenschaftlichem Unterricht geprägt.

4.4 Informationen zu Feuerbrand

Um dem Leser die Feuerbrandproblematik detailliert und wissenschaftlich belegbar sowie nachvollziehbar darzustellen, beginne ich diese Arbeit zunächst mit der Erläuterung theoretischer Grundlagen, die für das Verständnis der Experimente, neuer Ansätze und Bewertung bisheriger Methoden wichtig sind.

4.4.1 Gattung Erwinia

Die Gattung Erwinia umfasst verschiedene pflanzenpathogene Arten, d.h. Pflanzenschädlinge, welche meist auf wenige Wirtspflanzen spezialisiert sind.

Zur Gattung Erwinia gehören u.a. das Bakterium Erwinia amylovora, welches die Pflanzenkrankheit Feuerbrand hervorruft, Erwinia carotovora, welches die Pflanzenkrankheit Schwarzbeinigkeit bei Kartoffeln auslöst, sowie Erwinia billingia, ein Schädling für diverse Rosengewächse und Erwinia cypripedium, welches verschiedene Orchideen schädigt.

4.4.1.1 Form und Aufbau

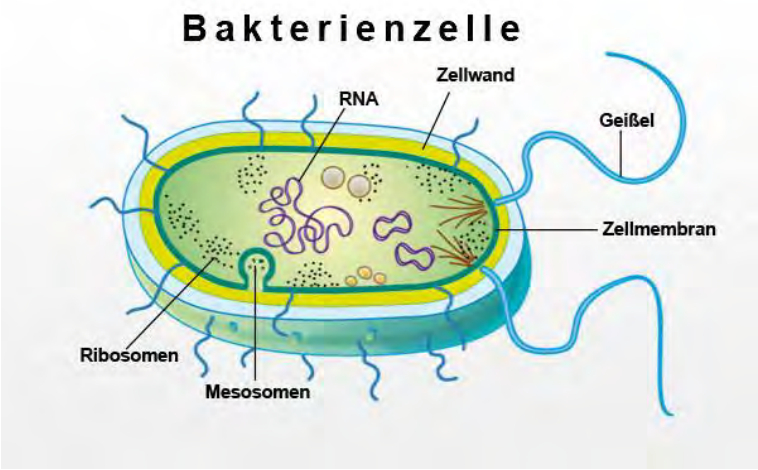


Abbildung 1: Allgemeiner Aufbau einer Bakterienzelle (Quelle: http://www.planet-wissen.de/natur_technik/mikroorganismen/bakterien/img/bak_bakterienzelle_wdr_g.jpg)

Bakterien der Gattung Erwinia haben eine stäbchenartige Form. Das Zytoplasma und die Zellorganellen werden von einer inneren und äußeren Membran sowie einer Mureinschicht umgeben. Im Zentrum der Bakterienzelle befindet sich die dekondensierte, freiliegende RNA ohne umgebende Kernmembran, was ein typisches Merkmal aller Prokaryonten ist. Ebenfalls befinden sich hier die für die Proteinbiosynthese verantwortlichen Ribosomen und die Mesosomen. Die Zellorganellen befinden sich im Zytoplasma, welches vollständig von einer inneren Membran umgeben ist.

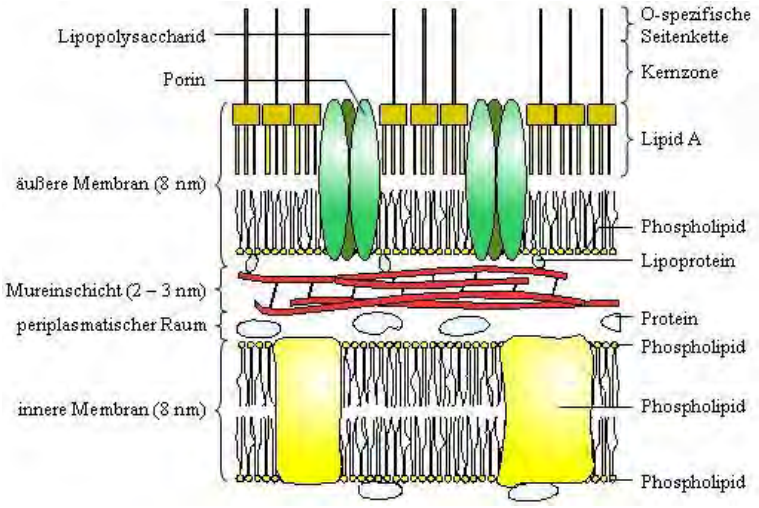


Abbildung 2: Aufbau der inneren und äußeren Membran (Quelle: http://www.biostudies.de/images/0/0a/Zellwandaufbau.jpg)

Die innere Membran besteht aus einer Lipiddoppelschicht, in welche Phospholipide integriert sind. Als Biomembran grenzt sie das zellinnere Zytoplasma und die darin befindlichen Zellorganellen von ihrer Umgebung ab. Sie ist semipermeabel, d.h. dass nur bestimmte Stoffe durch die Membran diffundieren können. Dies führt zu einem Unterschied zwischen Stoffkonzentrationen inner- und außerhalb der Zelle, was man als Membranpotential oder Potentialdifferenz bezeichnet. In der Zellmembran sind nach dem Fluid-Mosaik-Modell Proteine integriert, welche u.a. den Transport von bestimmten Stoffen durch die Membran ermöglichen.

Die innere Membran wird von einer äußeren Membran umgeben. Der dabei umschlossene Raum zwischen innerer Membran und äußerer Membran wird als periplasmatischer Raum bezeichnet. Dieser periplasmatische Raum kann bis zu 40% des Zellvolumens einnehmen. Er ist mit einer gelartigen Flüssigkeit namens Periplasma gefüllt. Dieses unterscheidet sich deutlich vom Zytoplasma, da sie u.a. viele Enzyme und Transport- und Bindeproteine enthält, welche für verschiedene biochemische Prozesse wie die Aufnahme von Nährstoffen, die Synthese der Zellwand und auch für die Resistenzbildung mancher Bakterien gegen Antibiotika verantwortlich sind. Zusammenfassend erfüllt der

periplastische Raum die Funktion des Austausches zwischen Zellinnerem und Zelläußerem.

Ebenfalls enthält der periplastische Raum Murein. Es gibt unterschiedliche Auffassungen, ob Murein als eigenständige Mureinschicht oder als in den periplastischen Raum eingelagertes Molekül deklariert wird. Meiner Auffassung nach ist die Separation in innere und äußere Membran und dem dazwischen liegenden periplastischen Raum mit eingelagertem Murein am plausibelsten, letztendlich ändert diese subjektive Unterscheidung der Molekülkomplexe nichts an dem biologischem Fakt.

Sowohl grampositive als auch gramnegative Bakterien besitzen eine Mureinschicht. Jedoch unterscheiden sie sich in ihrer Dicke: Bei gramnegativen Bakterien, wie Erwinia, sind sie 10 nm dick, grampositive Bakterien besitzen eine 20-80 nm dicke Mureinschicht. Die Mureinschicht besteht aus mehreren miteinander verbunden Murein-Molekülen, welche parallel zueinander angeordnet sind und durch ein Enzym miteinander verknüpft werden. Daher besteht die gesamte Mureinschicht aus einem einzigen, zusammenhängenden Murein-Makromolekül.

Ein einzelnes Mureinmolekül wiederum besteht aus verschiedenen Polysacchariden und Aminosäuren, deren Zusammensetzung sich zwischen gering grampositiven und gramnegativen Bakterien unterscheidet.

Die Mureinschicht dient zur Stabilität des Bakteriums und hält es gegen den inneren osmotischen Druck zusammen. Die Stabilität wird zur Erhaltung der stäbchenartigen Form benötigt und ist Grundlage der Fortbewegung des Bakteriums. Löst sich die Mureinschicht aus beliebigen Gründen auf, führt dies aufgrund des hohen inneren osmotischen Drucks zum Platzen der inneren Membran und folglich zum Absterben des gesamten Bakteriums. Die Mureinschicht kann in ihrer Funktion mit einem festen Käfig verglichen werden, welcher das Bakterium umschließt und ihm seine Form und Stabilität verleiht.

Die letzte und äußerste Schicht bildet die äußere Membran, welches den Abschluss des 2-Membranensystems verkörpert.

Im Gegensatz zur inneren Membran unterscheidet sich die äußere Membran deutlich von der Einheitsmembran, wie sie z.B. tierische Zellen besitzen. Statt Phospholipide enthält sie Polysaccharide, welche sich mit Lipiden zu Lipopolysacchariden verbinden. Diese gelten als starke Antigene, Pyrogene, Endotoxine und sind für die Pathogenität eines Bakteriums entscheidend. Die äußere Membran ist im Gegensatz zur inneren Membran nicht energetisiert, d.h. es steht kein ATP (Adenosintriphosphat) zur Energiebereitstellung biochemischer Prozesse zur Verfügung. Die Zusammensetzung der äußeren Membran ist von Bakterienart zu Bakterienart sehr variabel. Mit Hilfe dieser Zusammensetzung können sich Bakterien an geänderte Umweltbedingungen anpassen. Ebenfalls ist die Zusammensetzung entscheidend für die Pathogenität des Bakteriums.

Die äußere Membran dient zur Trennung des Bakteriums von seinem Umfeld: Einmal wie eine Art Filter als Diffusionsbarriere für größere Moleküle und zum anderen verhindert es das Entweichen von Proteinen und Enzymen aus dem Periplasma. Außerdem enthält die Membran Proteine und integrale Proteine, welche den Transport von Molekülen durch die Membran ermöglichen und Signale und Umweltreize aufnehmen. Sie sorgen somit für die Kommunikation der Zelle mit ihrer Umwelt. Die dritte Funktion ist wichtig für die aktive Fortbewegung des Bakteriums: Teile der Verankerung von Flagellen finden in der äußeren Membran statt. [vgl. Universität Hamburg, 2014]

Der genaue Aufbau ist für die Wirkung von Antibiotika oder anderen antibakteriellen Wirkstoffen wichtig, da diese bestimmte Kriterien erfüllen müssen, um in das Bakterium zu diffundieren und zu wirken.

4.4.1.2 Fortbewegung

Begeißelte Bakterien können sich aktiv fortbewegen. Die sich extrazellulär befindenden Flagellen sind wendelförmig aufgebaut. Sie sind innen hohl und haben einen Durchmesser von 15-20 nm. Durch einen Haken sind sie mit dem Motorkomplex verbunden, beide bestehen vollständig aus Proteinen.

Bakterien der Gattung Erwinia sind peritrich begeißelt, d.h. die gesamte Zelloberfläche des stäbchenförmigen Bakteriums ist mit Flagellen überzogen.

Die Flagellen ähneln der Funktionsweise eines Propellers: Der Motorkomplex dreht sich in eine Richtung, durch einen Haken ist er mit der Flagelle verbunden. Diese verhält sich passiv und wird lediglich durch den Motorkomplex gedreht, durch diese Drehung entsteht ein Schub und das Bakterium kann sich aktiv fortbewegen. Motorkomplex mit anhängender Flagelle dreht sich mit einer Frequenz von 40-50 Hz, was 40-50 Rotationen pro Sekunde und 2400 – 3000 in der Minute entspricht.

Damit stellt der Motorkomplex das einzige bisher entdeckte, echt rotierende Gelenk der Biologie dar, da er sich mehr als 360° in eine Richtung drehen kann.

Diese Rotation wird molekular durch ein Ladungsgefälle an Protonen zwischen den beiden Seiten der inneren Membran, ähnlich wie bei der ATP-Synthase ermöglicht.

Um sich vorwärts zu bewegen, drehen sich die im hinteren Teil des Bakteriums befindlichen Flagellen bzw. Motorkomplexe (Geißelkopf) gleichsinnig in eine Richtung. Dadurch schieben sie das Bakterium nach vorne.

Mit dieser Technik kann sich das Bakterium mit 50 µm/Sekunde fortbewegen. Das entspricht 3 mm pro Minute. [vgl. Nagel, 2014]

4.4.1.3 Stoffwechsel

Der Stoffwechsel der Gattung Erwinia ist chemoorganotroph, d.h. zur Energiegewinnung werden organische Substanzen abgebaut. Dieser chemoorganotrophe Energiestoffwechsel ist typisch für die Familie der Enterobakterien.

Ferner sind Erwinia-Bakterien fakultiv aerob, d.h. die Energiegewinnung kann unter aeroben und unter anaeroben Bedingungen stattfinden.

In aeroben Milieu werden energiereiche, organische Substanzen zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut.

Unter anaeroben Bedingungen findet eine 2,3-Butandiol-Gärung statt. Dabei werden Zucker zu Alkoholen abgebaut. [vgl. Madigan, 2001]

4.4.1.4 Gramnegativität

Alle Arten der Familie Erwinia sind gramnegativ, darunter versteht man eine von Hans Christian Gram erfundene Färbemethode zur Differenzierung von Bakterien nach ihrem Aufbau.

Die zu untersuchenden Bakterien werden mit einer Karbol-Gentianaviolett-Lösung eingefärbt. Nach einer Nachbehandlung mit Lugolscher Lösung bilden sich größere Farbkomplexe.

In einem zweiten Schritt, der eigentlichen Differenzierung werden die eingefärbten Bakterien mit 96% Ethanol versetzt. Während die Farbkomplexe aus gramnegativen Bakterien wie Bakterien der Gattung Erwinia ausgewaschen werden, verbleiben die blauen Farbkomplexe in grampositiven Bakterien.

Zur Verifizierung und Darstellung der gramnegativen Bakterien werden die grampositiven Bakterien zusätzlich mit einer Fuchsin- oder Safraninlösung orange bis rot gefärbt.

Anhand der Färbung der Bakterien kann deren Gramnegativität nachgewiesen werden. [vgl. Alexander, 2006]

Die Differenzierung in gramnegative und grampositive Bakterien ist daher so entscheidend, da sich dadurch Aufschluss über deren Aufbau und die Wirksamkeit bestimmter Antibiotika gibt:

Grampositive Bakterien besitzen eine mehrschichtige Mureinschicht um ihre Zellmembran. Diese kann bis zu 50% der Masse des Bakteriums ausmachen. Die Hülle ist verantwortlich für die grampositive Färbung, da die Farbkomplexe aus dieser Hülle nicht ausgewaschen werden können.

Gramnegative Bakterien, wie das Feuerbrandbakterium Erwinia amylovora besitzen nur eine einschichtige Mureinschicht. Über dieser befindet sich zusätzlich eine zweite Lipidmembran. Da Ethanol die Lipidhülle auflöst, wird die dünne Mureinschicht freigelegt und Farbkomplexe ausgewaschen.

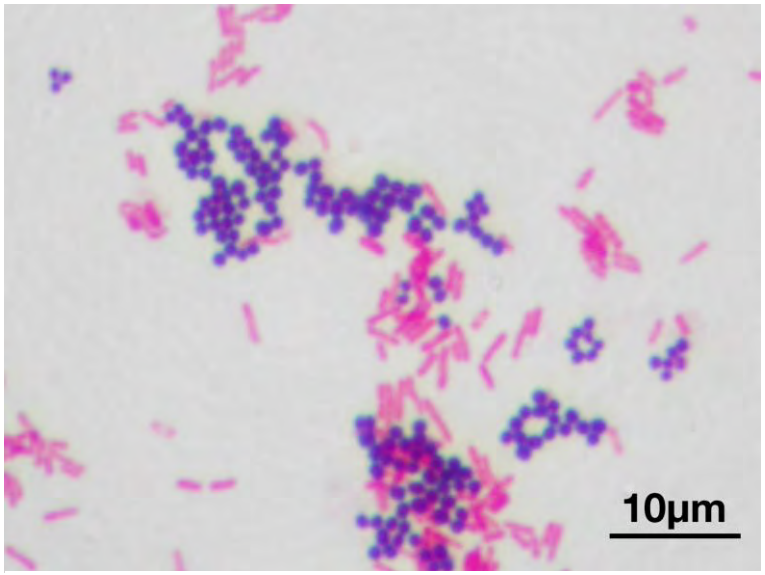


Bild 1: Gramfärbung: violett entspricht grampositiven und rot gramnegativen Bakterien (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Gram_stain_01.jpg)

4.4.2 Schwarzbeinigkeit/Knollennassfäule (Erwinia carotovora)

Die Pflanzenkrankheit Schwarzbeinigkeit wird durch das Bakterium Erwinia carotovora hervorgerufen. Wie der Name schon zeigt, gehört das Bakterium, wie Erwinia amylovora, auch zur Gattung Erwinia. Später wurde Erwinia carotovora der Gattung Pectobacterium zugeordnet, welche ebenfalls Teil der Familie der Enterobakterien sind. Die Bezeichnung Pectobacterium hat sich jedoch kaum in der Literatur durchgesetzt und das eigentliche Pectobacterium carotovora wird oft fälschlicherweise als Erwinia carotovora aufgeführt. Um den Leser nicht zu verwirren, verwende ich ebenfalls die Bezeichnung Erwinia carotovora.

4.4.2.1 Bakterium

Das Bakterium kann sich ab Temperaturen von über 10°C vermehren. Ideal sind Temperaturen zwischen 25 und 30°C. Ebenfalls sind eine hohe Luftfeuchte und Sauerstoffkonzentrationen für ein Überleben und Vermehren der Bakterien begünstigend. [vgl. Universität Hamburg, 2014]

4.4.2.2 Symptomatik

Durch den Befall einer Kartoffelpflanze mit dem Bakterium Erwinia carotovora können zwei verschiedene Pflanzenkrankheiten hervortreten:

4.4.2.2.1 Schwarzbeinigkeit

Symptomatisch für Schwarzbeinigkeit sind vergilbte bis verkümmerte Triebe. Durch den fehlenden Halt der Triebe im Boden, können diese leicht aus dem Boden gezogen werden. Vor allem das Stützgewebe der Zellen im Stängel der Triebe ist betroffen, dies lässt sich besonders an der Schwarzfärbung und Gewebezerstörung am Stängel optisch feststellen. Ebenfalls lässt sich bei befallen Pflanzen ein stechender Geruch vernehmen.

Die Infektion mit Erwinia carotovora unterbindet den Wasserfluss von der Wurzel in die Triebspitzen und den Transport der Assimilate in die Knolle. In Folge dieser Barriere sterben die Triebe in letzter Konsequenz ab. [vgl. Universität Hamburg, 2014]



Bild 2: mit Schwarzbeinigkeit infizierte Kartoffelpflanze (Quelle: http://www.fabio-angeli.de/CMS/uploads/file/schwarzbeinigkeit_1024_01_gr.jpg)



Bild 3: mit Schwarzbeinigkeit infizierte Kartoffelpflanze (Quelle: http://www.kartoffelproduzenten.ch/fileadmin/media/pdf/profiseite/Krautf%C3%A4ule_Stengelbefall__Sirtema__Illiswil__29.6.01_1391.jpg)

4.4.2.2.2 Knollennassfäule

Wie der Name verrät, ist von Knollennassfäule die Knolle der Kartoffelpflanze befallen, welche zu einer weichen und breiähnliche Masse wird. Die weiche Masse wird nur durch die dünnen Schalen in ihrer ursprünglichen Form zusammengehalten, jedoch platzt sie bei geringem Druck von außen.

4.4.2.3 Wirtspflanzen

Von der Schwarzbeinigkeit ist lediglich die Kartoffel betroffen. Dies ist typisch für die Gattung Erwinia, dessen Unterarten oft auf nur wenige Pflanzenarten spezialisiert sind.

Es gibt neben der durch Erwinia carotovora hervorgerufenen Pflanzenkrankheit Schwarzbeinigkeit auch eine gleichnamige Pflanzenkrankheit, welche die Getreidesorten Weizen, Gerste und Roggen befällt. Diese wird jedoch durch den Pilz Gaeumannomyces graminis verursacht und ist daher für diese Arbeit, welche sich mit bakteriellen Infektionen durch Erwinia-Bakterien beschäftigt, nicht relevant. [vgl. Sembdner, 1959]

4.4.2.4 Ausbreitung

Die Infektion einer Kartoffel beginnt mit einem latenten Befall des Pflanzengutes, davon sind besonders Schalen und Lentizellen (Atmungsöffnungen) betroffen. Über die Mutterknolle, Öffnungen und Verletzungen gelangen die Bakterien in die Tochterknollen. Danach wachsen sie den Trieb empor und erzeugen entlang ihres Weges die typischen Symptome der Schwarzbeinigkeit. Die Verbreitung wird durch häufige Niederschläge und niedrige Temperaturen im Frühjahr begünstigt.

Für einen letztendlichen Ausbruch der Pflanzenkrankheit sind Umweltfaktoren und Resistenzen der Wirtspflanze entscheidend. Ebenfalls findet ein Ausbruch nur bei ausreichend eingedrungenen Bakterien (> 10.000 Bakterien pro Gramm) statt: Den Bakterien ist es nur in einem kurzen Zeitfenster möglich, in das gesunde Gewebe einzudringen. Danach bildet sich eine neue Korkschicht und die Bakterien können nicht mehr in das gesunde Gewebe eindringen. Zum Durchdringen des gesunden Gewebes wird eine gewisse Enzymanzahl benötigt, welche eine gewisse Bakterienanzahl und entsprechende Umweltbedingungen voraussetzt. [vgl. Sembdner, 1959]

4.4.2.5 Bedeutung

Schwarzbeinigkeit ist die wirtschaftlich bedeutsamste bakterielle Erkrankung für Kartoffelpflanzen. Ebenfalls bei der Lagerung der Kartoffeln ist Knollnassfäule eine bekannte Lagerkrankheit. Schwarzbeinigkeit kann zu Ertragsschäden führen, wenn der Bestand mehr als 15% Fehlstellen aufweist und nicht mehr verkauft werden kann.

Schwarzbeinigkeit ist vor allem in Europa und Amerika weit verbreitet. [vgl. Universität Hamburg, 2014]

4.4.2.6 Bekämpfung

Der erste Schritt zu einer effektiven Vermeidung der oben genannten Pflanzenkrankheiten ist die Verwendung gering befallenen Pflanzengutes.

Zum einen sollte die Ernte nur bei fester Schale und trockenem Boden erfolgen, ebenfalls sollte man auf einen schonenden Umgang und Vermeidung von Verletzungen achten, da diese einen Angriffspunkt für Bakterien darstellen und ein Eindringen in der Pflanze ermöglichen. Ebenfalls sollten die Temperaturen während Ernte, Verarbeitung und Lagerung unter 20°C bleiben, um ein Bakterienwachstum, welches abhängig von der Temperatur ist (vgl. RGT-Regel) zu minimieren.

Zusätzlich ist auf eine trockene Lagerung zu achten, da Feuchtigkeit ebenfalls eine Infektion beschleunigt. Der Feuchtigkeitsgehalt der gelagerten Kartoffeln ist regelmäßig zu prüfen und Arbeitsschritte, die zur Verletzung der Kartoffel führen, sind zu vermeiden. Eine Reinigung der Kartoffeln durch Wasser mit anschließender längerer Lagerung stellt sich ebenfalls als riskant heraus und ist nur mit anschließender gründlicher Trocknung zu empfehlen.

4.4.3 Feuerbrand (Erwinia amylovora)

Feuerbrand ist eine Pflanzenkrankheit, welche durch das Bakterium Erwinia amylovora hervorgerufen wird. Feuerbrand wurde Anfang des 18. Jahrhunderts zuerst beschrieben, 1957 trat es in Europa auf. Ebenfalls ist Erwinia amylovora das erste Bakterium, welches als Pflanzenpathogen identifiziert worden ist.

Das Bakterium zählt zur Familie der Enterobacteriales und Gattung der Erwinia-Bakterien. Das Bakterium Erwinia amylovora befällt ausschließlich Kernobstgewächse und sorgt bei einem Befall für ihr, dem Namen entsprechendes Aussehen.

4.4.3.1 Bakterium

Wie der Name bereits zeigt, zählt Erwinia amylovora zu der Familie Erwinia und besitzt somit alle Eigenschaften dieser Familie (gramnegativ, petritech begeißelt, fakultiv-aerober Stoffwechsel vgl. 2.1.1). Das Bakterium gehört zur Gattung der Enterobakterien. Es hat eine Größe von 0,3 – 1,3 Mikrometer. Die Temperaturen für optimales Wachstum liegen bei 21-28 °C. Das Temperaturminimum liegt bei 3-12°C und das Temperaturmaximum liegt bei 32-42°C. Aufgrund seines fakultativ aeroben Stoffwechsels ist es Erwinia amylovora möglich, auch unter Luftanschluss zu leben.

4.4.3.2 Symptomatik

Typisch für Feuerbrand das verbrannte, schwarze Aussehen der befallenen Wirtspflanze, welches für den Namen der Pflanzenkrankheit verantwortlich ist. Im Verlauf der Krankheit verfärbt sich die Rinde schwarz-braun, nachdem sie zunächst weich wird, schrumpft die Rinde im Verlaufe der Krankheit und verhärtet sich. Feuerbrand breitet sich auch auf Zweige, Blüten und Früchte aus: Die Zweigspitzen krümmen sich und Früchte schrumpfen zusammen und verfärben sich schwarz. Die verschrumpelten, schwarzen und toten Blätter bleiben auch im Herbst hängen. Gegen Winter ziehen sich die Bakterien in krebsartige Geschwüre namens Canker zurück. Im Frühjahr tritt milchig-bräunlicher Schleim (Exsudat) aus Rissen in der Rinde, welcher einen süßlichen Geschmack besitzt und so Insekten anlockt. [vgl. Schmoock, 2006]



Bild 4: mit Feuerbrand infizierter Baum (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Apple_tree_with_fire_blight.jpg)



Bild 5: mit Feuerbrand befallener Apfel (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Fire_blight_appletree_fruit_closeup.JPG)

4.4.3.3 Infektion

Man unterscheidet zwischen drei verschiedenen Infektionsarten: Einer Neuinfektion von außerhalb über Blüten (Blossom blight), Neuinfektion von außerhalb über Triebe (Shoot blight), sowie eine Reinfektion im Frühjahr aus Cankern eines bereits erkrankten Baumes (Canker blight).

Allgemein kann ein Bakterium nur durch Verletzungen oder Öffnungen (z.B. Blüten) in den Wirtsorganismus gelangen und sich vermehren. Man unterscheidet zwischen einer

Infektion einer gesunden Wirtspflanze von außen, genannt Primärinfektion, und der Reinfektion einer bereits befallenen Wirtspflanze im Frühjahr: Gegen Winter ziehen sich die Bakterien in im Stamm gelegene Canker zurück, von denen aus sie im Frühjahr die Pflanze erneut befallen und eine Verbreitung der Krankheit durch die Infektion weiterer Wirtspflanzen ermöglichen.

4.4.3.3.1 Blüteninfektion (Blossom blight)

Die Blüteninfektion stellt die häufigste Infektionsvariante da. Die Blüteninfektion bildet meistens den Beginn der Krankheit, während die Triebe erst im Verlauf des Jahres massiv befallen werden.

Die Infektion kann nur bei geöffneter Blüte stattfinden, somit tritt die Blüteninfektion während der Blütezeit der Wirtspflanzen auf. Da die Zeit, in der die Blüten geöffnet sind, jedoch von Baum zu Baum variiert, dauert es 2 Monate bis alle Bäume geblüht haben. Begünstigend für eine Blüteninfektion sind schwül-warme Witterungsperioden und Temperaturen über 18°C sowie eine relative Luftfeuchte von über 70 %.

Durch biotische und abiotische Vektoren gelangen die geringe Menge der Bakterien in die Blüte der Wirtspflanze und vermehren sich auf dieser. Durch biotische Vektoren wie blütenbesuchende Insekten kann der Erreger bereits zu diesem frühen Zeitpunkt auf weitere potentielle Wirtspflanzen verbreitet werden.

Nachdem die Bakterien die Wirtspflanze erreicht haben, beginnt die Zerstörung der Zellen: Durch vom Bakterium erzeugte Enzyme findet eine Plasmolyse statt, bei der die Protoplasten (plasmatischer Inhalt einer Zelle) der Pflanzenzelle kollabieren, während die Zellwände sich verdicken. In dem durch die Zerstörung der Wirtspflanzenzellen freigewordenen Raum können sich die Bakterien stark vermehren und das feuerbrand-typische Exsudat entsteht. Zu diesem Zeitpunkt zeigt die befallene Pflanze bereits erste äußerliche Symptome.

Durch das starke Wachstum der Bakterien im Interzellularraum und das Aufquellen der extrazellulären Polysaccharide, welche von den Bakterien abgegeben wurden, baut sich ein physikalischer Druck auf, welcher die Bakterien weiter in die Pflanze vordringen lässt oder zu einem äußerlichen Austreten des Exsudats führt. Dieser durch das eigene Wachstum der Bakterien hervorgerufene Druck ermöglicht den Bakterien die Fortbewegung von der Blüte weiter in das Innere der Wirtspflanze.

Dabei bevorzugt das Bakterium die Ausbreitung über Gefäßsysteme der Pflanze. Beginnend von der Blüte dringen die Bakterien so über die Äste zum Stamm der Wirtspflanze vor. Dabei bewegen sie sich gegen die Strömungsrichtung des Wassers, welches von der Wurzel über den Stamm und die Äste zu den Blättern strömt.

Eine Blüteninfektion erkennt man an einer bräunlichen Verfärbung der Blüten und Blütenstiele sowie einem Absterben des Blütenbestandes. [vgl. Bantleon, 2012]

4.4.3.3.2 Triebinfektion (Shoot blight)

Da Triebe ebenfalls eine Öffnung darstellen, durch die der Erreger in die Wirtspflanze eindringen kann, stellt die Triebinfektion während der gesamten Vegetationsperiode eine mögliche Infektionsquelle dar.

Vor allem durch abiotische Vektoren gelangen Bakterien auf die Triebe, auch die Infektion durch biotische Vektoren ist theoretisch denkbar, jedoch werden Triebe selten von blütenbesuchenden Insekten aufgesucht, welche eine potentielle Überträgergruppe darstellen. Im Gegensatz zu der Blüteninfektion ist eine weitere Übertragung durch biotische Vektoren kaum möglich, jedoch theoretisch denkbar.

Nachdem die Bakterien begonnen haben sich zu vermehren, treten sie, wie bei der Blüteninfektion beschrieben, sukzessive in die Wirtspflanze ein. Durch die Verbreitung über die Gefäßsysteme der Pflanze wird die Wasserzufuhr getrennt und die Triebe gelangen aufgrund einer Dehydration zu ihrem vertrockneten Erscheinungsbild und ihrer gekrümmten Form.

Symptomatisch für eine Triebinfektion sind das Welken und die bräunliche Verfärbung der Triebspitzen, sowie das Verkrümmen der Triebe und ihr vertrocknetes Erscheinungsbild. [vgl. Bantleon, 2012; Schmoock, 2006]

4.4.3.3.3 Infektion aus wieder aktiv werdenden Befallstellen (Canker blight)

Neben den vorgestellten Möglichkeiten der Neuinfektion einer Wirtspflanze ist auch die Reinfektion einer Pflanze im Frühjahr möglich: Besonders bei resistenteren und älteren Pflanzen führt eine Infektion mit Erwinia amylovora nicht zwingend zum direkten Absterben im selben Jahr. Aufgrund der geringeren Temperaturen ziehen sich die Bakterien im Winter in besser geschützte Stammregionen zurück. In Form von sogenannten Cankern (befallene Stellen in Stammregion, in den sich die Bakterien zurückziehen) überwintern die Bakterien im Stamm und breiten sich im Frühjahr bei steigenden Temperaturen auf die Wirtspflanze (Reinfektion) und über aus der Rinde austretendes Exsudat auf andere Wirtspflanzen aus. [vgl. Schmoock, 2006]

4.4.3.3.4 Infektion durch Verletzungen

Ein erhöhtes Infektionsrisiko herrscht ebenfalls nach Großwetterereignissen wie Hagel: Durch den Hagel werden den Wirtspflanzen Verletzungen zugeführt, die Eindringstellen für Bakterien bei günstigen Umweltbedingungen darstellen. Die eigentliche Infektion erfolgt dabei vergleichbar mit einer Triebinfektion. [vgl. Bantleon, 2012]

4.4.3.4 Verbreitung/Übertragung

Bei der Übertragung der Feuerbranderreger von einer infizierten Wirtspflanze auf eine andere Wirtspflanze oder innerhalb einer Wirtspflanze (z.B. Infektion noch nicht infizierter Pflanzenteile) werden die erregertransportierenden Gegenstände oder Organismen als Vektoren bezeichnet. Dabei wird in biotische und abiotische Vektoren unterschieden.

Der erste Schritt der Übertragung stellt die Infektion des Vektors mit Bakterien dar: Diese geschieht häufig im Frühjahr: Aus Cankern bereits infizierter Bäume tritt Exsudat aus, welches andere Pflanzenteile infiziert. Danach erfolgt der Transport zur neuen Wirtspflanze und abschließend die erfolgreiche Infektion dieser durch natürliche Öffnungen oder Verletzungen.

4.4.3.4.1 Biotische Vektoren

Der größte Anteil an biotischen Vektoren, welche zur Übertragung von Feuerbrand führen, stellen die blütenbesuchenden Insekten dar. Dazu zählen größtenteils Honig- und Wildbienen, Wespen, Hummeln, Fliegen sowie Schmetterlinge. Blütenbesuchende bringen den Wirtspflanzen Nutzen und Schaden zugleich, da sie zum einen notwendig für die Bestäubung der Blüten sind, zum anderen aber einen Überträger der Feuerbrandkrankheit darstellen.

Feuerbrand kann ebenfalls durch Kleinsäugetiere, Schädlinge und Fraßinsekten übertragen werden: Besonders wenn Vektoren die Pflanze verletzten, ist eine Übertragung besonders wahrscheinlich, da sie gleichzeitig eine Öffnung schaffen, durch die Bakterien in die Pflanze eindringen können.

Die Übertragung über größere Entfernung geschieht durch Zugvögel, welche infiziertes Pflanzenmaterial als Nahrung aufnehmen. Durch die ausgeschiedenen Exkremente können Wirtspflanzen infiziert werden und die Feuerbrandkrankheit kann sich so über größere Entfernungen verbreiten. [vgl. Bantleon, 2012]

4.4.3.4.2 Abiotische Vektoren

Abiotische Vektoren, die zur Verbreitung von Feuerbrand führen, sind Wetterereignisse und menschliche Einflüsse.

Über größere Distanzen kann Feuerbrand durch Großwetterereignisse verbreitet werden. Im Nahbereich geschieht die Verbreitung des Exsudats durch Wind und Regen. Ebenfalls können Hagel oder starke Stürme indirekt zur Verbreitung von Feuerbrand beitragen, indem sie der Pflanze Verletzungen zuführen und so Möglichkeiten zum Eindringen der Bakterien bieten.

Einen weiteren Ausbreitungsfaktor stellt der Mensch selbst dar. Über größere Distanzen geschieht die Verbreitung hierbei hauptsächlich durch den Transport von kontaminiertem Pflanzenmaterial.

Im Nahbereich werden die Bakterien durch Kleidung und Verpackung übertragen. Besonders gefährlich ist die Übertragung über Schnittwerkzeug, da Bakteriensubstanz beim Schneiden einer infizierten Pflanze auf das Schnittwerkzeug gelangt und so auf weitere Pflanzen übertragen werden kann. Das gefährliche stellt dabei das Schneiden des Baumes bei gleichzeitiger Applikation der Bakterien dar, da den Bakterien so eine optimale Möglichkeit geboten wird, durch die Schnittstelle in die Pflanze zu invadieren. [vgl. Bantleon, 2012]

4.4.3.5 Wirtspflanzen

Erwinia amylovora befällt ausschließlich Kernobstgewächse (Pyrinae). Betroffene Unterarten sind Apfel (malus), Birne (pyrus), Quitte (cydonia), Zierquitte (chaenomeles), Weiß- und Rotdorn (crateagus), Himbeere (rubus), Feuerdornarten (pyracantha), Hagedorn (crataegus), Mispeln (cotoneaster), Vogelbeere und Mehlbeere (sorbus) sowie Felsenbirne (amelanchier).

Am bekanntesten und meisten verbreitet ist Feuerbrand bei Äpfeln. Resistenzen gegenüber Feuerbrand sind je nach Apfelsorte sehr unterschiedlich. Ebenfalls gibt es Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten von Kernobstgewächsen. [vgl. Schmoock, 2006]

4.4.3.6 Bedeutung

Ein Befall der Obstbäume durch Feuerbrand führt zu notwendigen Schnittmaßnahmen und kann bei fortgeschrittenem Verlauf der Krankheit zu einer notwendigen Rodung der Fläche führen. Die Rodung stellt dabei für viele Betriebe eine Existenzbedrohung dar.

Für Schnittmaßnahmen fallen durchschnittlich 150 Akh (Arbeitskrafteinheiten in der Stunde) pro Hektar, in Ausnahmefällen sind es bis zu 300 Akh/ha, da die Begutachtung und der Beschnitt der einzelnen Bäume ein aufwendiger Arbeitsschritt ist, welcher nicht mechanisiert werden kann. Zusätzlich sind oft mehrere Schnittdurchgänge pro Baum notwendig.

Bei einer Rodung fallen 18.500€ Kosten pro Hektar Anbaufläche an, zusätzlich benötigt die Anbaufläche 3 Jahre, um wieder vollen Ertrag zu erbringen. Dabei ergeben sich Verluste von 12.000€ pro Jahr und Hektar Anbaufläche. Insgesamt bringt die Rodung von einem Hektar Anbaufläche dem Betrieb also 3 Jahre Ertragsverlust der Fläche und Kosten in Höhe von 54.500 €.

Baden-Württemberg besitzt 11.000 ha Apfel- und Birnenplantagen, wovon sich 7.200 ha alleine in der Region Bodensee befinden. Im Jahre 1993 mussten davon 200 ha gerodet werden. 2007 ergaben sich für die Rodung von 50 ha Anbaufläche sowie die Kontrolle und die mehrfachen Schnittdurchgänge der mit Feuerbrand befallenen Anbauflächen Gesamtkosten in Höhe von 3 Mio. €. [vgl. BMEL, 2008]

Zudem ist davon auszugehen, dass sich die wirtschaftlichen Folgen der Feuerbrandbefälle mit steigender globaler Erwärmung zunehmend dramatisieren werden.

4.4.3.7 Räumliche Ausbreitung

Feuerbrand tritt heute in Obstbauregionen in Nordamerika, Europa, Vorderasien und Neuseeland (südlicher Teil) auf. [vgl. Bantleon, 2012] Es sind also ausschließlich Industrieländer der Nordhalbkugel betroffen. Dies lässt sich auf das große Handelsvolumen

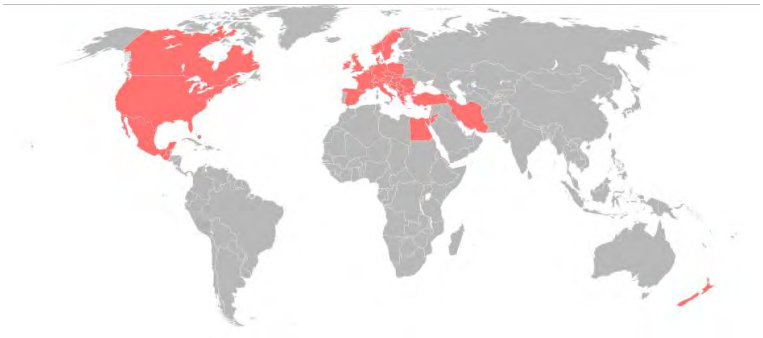


Abbildung 3: Räumliche Ausbreitung von Feuerbrand (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Fire_blight_Map-World6.svg)

zwischen den Industrieländern, welche die Verbreitung von Feuerbrand begünstigen und die Verwendung von Monokulturen zurückführen, welche die Verbreitung im Nahbereich durch den geringen Abstand der Pflanzen zueinander begünstigen.

Man geht davon aus, dass die schnelle Verbreitung von Feuerbrand teils durch den Handel mit Pflanzenmaterial teils durch die natürliche Verbreitung der Pflanzenkrankheit hervorgerufen wurde.

4.4.3.8 Geschichtlicher Hintergrund

Das erste Auftreten von Feuerbrand wurde 1780 in Nordamerika beschrieben. 1957 erreichte die Pflanzenkrankheit Südengland. Feuerbrand wurde 1971 in Deutschland als erstes in Schleswig-Holstein nachgewiesen. In Deutschland hat sich die Krankheit von Norden nach Süden ausgebreitet. Traten um 1980 nur einzelne Fälle in der Region Bodensee auf, so spricht man heute „von einem endemischen Auftreten der Krankheit“ in der Bodenseeregion [vgl. Moltmann, 2005]

Wegen der hohen Agglomeration an Obstbaubetrieben ist die Region Bodensee am stärksten von Feuerbrandbefällen in Deutschland betroffen.

Betrachtet man die Grafik, so fällt auf, dass Australien als einer der wenigen Industrieländer keine Feuerbrandbefälle aufzeigt:

Seit 1921 herrscht in Australien ein Einfuhrverbot für Äpfel, da das Feuerbrand-freie Australien eine Einschleppung der Pflanzenkrankheit befürchtet. 2007 hatte Neuseeland gegen das Einfuhrverbot geklagt, da es darin eine Verletzung des Freihandelsabkommens zwischen den Ländern sah. [vgl. N-TV, 2007]

4.5 Bekämpfung von Feuerbrand

Im Folgenden werden die verschiedenen Bekämpfungsmethoden gegen Feuerbrand erläutert und bewertet:

4.5.1 Feuerbrandverordnung

Die Verordnung zur Bekämpfung der Feuerbrandkrankheit, kurz Feuerbrandverordnung, ist ein 1985 vom Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten verabschiedetes Gesetz, welches den Umgang mit Feuerbrandbefällen festschreibt.

Aufgrund der zentralen Rolle der Feuerbrandverordnung werden die wesentlichen Inhalte nachfolgend exzerpiert:

§1: Wirtspflanzen

Der erste Paragraph legt fest, welche Pflanzen als Wirtspflanzen deklariert werden:

Amelanchier Medik.	Felsenbirne
Chaenomeles Lindl.	Zier- oder Scheinquitte
Cotoneaster Ehrh.	Zwergmispel
Crataegus L.	Weiß- und Rotdorn
Cydonia Mill.	Quitte
Malus Mill.	Apfel
Pyracantha M. Roem.	Feuerdorn
Pyrus L.	Birne
Sorbus L.	Eberesche
Stranvaesia Lindl.	Stranvaesie

Tabelle 2: Wirtspflanzen für Feuerbrand laut Feuerbrandverordnung

Ebenfalls wird festgehalten, dass das Julius-Kühn-Institut Wirtspflanzen als hochanfällig einstufen darf.

§2: Meldung

An dieser Stelle wird vorgeschrieben, dass im Falle des Auftretens von Feuerbrand, dies unverzüglich zu melden ist.

§3: abgegrenztes Gebiet

Durch die zuständige Behörde wird ein 5km abgegrenztes Gebiet errichtet, das erst bei keinen Befunden nach einer Untersuchung und Vergehen von 2 Jahren nach dem letzten Feuerbrandfall aufgehoben wird.

§4: Transportverbot von Pflanzenmaterial

Pflanzenmaterial am Standort und im abgegrenzten Gebiet darf nicht aus diesem transportiert werden.

§5: Anpflanzung und Vertrieb von Wirtspflanzen

Durch die zuständige Behörde kann die Anpflanzung von hochanfälligen Wirtspflanzen für eine Dauer von bis zu 5 Jahren verboten werden. Ebenfalls ist der ist der Vertrieb von hochanfälligen und befallsverdächtigen Wirtspflanzen in diesem Zeitraum unterbunden.

§6: Bekämpfung

Durch diesen Paragraphen werden die Besitzer dazu verpflichtet den Feuerbrand im abgegrenzten Gebiet zu bekämpfen, hochanfälliges sowie infiziertes Pflanzenmaterial zu vernichten, sowie Flächen im abgegrenzten Gebiet von Wirtspflanzen freizumachen bzw. zu halten. Ebenfalls befallene oder befallsverdächtige Grundstücke in bis zu 500 m zu Anbauflächen, Baumschulen oder Vermehrungsanlagen sind ebenfalls freizuhalten bzw. zu machen.

§7: Bienenvölker

Bienenvölker dürfen nicht im abgegrenzten Gebiet gehalten, sowie in oder aus dem abgegrenzten Gebiet verlagert werden.

§8: Umgang mit Erwinia amylovora

Das Züchten, Halten, sowie Arbeiten mit Erwinia amylovora ist verboten. In Ausnahmefällen zu Untersuchungen oder Forschung kann die Verwendung genehmigt werden, wenn eine Verbreitung ausgeschlossen wird.

§9 - §11

Den Landesregierungen ist es gestattet eine Bekämpfung des Feuerbrands durch Behörden anzuordnen. Wer entgegen der Paragraphen §1 - §8 handelt, verhält sich ordnungswidrig. Das Feuerbrandgesetzt trat am 1. Januar 1986 in Kraft. [sinngemäße Übernahmen und Zusammenfassung nach BMEL, 1985]

Die vollständige Fassung der Feuerbrandverordnung befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

4.5.2 Mechanische Maßnahmen

4.5.2.1 Entfernen von infizierten Pflanzenabschnitten

Eine der bisher effektivsten und am meisten verbreitete Maßnahmen stellt der Beschnitt der Bäume dar. Dabei werden der infizierte Teil der Pflanze und ein Sicherheitszuschlag von der Pflanze entfernt. Dieses Entfernen aller infizierten Abschnitte entspricht bei richtiger Durchführung dem Erfolg einer vollständigen Rodung. Beschnittene Bäume sind im Folgejahr erregerfrei, solange sie nicht einer erneuten Infektion unterliegen.

Nachdem der infizierte Pflanzenabschnitt durch die von außen optisch feststellbaren Symptome identifiziert ist, wird er durch ein Schnittwerkzeug abgetrennt. Es ist darauf zu achten, dass der Schnitt 10 – 30 cm in das optisch symptomfreie Gewebe hineingeht, da die Bakterien oft bis zu 30 cm weiter als von außen erkennbar in das gesunde Gewebe eingedrungen sind und das Ziel die Entfernung aller Erreger ist. Nur bei Entfernung aller Erreger kann ein Erfolg der Methode garantiert werden. Bei Niederstämmen ist dieses Verfahren aufgrund der kleinen Krone oft gefährlich, da sie aufgrund des Beschnitts absterben können, Hochstämme sind deutlich robuster und es ist nur mit geringen Einschränkungen zur rechnen. [vgl. Bantleon, 2012; Schmoock, 2006]

Die abgetrennten, kontaminierten Pflanzenteile sind anschließend zu verbrennen. Das Verbrennen stellt die einzige sichere Methode dar, welche die Vernichtung aller Erreger garantiert. Werden die kontaminierten Pflanzenteile nicht verbrannt, ist eine Infektion weiterer Pflanzen durch das kontaminierte Pflanzenmaterial und entsprechende Vektoren nicht auszuschließen.

Außerdem ist es besonders wichtig, die Schnittwerkzeuge nach jedem einzelnen Schnitt gründlich und fachgerecht zu desinfizieren. Zur Desinfektion wird meist 10%iges Natriumhypochlorid verwendet. Die Desinfektion stellt sicher, dass selbst beim Schneiden in infiziertes Material, was dank Sicherheitszuschlag grundsätzlich vermieden werden sollte, eine Infektion weiterer Schnittstellen durch das Schnittwerkzeug zu verhindern. Ohne die Desinfektion ist es möglich, dass Bakterien von einer infizierten Stelle auf mehrere, eigentlich durch den Schnitt von Bakterien befreite, Stellen weitergegeben werden können.

Bewertung: Das Entfernen von befallenen Pflanzenteilen ist als positiv zu bewerten. Trotz des hohen Arbeitsaufwandes ist das Entfernen infizierter Pflanzenteile die bisher effektivste Methode zur Feuerbrandbekämpfung, welche momentan erlaubt ist. Das Entfernen erhält die Wirtspflanze mit nur geringen wirtschaftlichen Einbußen in Sachen Ernteertrag. Ebenfalls hat das korrekte Entfernen und Entsorgen keine negativen ökologi-

schen Auswirkungen, abgesehen von der Verbrennung des Pflanzenmaterials. Im Gegenteil: Eine weitere Verbreitung von Feuerbrand, die größere Bekämpfungsmaßnahmen mit sich zieht, kann verhindert werden.

4.5.2.2 Rodung

Rodung stellt die endgültige Maßnahme dar, eine weitere Ausbreitung des Befalls mit Feuerbrand zu beenden. Bei der Rodung werden befallene Bäume mitsamt ihrer Wurzel von der Plantage entfernt. Anschließend werden die gerodeten Bäume verbrannt, um eine weitere Ausbreitung des Feuerbrands über das kontaminierte Pflanzenmaterial zu verhindern und die Erreger durch das Feuer abzutöten.

Bewertung: Die Rodung ist vielmehr als letztendliches Mittel denn als Bekämpfungsmaßnahme zu betrachten. Zwar wird eine Verbreitung des Feuerbrandes auf weitere Agrarflächen vermieden, jedoch stellt die Rodung keine ökonomisch und ökologisch effektive Bekämpfungsmethode da. Positiv zu bewerten ist allerdings, dass die Rodung keine nachteiligen Effekte auf Flächen und Ökosysteme außerhalb des gerodeten Gebietes hat.

4.5.3 Antibiotika (Streptomycin)

Streptomycin wurde als erstes am 19. Oktober 1943 von Albert Scatz, Elizabeth Bugie und Selman Waksman aus Streptomyces griseus, einem mehrzelligen Bakterium, isoliert. Dafür erhielt Waksmann 1958 den Nobelpreis. Streptomycin war das erste Antibiotikum, welches gegen Tuberkulose eingesetzt wurde. Es zeigt ein breites Wirkungsspektrum, und wirkt vor allem bei gramnegativen Bakterien.

Streptomycin hemmt bestimmte Abschnitte der Ribosomen von Prokartyonten, dadurch wird eine weitere Vermehrung des Bakteriums verhindert. Streptomycin zeigt bei Bakterien eine schnelle Resistenzbildung, durch Veränderungen der Ribosomenbindungsstellen werden die Bakterien resistent. Bei resistenten Bakterien ist Streptomycin sogar förderlich für deren Vermehrung, da es eine zusätzliche Kohlenstoffquelle für das Bakterium darstellt und ihm so Vorteile verschafft. [vgl. Bantleon, 2012; Kunz, 2004]

Aufgrund der schnellen Resistenzbildung, wird Streptomycin heute kaum noch in der Humanmedizin verwendet. Bei längerer Einnahme des Antibiotikums zeigen sich Schäden an Gehör und Nieren.

Das Antibiotikum kann durch ein biotechnisches Verfahren mit Streotomyces griseus-Stämmen hergestellt werden. Eine chemische Synthetisierung ist nicht möglich.

Die Verwendung streptomycinhaltiger Sprays kann zur Vorbeugung von Blüteninfektionen verwendet werden.

In Österreich wird der Einsatz von Streptomycin durch die AGES (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit) geregelt. Die freie Verwendung des Antibiotikums ist grundsätzlich untersagt, allerdings ist eine Verwendung bei „Gefahr im Verzug“ mit entsprechender Genehmigung möglich. Bei Junganlagen sind nur reduzierte Mengen von Streptomycin erlaubt. Grundsätzlich sind maximal zwei Anwendungen pro Fläche erlaubt.

In Österreich wurden laut AGES 189,2 ha Anbaufläche mit Streptomycin behandelt, dies entspricht 2.5% der Anbaufläche für Äpfel. Dabei wurden insgesamt 186,3 kg des Mittels in ganz Österreich verwendet, dies entspricht umgerechnet einer reinen Wirkstoffmenge von 34 kg.

Um negative Auswirkungen des limitierten Antibiotikaeinsatzes zu dokumentieren und schnell eingreifen zu können, finden in Österreich drei verschiedene Monitoringmaßnahmen statt. Bei Honigmonitoring werden stichprobenartig Rückstände von Streptomycin in Honig gemessen, welches über die Bienen in das Nahrungsmittel gelangt. Ebenfalls findet ein Rückstandmonitoring für verkaufte Früchte statt. Um die Resistenzentwicklungen von Erwinia amylovora feststellen zu können, wird zusätzlich ein Resistenzmmonitoring betrieben, welches Bakterien aus aktuellen Feuerbrandbefällen auf ihre Resistenz gegenüber Streptomycin untersucht.

Über Rückstandsmonitoring konnte nachgewiesen werden, dass Rückstände von Streptomycin auf Äpfeln mit steigenden Anwendungen steigt. Jedoch unterschreiten die gefunden Messwerte die gesetzlichen Höchstwerte und werden als weniger bedenklich eingestuft. [vgl. AGES, 2000]

In Deutschland war Plantomycin das einzige streptomycinhaltige Mittel auf dem Markt, es wurde am 10. März 2000 zugelassen. Als man jedoch Höchstmengenüberschreitungen im Honig feststellte, wurde das Mittel bereits im Januar 2001 vom Markt genommen. Damit sind heutzutage streptomycinhaltige Präparate nur mit Ausnahmegenehmigung für die Verwendung im Obstbau erlaubt.

In Deutschland ist Anwendung bei „Gefahr im Verzug“ und einer Genehmigung, welche mit strengen Maßnahmen und Auflagen verbunden ist, gestattet. Mit einer Genehmigung ist die Benutzung für max. 120 Tage gestattet.

Aufgrund des Verbraucherschutzes wurden 2008 in Deutschland die Höchstmengen für Streptomycin in Honig von 0,02 mg/kg auf 0,01 mg/kg reduziert. [vgl. BLEM 2008]

Bewertung: Die Bekämpfung von Feuerbrand durch Streptomycin ist ambivalent: Auf der eine Seite stellt es eine hocheffektive Bekämpfung der Pflanzenkrankheit mit geringem Arbeitsaufwand und Erhaltung der wirtschaftlichen Leistung der Wirtspflanzen dar. Aus

ökonomischer Sicht macht die Bekämpfung mit Streptomycin daher Sinn. Auf der anderen Seite ergeben sich durch Streptomycin Einsatz vor allem auf lange Sicht negative ökologische Folgen: Durch den häufigen Einsatz des Antibiotikums entstehen Bakterienresistenzen, welche langfristig die Wirksamkeit dieser Methode herabsetzen. Dadurch würde der Obstbau eine kurzfristige und effektive Methode zur Feuerbrandbekämpfung in Notfällen verlieren. Besonders bedenklich allerdings finde ich die Auswirkungen des Einsatzes von Streptomycin auf Bereiche außerhalb der Agrarflächen: Wie bereits oben beschrieben gelangt Streptomycin bei häufiger und großflächiger Verwendung über Nahrungsmittel zum Verbraucher. Zwar wird Streptomycin heutzutage nicht mehr in der Humanmedizin verwendet und Erwinia amylovora für den Menschen ungefährlich, trotzdem ist eine Bildung von Resistenzen anderer Bakterien nicht auszuschließen und stellt ein Risiko da. Ebenfalls verlieren entsprechende Präparate, welche in der Veterinärmedizin verwendet werden durch die Resistenzbildung ihre Wirkung. Weiterhin sind möglicherweise tiefgreifende ökologische Auswirkungen des Streptomycineinsatzes heute noch nicht festzustellbar.

Zudem stellt der Einsatz von Streptomycin für den ökologischen Obstbau keine Option dar, da dieser auf entsprechende Präparate verzichtet.

Streptomycin stellt also auf lange Sicht keine Bekämpfungsstrategie da. Die entsprechenden Gesetze schaffen aber die Grundlage für einen guten Kompromiss zwischen ökonomischen und ökologischen Interessen.

4.5.4 Bakterizide

Neben Streptomycin sind weitere bakterizide Mittel im Einsatz: Kupfersulfat- und Kupferkalkbrühe-Sprays sind frei erhältlich, sie bieten jedoch einen geringen Schutz vor einer Infektion. [vgl. Schmoock, 2006]

Die Kupferspritzung geschieht zwischen Knospenausbruch und Mausohrstadium des Apfelbaumes. Dadurch wird eine Beschädigung der Pflanze vermieden und Bakterien auf der Rinde werden abgetötet und eine Neuansiedlung von Bakterien erschwert. [vgl. Landwirtschaftskammer Tirol, 2006]

Bewertung: Aufgrund der geringen Effektivität kann die Verwendung von den oben aufgeführten Bakteriziden nur als zusätzliche, präventive Maßnahme verwendet werden. Um als effektive Bekämpfungsalternative gegen Feuerbrand anerkannt zu werden, muss die Effektivität dieser Präparate gesteigert werden. Wegen ihrer unspezifischen Wirkung ist es fraglich, ob die Präparate auch das Wachstum anderer Organismen hindern. Daraus würden negative Auswirkungen auf die Umwelt resultieren.

4.5.5 Feuerbrandresistenter Kultivare

Die Praxis zeigt, dass es Unterschiede in der Anfälligkeit einzelner Sorten gegenüber Feuerbrand gibt. Ebenfalls wurden bereits sehr widerstandsfähige bis resistente Apfelsorten gefunden, jedoch sind diese aufgrund ihrer Eigenschaften kaum für eine kommerzielle Nutzung geeignet, da eine entsprechende Akzeptanz beim Endverbraucher fehlt. Die Apfelsorten „Red Delicious“ und „Stayman“ gelten als widerstandsfähig und werden meist nicht infiziert. [vgl. Schmoock, 2006; Bantleon, 2012].

Ziel ist es, empfindliche Sorten zu reduzieren und diese durch resistente bzw. widerstandsfähige Sorten zu ersetzen. [vgl. BMEL, 2008]

Bewertung: Diese Methode ist zu befürworten. Durch die Verwendung resistenter bzw. widerstandsfähiger Kultivare werden Feuerbrandinfektionen präventiv behandelt. Bei der richtigen Sortenwahl hat die Einsetzung dieser Kultivare weder ökonomische noch ökologische Nachteile, einziger negativer Punkt könnte allerdings eine fehlende Verbraucherakzeptanz darstellen. Zudem ist eine Entstehung von Monokulturen und Diversifikation durch den Einsatz weniger widerstandsfähiger Kultivare zu vermeiden.

4.5.6 Biologische Antagonisten

Die Bekämpfung durch biologische Antagonisten macht sich die Konkurrenz bestimmter Bakterien mit Erwinia amylovora zu Nutze. Dabei wird Erwinia amylovora teilweise verdrängt und so der Feuerbrandbefall vermindert.

Dabei gibt es zwei Möglichkeiten, wie andere Bakterien den Feuerbranderreger verdrängen können: Zum einen produzieren bestimmte Bakterien Antibiotika, um sich im Kampf gegen die Konkurrenten durchzusetzen. Ein Vertreter dieser Methode ist das Bakterium Pseudomonas fluorescens Stamm A506. Dieses produziert toxische Antibiotika, welche den Erwinia amylovora-Bestand dezimieren. Das Bakterium wird zurzeit in den USA zur Feuerbrand-Prävention eingesetzt.

Zum anderen können Bakterien um bestimmte Ressourcen konkurrieren, somit kann ein Bakterium den Feuerbranderreger verdrängen, indem seine zum Wachstum benötigten Ressourcen vermindert werden. Ein Beispiel für ein solches Konkurrenzprinzip stellt das Bakterium Pantoea agglomerans EhC9-1 dar. Da es ähnliche Anforderungen hat, konkurriert es mit Erwinia amylovora um wachstums-limitierende Ressourcen. Durch die Verringerung der Ressourcen durch Pantoea agglomerans EhC9-1 wird der Feuerbranderreger teilweise verdrängt. Dieses Bakterium wurde von der US-Umweltschutzagentur für die experimentelle Verwendung zugelassen.

Studien ergaben, dass der Einsatz der beiden Bakterien Pseudomonas fluorescens und Pantoea agglomerans EhC9-1 die Gefahr einer Feuerbrandinfektion durch Erwinia amylovora um 50-80% senken konnten. [vgl. Schmoock, 2006]

Bewertung: Die Bekämpfung durch biologische Antagonisten ist grundsätzlich vielversprechend. Allerdings muss vor einem flächendeckenden Einsatz gewährleistet sein, dass der Einsatz dieser Bakterien keine negativen ökologischen Folgen hat und inwiefern es Erwinia amylovora möglich ist, Resistenzen gegen vom Antagonisten ausgeschüttete Antibiotika zu bilden bzw. sich im Konkurrenzkampf gegen andere Bakterien durchzusetzen.

4.5.7 Gentechnik

Der Teil der Biotechnologie, welcher sich mit der gentechnischen Veränderung von Pflanzen beschäftigt wird als grüne Gentechnik bezeichnet. Ziel der grünen Gentechnik ist es, Pflanzen für die agrarische Nutzung der Menschen zu optimieren.

Der aktuelle Markt zeigt das Problem auf, dass er von einigen wenigen Sorten dominiert wird, diese gegenüber der Feuerbrandkrankheit jedoch als anfällig bis hochanfällig deklariert werden. Durch jahrzehntelange Züchtung haben die Obstbauern durch gezielte Züchtung die Eigenschaften der Sorten für die agrarische Nutzungen, sowie gegenüber dem Verbraucher bzw. Markt optimiert.

Eine Optimierung der bisher vom Verbraucher akzeptierten Sorten würde im Sinne der klassischen Züchtung vorsehen, dass die kommerziell erfolgreichen mit resistenten Sorten gekreuzt werden. Allerdings ergeben sich hieraus einige Probleme: Viele Merkmale werden polygen, d.h. über mehrere Gene verteilt vererbt, daher sind die Eigenschaften der Nachkommen nur bedingt hervorzusehen. Ebenfalls erweisen sich solche Kreuzungen als sehr aufwendig. Trotz der Anwendung molekularbiologischer Verfahren in der klassischen Züchtung würde es Jahre andauern, entsprechende Arten mit kommerziellem Erfolg und Feuerbrandresistenz zu züchten.

Die Grüne Gentechnik versucht, Gene, welche für die Resistenzen bestimmter Sorten verantwortlich sind, in das Genmaterial kommerziell erfolgreicher und akzeptierter Sorten einzuschleusen.

Entsprechende Gene, welche für die Feuerbrandresistenz bzw. Widerstandsfähigkeit verantwortlich sind, kodieren Proteine oder Peptide, welche eine negative Wirkung auf das Bakterium Erwinia amylovora haben. Dies bietet den Vorteil, dass obstbauliche Eigen-

schaften, sowie Eigenschaften, welche für die hohe Akzeptanz der Sorte beim Verbraucher und einfache Kultivierung sorgen, nicht verändert werden. Ebenfalls entfällt hierbei die aufwendige Nachzucht.

Momentan sind kaum resistente Sorten verfügbar, jedoch wurden in den letzten Jahren viele natürliche Substanzen entdeckt, welche antibakterielle Eigenschaften besitzen. So zeigten z.B. Experimente mit Hühnereiweiß oder T4-Phagen, dass Lysosymen bakterielle Zellwände abbauen können. Eine Integration entsprechender Gene der Apfelsorten „Galaxy“ und „Pinova“ zeigten in ersten Untersuchungen, dass diese Sorten eine geringere Infektion mit Feuerbrand im Vergleich zur Kontrollgruppe aufweisen.

Ebenfalls konnte festgestellt werden, dass die Proteine Attacine und Cecropine, welche in den Puppen des Schmetterlings Hyalophora ceropia vorkommen, die Permeabilität der Bakterienzellwände sowie Bildung von denen sich in der Membran befindlichen Membranproteinen beeinflussen. Da die Zusammensetzung entsprechender Zellmembranen jedoch von Bakterienart zu Bakterienart unterschiedlich ist, wirken die Proteine nur sehr speziell. Eine entsprechende Resistenzsteigerung durch diese Methodik konnte bei der Apfelsorte „Royal Gala“ festgestellt werden. [vgl. Jelkmann, 2014]

Allerdings greifen viele der antibakteriellen Substanzen auch eukaryotische Zellen, sprich Zellen von Mensch und Tier an. Daher ist vor einer entsprechenden Einführung eines solchen Verfahrens auf die Unbedenklichkeit des Verzehrs entsprechender Früchte aus entsprechend gentechnisch veränderten Pflanzen zu überprüfen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass transgene Pflanzen, deren Gene entsprechend verändert wurden, eine höhere Resistenz gegenüber dem Feuerbranderreger aufzeigen.

Bewertung: Auf der einen Seite muss vor der Verwendung gentechnisch veränderter Obstsorten eine völlige Unbedenklichkeit für den Verbraucher und die Umwelt garantiert sein. Ebenfalls ist mit einer geringeren Akzeptanz der Verbraucher gegenüber gentechnischen veränderter Obstsorten im Vergleich zu konventionell angebautem Obst zu rechnen. Außerdem sind mitunter weitreichende Folgen noch nicht vorhersehbar, was einen Einsatz entsprechend veränderter Obstsorten schwierig macht.

Auf der anderen Seite sind die durch den Genaustausch bzw. die Rekombination verschiedener Merkmale hervorgegangenen Obstsorten auch unter hohem Zeitaufwand ähnlich mit klassischer Züchtung zu erreichen. Obstsorten, welche aus klassischer Züchtung entstammen mit demselben Ergebnis, würden hingegen von Verbraucher und Behörden wie konventionelle Obstsorten behandelt werden. Allerdings ist ebenfalls festzuhalten, dass durch die klassische Züchtung ebenfalls eine natürliche Selektion der Pflanzen vorherrscht.

Letzen Endes läuft dies auf eine grundsätzliche Diskussion über den Einsatz von Gentechnik hinaus, welche von unserer Gesellschaft geführt werden muss. An solchen grundsätzlichen Entscheidungen muss sich dann auch die Gentechnik in Bezug auf Feuerbrandbekämpfung orientieren.

4.5.8 Pollenübertragende Insekten

Eine Kontrolle statt Bekämpfungsmöglichkeit stellt die Kontrolle pollenübertragender Insekten dar: Durch regelmäßige Kontrollen wird festgestellt, ob die Insekten, in ihrer Funktion als biotischer Vektor der Feuerbrandverbreitung, mit Feuerbranderregern kontaminiert sind. In diesem Fall können die Bienen aus dem Gebiet entfernt werden um eine weitere Verbreitung zu vermindern. [vgl. Bantleon, 2012; Schmoock, 2006] Allerdings verhindert das Entfernen der Bienen auch eine Bestäubung der Blüten, was letztendlich zu einem Ernteausfall bzw. einer Ernteverminderung führen kann.

Bewertung: Eine Kontrolle der Insekten auf Feuerbrand ist grundsätzlich sinnvoll. Durch die erhobenen Daten lassen sich Feuerbrandbefälle bei regelmäßigen Kontrollen schon vor einem symptomatischen Auffallen der Wirtspflanzen feststellen und entsprechende Maßnahmen einleiten. Allerdings ist es fraglich wie effektiv entsprechend befallene Insekten aus dem Gebiet entfernt werden können. Ebenfalls kann eine Entfernung wie bereits oben erläutert zu einem Ernteausfall führen, bei einem gemessenen Befall müsste also zwischen einer Ernteverminderung und einer möglicher Rodung entsprechend stark befallener Bäume kalkuliert werden.

4.5.9 Erstellen einer eigenen Bekämpfungsstrategie

Meine Bekämpfungsstrategie gegen Feuerbrand basiert auf einer Abwandlung des EVA (Eingabe, Verarbeitung, Ausgabe) – Prinzips der Informatik. Das EVA-Prinzip beschreibt, wie Daten in einem Programm verarbeitet werden: Dabei werden sie zuerst gesammelt und eingegeben, anschließend zu verwertbaren Informationen weiterverarbeitet und dem Nutzer ausgegeben. Dieses System lässt sich auch auf die Feuerbrandbekämpfung übertragen:

4.5.9.1 Sammeln von Daten

Ein Grundstein meiner Bekämpfungsstrategie bildet die Entwicklung standardisierte Verfahren zur Feuerbranddiagnose.

Dazu zählt zum einen die Entwicklung eines Bakterienschnelltests: Dieser muss in der Lage sein, über einen kurzen Zeitraum darüber Aufschluss zu geben, ob eine entnommene Probe mit Erwinia amylovora Bakterien kontaminiert ist oder nicht. Damit der Test flächendeckend eingesetzt werden kann, muss er eine geringe Fehlerwahrscheinlichkeit besitzen, schnell und preiswert herzustellen sein und für den Endnutzer (z.B. Obstbauer) einfach und schnell zu handhaben sein.

Somit ist dieser Test in der Lage bei richtiger Verwendung verschiedenste Materialien, wie Kleidung, Werkzeuge, Pflanzenmaterial, Pflanzenschutz, Düngemittel und Wirtspflanzen auf ihre Kontamination zu untersuchen. Bei Wirtspflanzen kann so schon vor einem symptomatischen Auftreten von Feuerbrand die Krankheit diagnostiziert werden und entsprechende Maßnahmen angeordnet werden.

Ein computerunterstützter Fragebogen mit verschiedenen Kriterien ist ebenfalls notwendig um neben dem Test ein weiteres unabhängiges Verfahren zu schaffen. Bei diesem Fragebogen beantwortet der Nutzer verschiedene Fragen zum optischen Aussehen einer Pflanze mit entsprechenden Vergleichbildern. Nach Beantwortung aller Fragen kann aus deren Kombination errechnet werden, inwiefern ein entsprechender Feuerbrandbefall in einem bestimmten Stadium vorliegt.

All diese Daten werden in ein System, indem Obstbauern, Behörden und Forschungsinstitute sowie sonstige Beteiligte integriert sind, eingegeben.

Neben diesen Befallsdaten werden auch Umweltbedingungen wie die Wettersituation, die die Feuerbrandverbreitung begünstigen, gesammelt.

4.5.9.2 Verarbeitung

In einem zweiten Schritt werden alle erhobenen Daten mit Hilfe mathematischer Modelle berechnet. Anhand dieser Berechnungen kann festgestellt werden, welche Regionen momentan von Feuerbrand befallen sind.

Das System ordnet anhand der Daten und Berechnungen die verschiedenen Obstplantagen räumlich differenziert in verschiedene Risikogruppen ein.

4.5.9.3 Ausgabe

Für jede Risikogruppe gibt es einen entsprechenden Maßnahmenkatalog, der beschreibt, welche Maßnahmen zur Feuerbrandbekämpfung ergriffen werden müssen. Je nach aktueller Risikogruppe werden von präventiven Maßnahmen über die Errichtung von abgegrenzten Gebieten bis hin zu Einsatz von Antibiotika oder Rodungen.

4.5.9.4 Kommunikation

Ferner bietet das System Forschungsinstituten und Behörden wichtige Daten zu räumlichen Ausbreitung der Krankheit und eine direkte Rückmeldung über die Effektivität entsprechend eingesetzter Maßnahmen.

Ebenfalls werden die individuelle Kommunikation und der Erfahrungsaustausch zwischen allen Teilnehmern ermöglicht, dadurch werden Innovationen vorangetrieben und Transparenz geschaffen.

4.5.9.5 Bewertung:

Positiv zu bemerken ist, dass die Einführung einer entsprechenden Strategie würde zu einer Förderung von Innovation durch die verbesserte Kommunikation und Verfügbarkeit von Daten führen. Ebenso könnte dadurch die Obstbauern besser über die Feuerbrandsituation aufgeklärt werden und so der Bekämpfungserfolg und das Verständnis für entsprechende Maßnahmen gesteigert werden.

Ebenfalls führt die erreichte bessere Koordination zu einer effektiveren Nutzung der Bekämpfungsmaßnahmen.

Allerdings werden durch den Einsatz eines so stark standardisierten die individuellen Handlungsmöglichkeiten der einzelnen Betroffenen sowie intuitive Maßnahmen unterbunden. Ebenfalls ist ein so komplexes und umfassendes System praktisch schwierig umzusetzen, zudem ist es schwierig neue Verfahren zu einzuführen, da aufgrund der Standardisierung viele Mitglieder von einer solchen Umstellung betroffen sind.

4.6 Ergänzungen zu Methode und Vorgehensweise

4.6.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern

4.6.1.1 Abbildungen:

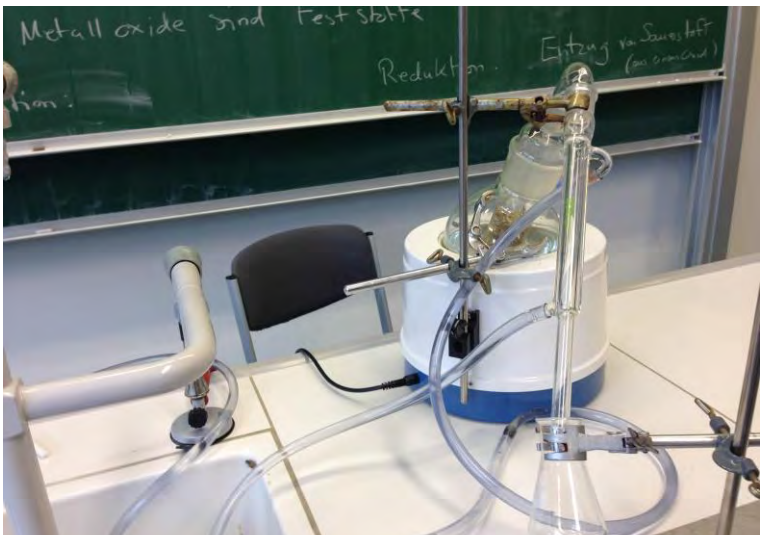


Bild 6: Wasserdampfdestillationsapparatur



Bild 7: Kolben mit Wasser und Kolben mit Pflanzenmaterial

4.6.1.2 Prinzip der Wasserdampfdestillation

Mit Hilfe der Wasserdampfdestillation lassen sich z.B. ätherische Öle und die darin enthaltenen antibakteriellen Wirkstoffe aus Pflanzen gewinnen. Die Destillation macht sich dabei die unterschiedlichen Siedepunkte bestimmter Stoffe zu Nutze. Durch Erhitzen werden die Stoffe gasförmig gemacht und anschließend durch Abkühlen kondensiert. Durch diesen Prozess werden sie von anderen Stoffen getrennt.

Dazu wird Wasser erhitzt und der entstehende Wasserdampf durch getrocknetes, zerkleinertes Pflanzenmaterial geschleust. Der Wasserdampf löst so die ätherischen Öle aus dem Pflanzenmaterial. Wasserdampf und ätherische Öle werden mit Hilfe eines Liebigkühlers kondensiert und anschließend aufgefangen. Aus der Wasserdampfdestillation der Heilpflanze enthält man nun eine Emulsion aus ätherischen Ölen und Wasser. Da ätherische Öle hydrophob sind und eine geringere Dichte als Wasser besitzen, setzen sie sich an Wasseroberflächen zu kleineren Fettaugen ab.

4.6.1.1 Aufbereiten der Bakterien

Die Bakterien wurden in gefriergetrockneter Form geliefert. Vor einer erfolgreichen Kultivierung mussten sie entsprechen aufbereitet werden:

Um die Bakterien steril zu halten und eine Verpilzung der Versuchsansätze zu vermeiden werden die Kulturen in einer Glasampulle geliefert. Diese muss zunächst geöffnet werden. Dazu erhitzt man sie mit einem Bunsenbrenner und tropft anschließend zwei bis drei Wassertropfen auf die Glasampulle. Dadurch zerspringt die Ampulle und kann so geöffnet werden. In der Ampulle befindet sich ein kleines Röhrchen, welches die Bakterien enthält, es wird durch einen Baumwollstopfen geschlossen. Nachdem man diesen entfernt hat, wird der Rand des Glasröhrchens kurz abgeflammt um diesen zu sterilisieren.

Nachdem das Bakterienbehältnis nun steril geöffnet wurde, gibt man 1 ml Nährlösung (Nährmedium ohne Agar) auf die Bakterien, um diese zu quellen. Nach 30 Minuten Quellen sind die Bakterienkulturen bereit für die Infizierung der Nährmedien.

4.6.1.1 Voruntersuchung zur Verwendung des richtigen Nährbodens

Essentiell für ein gutes Bakterienwachstum und eine sichere Auswertung ist die Beschaffenheit des Nährmediums.

Nachdem bei einem ersten Versuch der Nährboden nach dem Erhitzen nicht erstarrte und seine flüssige bis viskose Konsistenz beibehielt, musste dieser Ansatz abgebrochen und entsorgt werden. Daher wurden vor dem Beginn einer zweiten Versuchsreihe einige Voruntersuchungen zur optimalen Herstellung des Nährbodens angestellt:

Es bestand insgesamt der Zugang zu drei verschiedenen Agarsorten, welche bestellt wurden bzw. in der Schule vorrätig waren.

Mit allen drei Agarsorten stellten wir Nährböden her. Diese testeten wir zunächst auf ihre Konsistenz und Farbe, welche für die Auswertung und Differenzierung zwischen Nährmedium und Bakterienkolonie entscheidend ist. Ebenfalls wurden unterschiedliche Dosierungen des Agars getestet, da diese die Konsistenz des Nährmediums beeinflussten: Bei zu geringer Dosierung kann das Nährmedium nicht aushärten und behält seinen flüssigen Zustand, bei einer zu hohen Dosierung wird es fest und brüchig bis rissig. Entscheidend für einen guten Nährboden ist also der ideale Mittelwert, welche das Nährmedium auch beim Umdrehen der Schale fest in der Unterdeckel der Petrischale hält, aber gleichzeitig ausreichend dynamisch ist, um bei der Applikation der Bakterienlösung und anschließendem Verteilen, sowie Aufbringen der antibakteriellen Lösung nicht beschädigt zu werden.

Neben Wasser und Agar enthält eine Nährlösung noch weitere Inhaltsstoffe, die für die Ernährung der Bakterien sorgen: Liebigs Fleischextrakt und Pepton. Bei der Dosierung dieser Inhaltsstoffe orientierten wir uns an den Angaben des Zulieferfirma DSMZ, da die Bakterien auch in dieser Nährlösung kultiviert wurden und daher von dieser Konstellation ein optimales Wachstum erhofft werden konnte.

4.6.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora)

4.6.2.1 Abbildungen

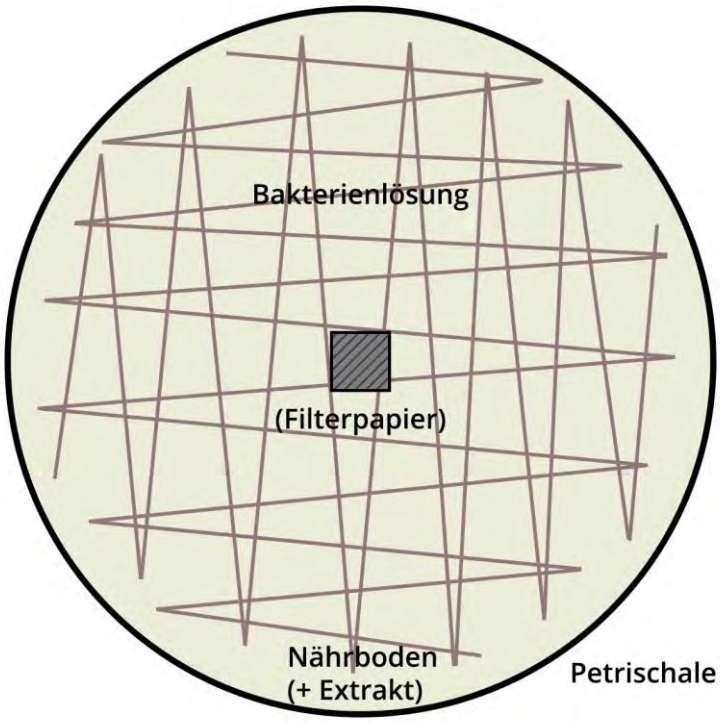


Abbildung 4: Versuchsaufbau Hemmhoftest 1

4.6.2.2 Herstellung des Nährmediums

Ein Nährmedium besteht aus Wasser, Agar (verantwortlich für die feste Konsistenz) sowie Pepton und Liebig Fleischextrakt als Nährstoffe für die Bakterien. Wir entschieden uns für die Rezeptur der Firma DSMZ.

destilliertes Wasser	1000 ml
Agar	15 g
Pepton	5 g
Liebig Fleischextrakt	3 g

Tabelle 3: Nährbodenrezeptur (Quelle: http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium1.pdf)

Alle Inhaltsstoffe werden in Wasser gelöst und dieses über eine Heizplatte zum Kochen gebracht. Nach 30-40 min kocht die gesamte Nährlösung und kann in die Bakterienschalen gegossen werden. Nach dem Abkühlen ist das Nährmedium zu einem festen Nährboden erstarrt.

4.6.2.3 Fehleranalyse

Nachdem die Ergebnisse des ersten Tests auf eine antibakterielle Wirkung wenig zufriedenstellend und aussagekräftig waren, entschieden wir uns dazu, die Verfahren zu optimieren und den Test zu wiederholen.

4.6.2.3.1 Nährboden

Eines der Hauptproblematiken der Bakterienversuche mit Nährboden war der Nährboden selbst:

Zum einen wurde er während eines weiteren, abgebrochenen Hemmhofansatzes nicht fest. Ähnlich wie Gelatine sorgt das Agar in der Nährlösung nach Erhitzen für die feste Konsistenz des Nährbodens nach dessen Erkalten. Grund für das nicht Erkalten konnte zum einen eine zu gering verwendete Menge Agar oder zum anderen ein zu geringes Erhitzen des Nährmediums sein. Ebenfalls könnte das Agar selbst nicht mehr funktionstüchtig sein.

Um alle drei Faktoren auszuschließen entschlossen wir uns dazu Nährmedien aus verschiedene Agarsorten und verschiedenen Konzentrationen zu testen. Ebenfalls achteten wir bei den folgenden Versuchen darauf, dass das Nährmedium ausreichend lange kochte, um die feste Konsistenz des Nährbodens nach dem Erkalten zu erreichen.

Ebenfalls fiel uns auf, dass der Nährboden von Petrischale zu Petrischale unterschiedlich hoch war. Wir gingen davon aus, dass Bakterien in Ansätzen mit mehr Nährmedium mehr Nährstoffe zu Verfügung haben und sich so potentiell schneller vermehren können. Um diese Ungenauigkeit zu beseitigen, entschieden wir uns dazu, die Menge an Nährboden pro Petrischale festzuschreiben:

Dazu füllten wir eine Petrischale bis zur von uns als optimal definierten Höhe mit Nährmedium und wogen sie: Aus Differenz der befüllten und leeren Petrischale ergab sich ein Gewicht von 25 g Nährboden pro Schale, welches sich als für unsere Zwecke Nährbodenmasse herausstellte. Bei folgenden Versuchen wurde über eine Waage nun die Nährbodenmenge überprüft.

Die Bildung von kleineren festen Stücken aus Agar in dem Nährboden stellte bei den bisherigen Untersuchungen zwar kein Problem dar, dennoch entschieden wir uns dazu das Nährmedium vor dem Eingießen in die Petrischalen sicherheitshalber zu filtrieren, um etwaige feste Rückstände zu entfernen, die eine Auswertung beeinträchtigen können.

4.6.2.3.2 Extrakte

Bei Verwendung der Extrakte traten zwei verschiedene Problematiken auf: Zum einen waren die Filterpapierstücke unterschiedlich groß und konnten so unterschiedliche Mengen an Extrakten aufnehmen, woraus sich eine höhere antibakterielle Wirkung ergibt. Zum anderen waren die selbsthergestellten Extrakte untereinander kaum zu vergleichen.

Daher entschieden wir uns für weitere Untersuchungen die Extrakte des Unternehmens Finzelberg zu verwenden, da diese besser untereinander zu vergleichen waren. Zum anderen lösten wir immer eine standardisierte Menge Trockenextrakte in einer standardisierten Menge Wasser auf. Diese beiden Tatsachen machen alle folgenden Hemmhoftests untereinander vergleichbar.

Das Problem mit der unterschiedlichen Größe der Filterpapierstücke konnten wir mit einer Standardisierung der Filterpapierstücke auf eine quadratische Form mit den Längenmaßen 10 mm x 10 mm ebenfalls lösen.

4.6.2.3.3 Bakterien

DSMZ empfiehlt die Bakterien mit einer Impföse in einem doppelten und gekreuzten Zick-Zack-Muster aufzutragen. Nachdem wir diese Methode zunächst angewandt hatten, fiel uns auf, dass sie für quantitativ aussagekräftige Hemmhoftests weniger geeignet ist:

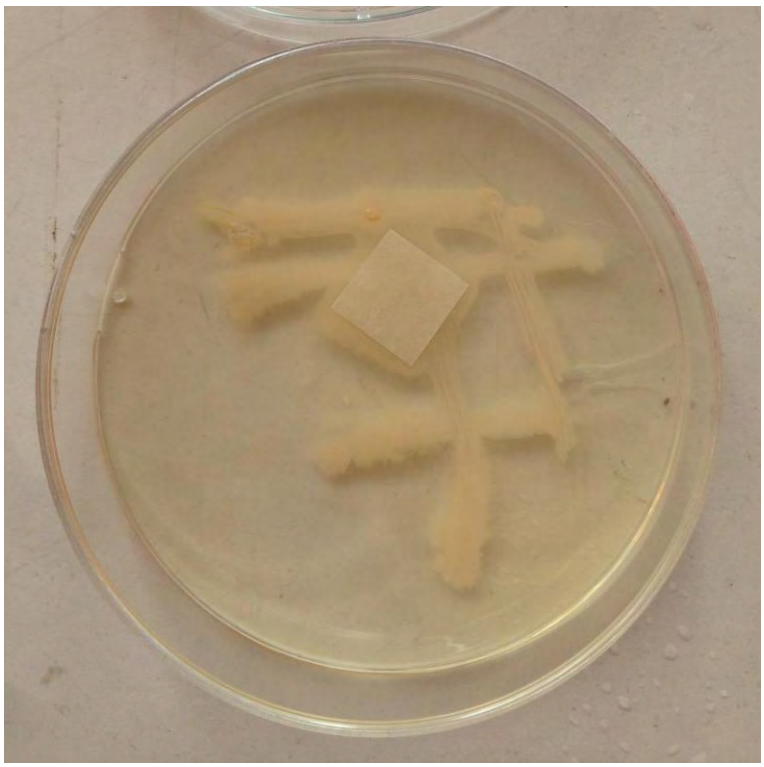


Bild 8: Beispiel für die ungleichmäßige Bakterienverteilung durch das Zick-Zack-Muster

Zum einen wird durch die Applikation per Impföse der Nährboden beschädigt. Über die entstanden Risse ist es den Bakterien möglich, sich auch innerhalb der Risse zu vermehren, wodurch ein Wachstum in die Tiefe statt ein oberflächiges Wachstum möglich ist. Durch diese Tatsache kann das zweidimensional optisch wahrnehmbare Flächenwachstum verfälscht werden, da die Risse je nach Ansatz unterschiedlich ausfallen. Ebenfalls erzeugt die Möglichkeit des Bakterienwachstums in die Tiefe eine Art Flächenwachstumsstopp: Statt sich weiter oberflächlich auszubreiten, wachsen die Bakterien in die Tiefe.

Zwei weitere Ungenauigkeiten entstehen ebenfalls durch diese Technik, betrachtet man die quantitative Bakterienverteilung.

Bei Betrachtung der gesamten Petrischale fällt auf, dass je nachdem wie viel Bakterien-Nährmedium-Lösung an der Impföse haften bleibt, unterschiedliche Mengen an Bakterien je nach Ansatz aufgetragen werden. Da die anfängliche Bakterienanzahl in direkter Korrelation mit dem Wachstumspotential der Bakterienkolonie steht, ist dies eine nicht zu unterschätzende Messungenauigkeit. Bedenkt man weitergehend die relative Verteilung von Bakterien innerhalb einer Schale, so fallen auch hier deutliche Unterschiede auf, welche gerade bei Hemmhoftests das Ergebnis stark negativ beeinflussen können.

Deshalb entschieden wir uns dafür, die eingesetzte Bakterienmenge nach entsprechender Verdünnung der Bakterienlösung mit Nährlösung auf 0,5 ml pro Petrischale festzusetzen.

Auch das Applikationsverfahren wurde optimiert: Nachdem die Bakterienlösung zunächst abgemessen durch eine Messpipette auf den festen Nährboden gegeben wurde, planierten wir sie mit Hilfe eines Paganellispatels gleichmäßig auf der Petrischale, ohne den Nährboden selbst zu beschädigen und ein gleichmäßiges Flächenwachstum zu garantieren.

4.6.2.3.4 Steriles Umfeld

Um eine höhere Sterilität zu erreichen, beschlossen wir folgende Maßnahmen:
Es wurden eingeschweißte Einweg-Petrischalen bestellt und verwendet. Diese wurden erst unmittelbar vor Versuchsbeginn geöffnet und garantieren gegenüber den Glas-Petrischalen sterilere Bedingungen. Ebenfalls wurden diese durch Parafilm entlang des Randes abgedichtet, um eine Infektion des Nährbodens durch andere Pilze oder Bakterien von außen zu vermeiden.
Alle verwendeten Instrumente wurden nach einer gründlichen Reinigung mit Ethanol desinfiziert und direkt vor ihrer Benutzung noch einmal über einem Bunsenbrenner kurz desinfiziert. Ebenfalls wurden sie nur einmal pro Ansatz verwendet und anschließend gereinigt.
Als Tischunterlage verwendeten wir Alufolie, welche zusätzlich durch Ethanol desinfiziert wurde, selbiges gilt auch für die nach einer gründlichen Handwäsche benutzten Handschuhe.
Die Bakterien im Nährmedium selbst wurden durch das für die Erhärtung notwendige Erhitzen automatisch abgetötet und durch das Ausgießen des Nährmediums in noch heißen, flüssigen Zustand wurde auch der Innenraum der Petrischale zusätzlich autoklaviert.

4.6.2.3.5 Auswertungsverfahren

In den vorherigen Versuchen war das Auswertverfahren noch qualitativer Natur und bestand aus einem Fotografieren durch eine Handykamera, der optischen Begutachtung und dem potentiellen Messen jedoch nicht existenter Hemmhöfe. Das Auswertverfahren wurde in den neuen Ansätzen optimiert:

4.6.2.3.5.1 Fotografieren

Zum Fotografieren wurde nun eine 18 MP Spiegelreflexkamera mit einem Standard-Kit-Objektiv von 18-55 mm Brennweite verwendet. Neben 10 MP höherer Auflösung bietet eine Spiegelreflexkamera zudem den Vorteil der manuellen Bildeinstellung und einer va-

riablen Brennweite, was die Bilder und Ansätze untereinander vergleichbarer macht. Außerdem werden Tonwerte besser dargestellt und somit feine Helligkeitsunterschiede, wie z.B. bei schwachen Hemmhöfen besser sichtbar.
Um den gleichen Abstand zur Petrischale beizubehalten wurde die Kamera immer auf einem Stativ befestigt, wobei die vertikal nach unten auf die Petrischale zeigte. Ebenfalls wurde die Kamera immer gleich eingestellt: Bei einer Brennweite von 55mm, was in etwa der des menschlichen Auges entspricht, um starke Verzerrungen zu vermeiden wurde mit einer offenen Blende (f5.6) für hohen Lichteinfall bei einem ISO-Wert von max. 400 fotografiert, um ein zu starkes Bildrauschen und Detailverluste zu vermeiden. Um keinen Qualitätsverlust zu erzeugen, wurden die Bilder im RAW-Format abgespeichert. Die spätere Bearbeitung am Computer bestand in einer RAW-Konvertierung mit Weißabgleich, Kontrast und Dynamikoptimierung sowie Nachschärfung.
Fotografiert wurde auf schwarzem und weißem Untergrund. Der weiße Untergrund enthielt zudem 10mm – Markierungen zur Darstellung der Hemmhöfe. Da der dunkle Untergrund die Differenzierung von Nährboden und Bakterienkolonie bzw. Hemmhof und Nicht-Hemmhof erleichtert, stellt diese Arbeit nur die Fotos auf dunklem Untergrund dar. Durch das Programm Adobe Photoshop CC wurde das Bild zugeschnitten und beschriftet.

4.6.2.3.5.2 Messung der Hemmhöfe

Mit Hilfe eines Lineals wurde der Hemmhofradius beginnend bei der Außenkante des Filterpapierstückes bis zum Ende des Hemmhofs in mm gemessen und festgehalten. Als Hemmhof wurden hierbei die von Bakterienkolonien freien Bereiche, welche sich radial vom im Zentrum befindlichen Filterpapierstück hin nach außen ausbreiten, definiert.

4.6.2.3.5.3 Markieren

Zudem werden die Hemmhöfe nach dem Fotografieren und Vermessen mit einem wasserfesten Folienstift in verschiedenen Farben nach Tagen auf der Petrischale umkreist und somit dokumentiert, um die Entwicklung über die mehreren Tage zusätzlich festzuhalten.

4.6.2.4 Aufbereiten der Bakterien

Die Bakterien wurden in gefriergetrockneter Form geliefert. Vor einer erfolgreichen Kultivierung mussten sie entsprechen aufbereitet werden:

Um die Bakterien steril zu halten und eine Verpilzung der Versuchsansätze zu vermeiden werden die Kulturen in einer Glasampulle geliefert. Diese muss zunächst geöffnet werden. Dazu erhitzt man sie mit einem Bunsenbrenner und tropft anschließend zwei bis drei

Wassertropfen auf die Glasampulle. Dadurch zerspringt die Ampulle und kann so geöffnet werden. In der Ampulle befindet sich ein kleines Röhrchen, welches die Bakterien enthält, es wird durch einen Baumwollstopfen geschlossen. Nachdem man diesen entfernt hat, wird der Rand des Glasröhrchens kurz abgeflammt um diesen zu sterilisieren.

Nachdem das Bakterienbehältnis nun steril geöffnet wurde, gibt man 1 ml Nährlösung (Nährmedium ohne Agar) auf die Bakterien, um diese zu quellen. Nach 30 Minuten Quellen sind die Bakterienkulturen bereit für die Infizierung der Nährmedien.

4.6.3 Trockenextrakte des Unternehmens Finzelberg

Ex-Trakt Nr.	Lateinischer Pflanzenname Pflanzenteil	Auszugsmittel	DEVnativ	Innere Zusammensetzung
1	Thymus vulgaris Thymiankraut	Ethanol 70% (V/V)	4 : 1	80% nativer Extrakt 17% Glucose-Sirup sprühgetrocknet 3% Siliciumdioxid Hochdispers
2	Salvia officinalis Salbeiblätter	Wasser	7 : 1	50% Extrakt 50% Siliciumdioxid wassergefällt
3	Matricaria chamomilla Kamillenblüten	Ethanol / Wasser	5 : 1	Ca. 50% Kamillen Extrakt ca. 50% Maltodextrin
4	Cinnamomum cassia Zimtrinde	Wasser	19 : 1	50% nativer Extrakt 50% Mikrokristalline Cellulose
5	Pelargonium sidoides Pelargonienwurzel	Ethanol 11% (M/M)	8 : 1	70% nativer Extrakt 30% Maltodextrin
6	Cistus creticus eriocephalus Zistrosenkraut	Wasser	5 : 1	70% nativer Extrakt 28% Maltodextrin 2% Siliciumdioxid Hochdispers
7	Cistus creticus eriocephalus Zistrosenkraut	Ethanol 40% (V/V)	13 : 1	100% nativer Extrakt
8	Vitis viniferae Rotes Weinlaub	Wasser	5 : 1	80% nativer Extrakt 17% Glucose-Sirup sprühgetrocknet 3% Siliciumdioxid Hochdisperse
9	Artemisiae dracunculi russisches Estragonkraut	Wasser	3 : 1	70% nativer Extrakt 30% Maltodextrin
10	Vitis viniferae Traubenkerne	Aceton / Wasser Ethylacetat	75 : 1	100% nativer Extrakt
11	Thymus vulgaris Thymiankraut	Wasser	4 : 1	40% native Extrakt 60% Maltodextrin
12	Menthae x piperitae Pfefferminzblätter	Ethanol 60% (V/V)	3 : 1	70% nativer Extrakt 27% Maltodextrin Ph. Eur. 3% Siliciumdioxid Hochdispers
13	Allii cepae Zwiebel	Wasser	1 : 2	100% nativer Extrakt
14	Achillea Millefolium Schafgarbenkraut	Wasser	7 : 1	70% nativer Extrakt 30% Maltodextrin
15	Artemisia absinthium L. Wermutskraut	Wasser		Eigene Wasserdampfdestillation

Tabelle 4: Trockenextrakte des Unternehmens Finzelberg

4.6.3.1 Thymiankraut (Thymus vulgaris)



Thymian ist ein 10 bis 15 cm hohes Gewächs mit starkem Wurzelwerk. Es zählt zur Familie der Lippenblütler. Thymian ist immergrün und die Blüten blühen von Mai bis Oktober in den Farben hellrosa bis blauviolett. Die Pflanze bevorzugt sonnige und trockene Standorte, daher kommt sie im Mittelmeerraum, Balkan und Kaukasus vor. Als Gewürz oder Heilmittel wird Thymian vielfach auch in Europa kultiviert. Zur Herstellung der 61 Phytopharmaka, die man aus Thymian gewinnen kann, wird das gesamte Pflanzenmaterial verwendet. Traditionell wird Thymian durch Tees verabreicht. Heute verwendet man das durch Wasserdampfdestillation gewonnene ätherische Öl namens „Thymi vulgari aetheroleum“ oder Presssaft; ebenfalls werden Kapseln und Tabletten vermarktet, welche Extrakte enthalten.

Wirkung: In der Volksmedizin wird Thymian bei der Behandlung von chronischer Magenschleimhautentzündung, Asthma, Kehlkopfentzündung, Hautkrankheiten und schlecht heilenden Wunden verwendet. Ebenfalls wird es als Gurgelwasser verwendet, welches den Rachenraum von Bakterien und Pilzen reinigt und entzündungshemmend wirkt. In der modernen Medizin wird es gegen Bronchitis, Krampfhusten, Keuchhusten und Katarrhen verwendet, vor allem aber macht man sich die krampflösenden Eigenschaften des Thymians zu Nutze.

Thymian gilt als nebenwirkungsarme Alternative zu synthetischen Medikamenten. [vgl. Hirsch (S. 677-679), 2014; Blüthner (S. 24-26), 2011]

Bild 9: Thymiankraut (Quelle: http://maik-ruebner.de/wp-content/uploads/pressebilder_g/Thymian_G.jpg (bearbeitet))

4.6.3.2 Salbei (Salvia officinalis)



Salbei ist ein 40 – 60 cm hoher Halbstrauch mit verholzten unteren Stängeln. Er besitzt längliche, schmale Blätter, welche weich und filzig sind. Salbei zählt zur Familie der Lippenblütler. Er blüht Mai oder Juni und kommt vor allem im Mittelmeerraum vor, kann aber auch in hiesigen Gärten kultiviert werden.

Zur Extraktherstellung werden nur die Blätter verwendet, diese werden vor oder nach der Blüte geerntet.

Wirkung: Salbei wirkt antibakteriell, blutstillend, entzündungshemmend und krampflösend. Salbei kann äußerlich und innerlich angewendet werden. Dazu trinkt oder wendet man die ätherischen Öle oder einen aufgebrühten Tee an.

Aufgrund seiner vielzeitigen Wirkungen, wird er in der Literatur auch oft als Allheilmittel umschrieben. Für über 50 Erkrankungen und Verletzungen wird eine Behandlung mit Salbei empfohlen. Neben Bronchitis, Insektenstichen, Hautkrankheiten, Rheuma, Mundschleimentzündung und Zahnfleischbluten wird Salbei bei Halsschmerzen und starkem Schwitzen verwendet. [vgl. Hirsch (S.586f), 2014]

Bild 10: Salbei (Quelle: http://www.gartengrewe.de/images/background/salbei.jpg (bearbeitet))

4.6.3.3 Kamille (Matricaria chamomilla)



Kamille zählt zur Familie der Korbblütengewächse. Sie wird 50-80 cm hoch und besitzt oberflächennahe Faserwurzeln. Mai bis Juni gehen die Blütenköpfe der Kamille auf, zu dieser Zeit wird sie auch geerntet. Kamille stammt ursprünglich aus Vorderasien und Osteuropa, kommt heute aber in ganz Europa, Australien und Nordamerika, sowohl als Wildtyp als auch kultiviert vor.

Zur Herstellung von ätherischen Ölen und Extrakten werden nur die Blüten verwendet, per Wasserdampfdestillation erhält man aus ihnen das blaue Kamillenöl (Azulen).

Die Droge kann per Kamillentee, Salben, Kapseln oder Tabletten konsumiert werden. Salben, Kapseln und Tabletten enthalten die zerkleinerte Droge und Öl oder ein mit einem Auszugsmittel (Mischung aus Wasser und Alkohol) gewonnenes Extrakt.

Wirkung: Kamille wirkt antimikrobiell und entzündungshemmend. Es wird bei Haut- und Schleimhautentzündungen, schlecht heilenden Wunden und Magen-Darm-Beschwerden verwendet. Es gilt als nebenwirkungsarm. Die Anwendung am Auge wird wegen dem Gehalt an Sesquiterpenen abgeraten. Außerdem kann es allergische Reaktionen hervorrufen. Aus Kamille werden derzeit etwa 60 verschiedene Phytopharmaka hergestellt. [vgl. Wendelberger (S.118f), 2013; Blüthner (S.24-26), 2011; Hirsch (S.364-366), 2014]

Bild 11: Kamille (Quelle: http://www.immac.at/fileadmin/images/Kamille2gr.jpg (bearbeitet))

4.6.3.4 Cassia - Zimt (Cinnamomum cassia)



Cinnamomum cassia, auch als Chinesischer Zimt bezeichnet, gilt als Verfälschung des echten Zimts (Cinnamomum zeylanicum). Bei dem chinesischen Zimt handelt es sich um einen 6-10m hohen, immergrünen Baum. Die wirksamen Inhaltsstoffe sind in der Zimtrinde enthalten. Die Rinde enthält zu 0,5 – 4 % ein ätherisches Öl, welches zu über 60% aus Zimtaldehyd besteht.

Wirkung: Zimtrinde fördert den Appetit und die Darmtätigkeit, außerdem hilft es bei Verdauungsproblemen. Vermutlich beeinflusst es den Blutzuckerspiegel, indem es die Insulinausschüttung erhöht. Nebenwirkungen sind derzeit nicht bekannt. Da der Chinesische Zimt (auch Cassia-Zimt genannt) leberschädigendes Cumarin enthält, wird ein Konsum bei Kleinkindern, Schwangeren und Stillenden abgeraten. Langfristige Folgen sind nicht bekannt. Es wird allerdings empfohlen, Zimt nur in Maßen zu konsumieren. [vgl. Melzer, 2012]

Bild 12: Cassia - Zimt (Quelle: https://www.flickr.com/photos/sauerpower/6000724287/sizes/o/in/photostream/ (bearbeitet))

4.6.3.5 Pelargonie (Pelargonium sidoides)



Die Pelargonie ist eine 20-80 cm hohe Pflanze. Sie ist in Südafrika und Lesotho beheimatet und gehört zu den Geraniengewächsen. Die Pelargonie blüht von Juli bis September.

Nur die Wurzel enthält medizinisch wirksame Inhaltsstoffe: Cumarine, Flavonoide, Gerbstoffe und ätherisches Öl.

Wirkung: Die gewonnen Extrakte aktivieren das Immunsystem und bekämpfen Krankheitserreger. Sie wirken außerdem schleimlösend und können dementsprechend bei Husten und Schnupfen angewendet werden.

Wie auch Zimtrinde enthält die Pelargonienwurzel Cumarin. Deshalb sollte man es in Maßen einnehmen, da es die Blutungsneigung erhöht und zu Leberschädigungen führen kann. [vgl. Melzer, 2008]

Bild 13: Pelargonie (Quelle: http://www.tapetus.pl/obrazki/n/132773_biale-pelargonie.jpg (bearbeitet))

4.6.3.6 Zistrosenkraut (Cistus creticus eriocephalus)



Das Zistrosenkraut entstammt der Familie der Zistrosengewächse und ist ein bis zu 60 cm hoch wachsender Strauch. Die Zistrose blüht von Mai bis Juli. Zur Verwendung werden Blätter sowie kleine Zweige, Blüten und Harz verwendet. Neben Gerb- und Farbstoffen enthält die Zistrose ätherische Öle sowie die Vitamine C und E.

Wirkung: Die Extrakte haben eine antibakterielle und antiallergische Wirkung, ebenfalls wirken sie entgiftend sowie pilz- und entzündungshemmend.

Zistrose wird bei Grippe und Hauterkrankungen empfohlen, ebenfalls ist Zistrose die Pflanze mit dem höchsten Polyphenolwert (Gerb- und Farbstoffe) im europäischen Raum. Polyphenole gelten als Radikalfänger, sodass die Zistrose als lebensverlängernd beschrieben wird und ebenfalls präventiv gegen viele Krankheiten eingesetzt werden kann. Ebenfalls hilft Zistrose bei der Entgiftung von Schwermetallen, Umweltgiften oder Tabakrückständen, zudem wird Zistrose ein vor Zecken schützender Effekt nachgesagt. [vgl. Hirsch (S. 755f), 2014]

Bild 14: Zistrosenkraut (Quelle: http://www.baiertal.net/gallery3/var/albums/Reisen/Weltreise/Europa/Spanien/2013-06-14_09-09-50_DSC06059.jpg?m=1373157981 (bearbeitet))

4.6.3.7 Rotes Weinlaub (Vitis viniferae)

Das Rote Weinlaub entstammt der Weinrebe (Vitis vinifera), einem Strauch, dessen Sprossranken bis zu 20 m hochklettern können. Sie besitzt einen holzigen Stamm und rundlich bis herzförmige Blätter, welche sich im Herbst tiefrot einfärben. Aus den unscheinbaren weißen bis gelblichen Blüten, welche von Mai bis Juni blüht, entstehen Weintrauben.



Lediglich die tiefroten Blätter aus dem Herbst werden zur Extraktherstellung verwendet, sie enthalten vor allem Flavonoide und Gerbstoffe.

Wirkung: Die gewonnen Extrakte werden als Creme, Tablette oder Kapsel verabreicht. Sie haben positive Effekte auf Venenfunktion und haben eine entzündungshemmende Wirkung. Die positiven Effekte einer Anwendung von Extrakten aus Roten Weinlaub zeigen sich meist erst nach mehreren Wochen. [vgl. Melzer, 2012]

Bild 15: Rotes Weinlaub (Quelle: http://img.galerie.chip.de/imgserver/communityimages/871000/871038/original_4FF9E26A7A3C1AF0DA3DEFF26665F43D.jpg (bearbeitet))

4.6.3.8 Pfefferminze (Menthae x piperitae)



Die Pfefferminze zählt zur Familie der Lippenblütler und ist eine 30-80 cm hohe, krautige und flach wurzelnde Staude. Sie blüht ab Juni bis September. Sie kommt kaum verwildert, jedoch weltweit kultiviert vor.

Es wird nur das wirkstoffhaltige Kraut als Tee, Lutschtabletten, Hustenpastillen oder Gurgelwasser verwendet.

Wirkung: Pfefferminze wirkt gegen Schleimhautentzündungen der oberen Atemwege. Ebenfalls kann es gegen Spannungskopfschmerzen durch Applikation eines 10%igen Pfefferminzöls in alkoholischer Lösung auf die Stirn verwendet werden.

Pfefferminze gilt als nebenwirkungsarm, sollte jedoch nicht bei Gallenproblemen und schweren Leberschäden verwendet werden. Ebenfalls wird davon abgeraten, es bei Kinder im Gesicht anzuwenden. [vgl. Hirsch (S.548f), 2014]

Bild 16: Pfefferminze (Quelle: http://www.balkon-oase.de/wp-content/uploads/Pefferminze-Balkon.jpg (bearbeitet))

4.6.3.9 Zwiebel (Aliium cepa)



Die Zwiebel stammt ursprünglich aus Indien, sie ist aber bereits im Mittelalter in ganz Europa bekannt.

Zum Verzehr und zur Behandlung wird die Zwiebelknolle verwendet. Die Zwiebel bildet Zwiebelstängel, welche gleichzeitig als Blätter fungieren. Diese sind rund, fleischig und innen hohl. Die Stängel werden bis zu 50cm hoch. Im Hochsommer wird die Zwiebel geerntet, da sie dann eine Knospe ausbildet, welche man ernten kann.

Neben der direkten, allgemein bekannten Zubereitung als Gemüse können erwärmte Zwiebelscheiben äußerlich angewendet werden. Außerdem ist auch das Einnehmen von gepresstem Zwiebelsaft möglich.

Wirkung: Die Zwiebel hat verschiedene Wirkungen: Neben der allgemein antibakteriellen Wirkung kann sie z.B. zur Behandlung von Magenproblemen, Bluthochdruck, Infektionen und Geschwüren verwendet werden. [vgl. Marbach, 2011; Hirsch (S.765f), 2014]

Bild 17: Zwiebel (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Field_with_onions.jpg (bearbeitet))

4.6.3.10 Schafgarbenkraut (Achillea millefolium)



Schafgarbenkraut zählt zur Familie der Korbblütler. Die Pflanze wächst bis zu 40 cm hoch und blüht von Juni bis Oktober.

Wirkung: Die gewonnenen Wirkstoffe sind entzündungshemmend, antiseptisch, krampflösend und harntreibend. Die Heilpflanze wird ähnlich wie Kamille als Allheilmittel beschrieben. Am häufigsten wird Schafgarbenkraut als Tee eingenommen. Es hilft gegen Magenprobleme, Blutreinigung, Krampfadern und Regelstörungen. [vgl. Wendelberger (S. 114f), 2013; Hirsch (S.595-597), 2014]

Bild 18: Schafgarbenkraut (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Gemeine_Schafgarbe,_weiss_-_gross.jpg (bearbeitet))

4.6.3.11 Wermutkraut (Artemisia absinthium L.)



Wermut stammt aus Südeuropa, von dort wurde es im Mittelalter von Mönchen nach Europa gebracht und wird seitdem dort kultiviert. Die Pflanze wird bis zu 100 cm hoch. Die fiederspaltigen Blätter sind grau, filzig und behaart. Die gelben, unscheinbaren Blüten des Wermuts blühen zwischen Juli und September. Wermut kann als Tee oder Tinktur, sowie innerlich als auch äußerlich angewendet werden.

Wirkung: Wermut ist leicht giftig und sollte daher nur in geringen Maßen gebraucht werden. Es wird bei der Behandlung von Gelbsucht, offenen Wunden, Stauchungen und Quetschungen verwendet. [vgl. Hirsch (S.728-730), 2014; Wendelberger (S.120f), 2013]

Bild 19: Wermutkraut (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Artemisia_absinthium_001.jpg (bearbeitet))

4.6.4 Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora)

4.6.4.1 Abbildungen

4.6.4.1 Funktionsweise

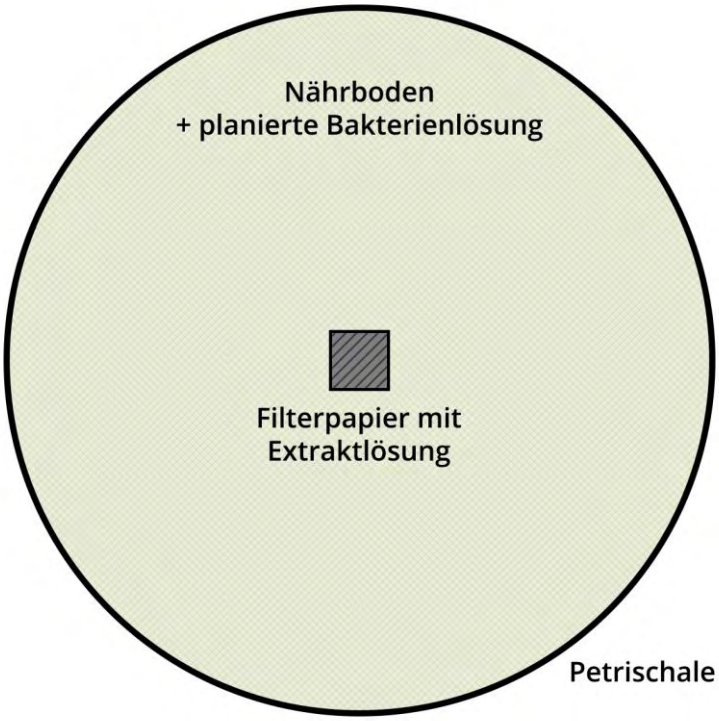


Abbildung 5: Versuchsaufbau Hemmhoftest 2

Auf ein festes Nährmedium wird eine mit Bakterien angereicherte Nährlösung gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt. Anschließend wird ein Filterpapierstück in den zu testenden Stoff getränkt. Nachdem sich dieser mit dem zu testenden Stoff vollgesaugt hat, wird er in die Mitte des Nährbodens positioniert.

Danach wird die Bakterienkultur unter optimalen Wachstumsbedingungen versetzt und in regelmäßigen Abständen ausgewertet.

Aufgrund der Diffusion verteilt sich der zu testende Stoff vom Filterplättchen ausgehend nach außen im Laufe der Zeit. Dabei nimmt die Konzentration des Stoffes vom Filterpapier ausgehend ab. Es entsteht ein Konzentrationsverlauf. Dabei überschneiden sich der mit Bakterien infizierte Nährboden und die Fläche in welche der Stoff diffundiert ist.

Ist ein Stoff nun antibakteriell, so können sich die Bakterien in seiner Anwesenheit weniger stark vermehren. Dies lässt sich in der Auswertung feststellen, da sich an dieser Stelle weniger Bakterienkulturen befinden. Je höher dabei die antibakterielle Wirkung des Stoffes umso höher ist auch der erkennbare Hemmhof, da schon geringere Konzentrationen

(weiter von dem Filterpapier entfernt) des Stoffes ausreichen, um das Bakterienwachstum sichtbar zu vermindern.

4.6.4.1 Herstellen der Bakterien-Nährlösungs-Mischung

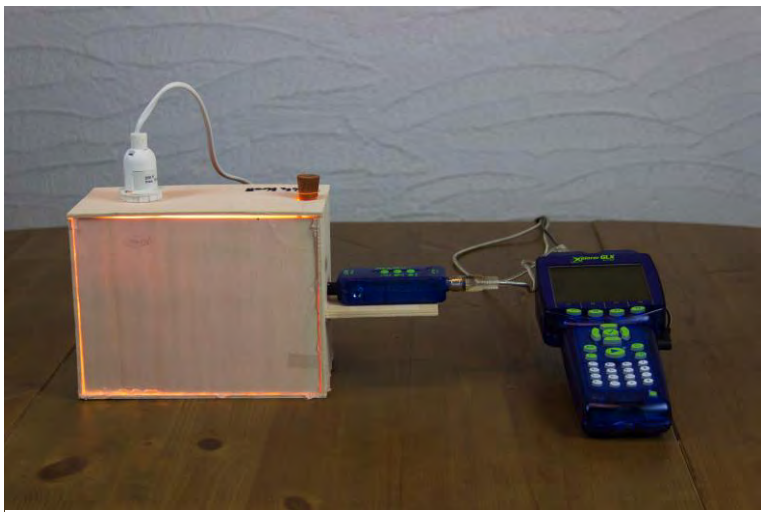


Bild 20: Versuchsaufbau Flüssigmediumtest

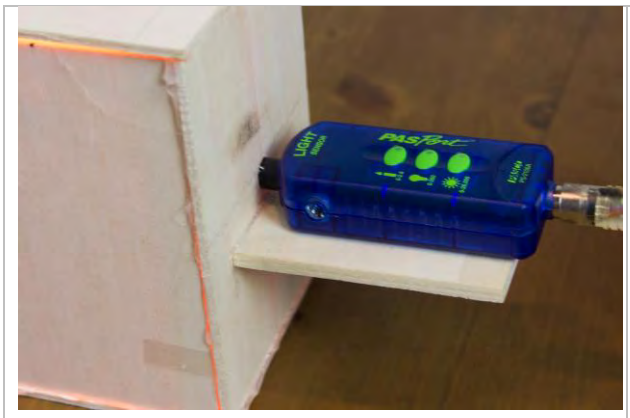
Für die Bakterien-Nährlösungs-Mischung wird zunächst eine Nährlösung benötigt. Diese besteht aus denselben Zusammensetzungen wie der Nährboden, enthält jedoch kein Agar, wodurch sie ihren flüssigen Zustand behält. Die Bakterien aus der mehrfachen Verpackung entnommen und mit Nährlösung gequellt.
Um mit einer Einheit gefriergetrockneter Bakterien mehrere Ansätze herstellen zu können, muss die 1 ml gequellte Bakterienlösung verdünnt werden. Dazu werden dieser 24 ml Nährlösung beigesetzt und beides anschließend verrührt.
Applikation der Bakterien-Nährlösungs-Mischung
Nachdem der Nährboden erstarrt und abgekühlt ist und die Bakterienlösung gequellt und verdünnt ist, kann der Nährboden infiziert werden:
In einem ersten Schritt wird die Bakterien-Nährlösungs-Mischung mit einer Messpipette aufgenommen. Danach werden die Petrischalen kurz geöffnet, 0,5 ml Bakterien-Nährlösungs-Mischung auf die Mitte des Nährbodens gegeben und die Petrischale anschließend wieder verschlossen.

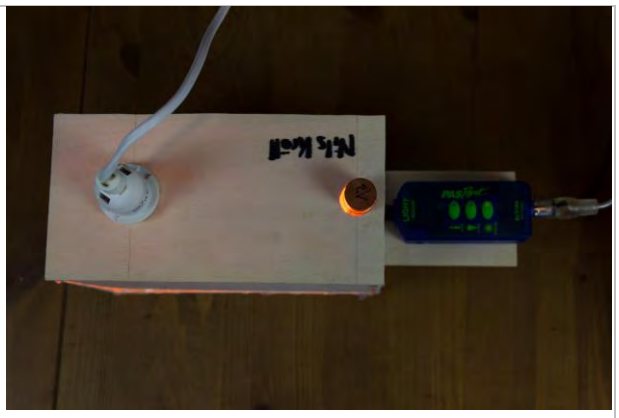
4.6.5 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora)

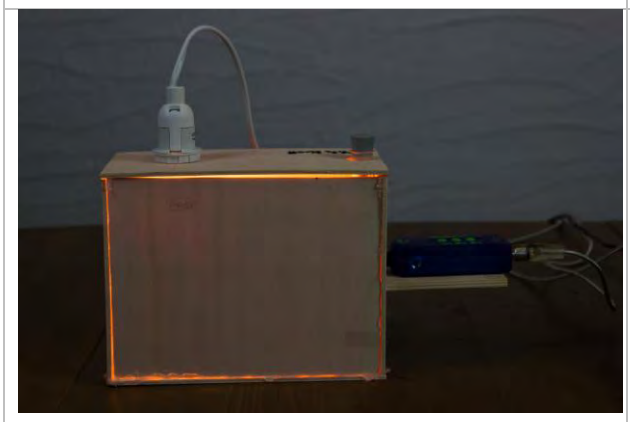
4.6.5.1 Abbildungen



Bild 21: angesetzte Reagenzgläser













Bilder 22-27: Versuchsaufbau Flüssigmediumtest (selbstgebaut)

4.6.5.2 Vorüberlegungen

Um die antibakterielle Wirkung der Trockenextrakte zu testen, ist es interessant, die Auswirkungen der Trockenextrakte auf das Bakterienwachstum innerhalb weniger Stunden zu untersuchen. Die Untersuchung durch einen Hemmhoftest macht dies allerdings nicht möglich, da die Bakterienkolonien sich erst nach mehreren Stunden bis Tagen so stark vermehrt haben, dass sie für das menschliche Auge optisch sichtbar sind. Außerdem ist die Bakterienvermehrung auf einem festen Medium schwieriger messbar.

Deshalb brachte mich Professor Dr. Oliver Planz, als wir ihn in der Universität Thübingen besuchten, auf die Idee, das Bakterienwachstum durch einen Flüssigmediumtest zu messen:

Schickt man Licht durch eine Flüssigkeit, so wird ein Teil des Lichtes adsorbiert. Je mehr adsorbierende Teilchen (z.B. auch Bakterien) sich in einer Flüssigkeit befinden, desto trüber scheint sie uns und desto mehr Licht wird adsorbiert. Diesen Effekt kann man nutzen, um Rückschlüsse auf das Wachstum der Bakterien zu machen: Je mehr Licht adsorbiert wird, desto mehr Bakterien befinden sich in einer Lösung, vorausgesetzt die anderen Inhaltsstoffe bleiben konstant.

In der Regel verwendet man ein Fotometer, um so den Trübheitsgrad einer Lösung zu bestimmen: Am Anfang misst man die Probe und hält das Ergebnis als Nullwert fest. In regelmäßigen Abstand misst man nun wieder die Trübheit der Lösung. Wird die Lösung trüber, so ist dies ein Hinweis auf einen Zuwachs der Bakterien. Aus den erhobenen Daten kann man nun Wachstumskurven erzeugen. Unter Anwesenheit eines antibakteriellen Wirkstoffs würde man nun erwarten, dass die Bakterien sich nicht so stark vermehren können und die Lösung dadurch in gleicher Zeit weniger trüb ist.

Nun wurde ich jedoch vor das Problem gestellt, dass unsere Schule kein Fotometer besitzt, der eine solche Messung möglich macht. Da ich jedoch der Meinung bin, dass die Ergebnisse einen hohen Stellenwert innerhalb der Arbeit haben, entschied ich mich dafür, mir selbst einen an das Fotometer angelehnten Versuchsaufbau zu überlegen, welcher es mir erlaubt, selbst solche Messungen durchzuführen.

Zentral bei der Überlegung des Versuchsaufbaus war eine grundlegende Vorgehensweise in der Naturwissenschaft: Man erstellt einen Versuchsaufbau, bei welchem alle Faktoren gleich sind und ändert einen einzigen Faktor, um zu sehen, wie dieser sich auswirkt. Ich musste sicherstellen, dass alle Faktoren gleich sind und lediglich das enthaltene Extrakt, als verändernder Faktor, die verschiedenen Ansätze voneinander unterscheidet.

Unsere Schule besitzt ein Messsystem namens PASCO, welches aus einer Software und einem Gerät besteht, das Daten aufnehmen und darstellen kann und einem Set aus verschiedenen Sensoren. Zu den Sensoren gehört auch ein Lichtsensor, welcher die Lichtstärke in lux. messen kann. Diesen machte ich mir zu Nutze, um das durch das Reagenzglas scheinende Licht zu messen. Auf der anderen Seite brachte ich eine konstante Lichtquelle an: Wird die Flüssigkeit nun trüber, verringert sich der Anteil des Lichts, welches durch das Reagenzglas scheint. Dieser Unterschied lässt sich mit dem PASCO Lichtsensor messen und aus der Differenz von Startwert (Nullwert) und aktueller Messung kann man einen Wert für die Trübheitsveränderung (bzw. das Bakterienwachstum) errechnen.

4.6.6 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum

4.6.6.1 Abbildungen



Bild 28: Versuchsaufbau Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum (geöffnet)

4.6.6.2 Vorüberlegungen

Eine besondere Anforderung an das antibakterielle Mittel ist dessen Umweltverträglichkeit. Ein Nachteil vieler konventioneller Bekämpfungsmethoden ist es, dass sie sich diese negativ auf die Umwelt auswirken. Um festzustellen, ob auch die aus Heilpflanzen gewonnen Extrakte nachteilige Auswirkungen auf Pflanzenwachstum haben, setzte ich einen entsprechenden Versuch an.

Dazu wählte ich Gartenkresse (Lepidum sativum), da diese bereits in mehreren meiner Jugend-forscht-Arbeiten zum Einsatz kam und ich mit der Methode vertraut bin. Ebenfalls sind Gartenkressesamen einfach auf angefeuchteter Watte anzupflanzen und haben kaum Anforderungen an ihre Umgebung.

Um die Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum zu zeigen wurde die Kresse mit den in Wasser gelösten Trockenextrakten gegossen. Da ich vermutete, dass die Auswirkungen natürlicher Extrakte auf das Wachstum der Kresse gering sind, entschied ich mich dazu besonders hohe, realitätsferne Konzentrationen (20 g/ l) zu verwenden, um den Unterschied zwischen den verschiedenen Trockenextrakten besser erkennbar zu machen.

4.7 Ergänzungen zu den Ergebnissen

4.7.1 Gewinnung ätherischer Öle aus Heilkräutern

4.7.1.1 Abbildungen

Pflanzenmaterial	gewonnenes Extrakt
Kamillenblüten	 
Lavendel	
Thymian	

Bilder 28-31: Ergebnisse Wasserdampfdestillation

4.7.2 Hemmhoftest 1 (Erwinia carotovora)

4.7.2.1 Abbildungen

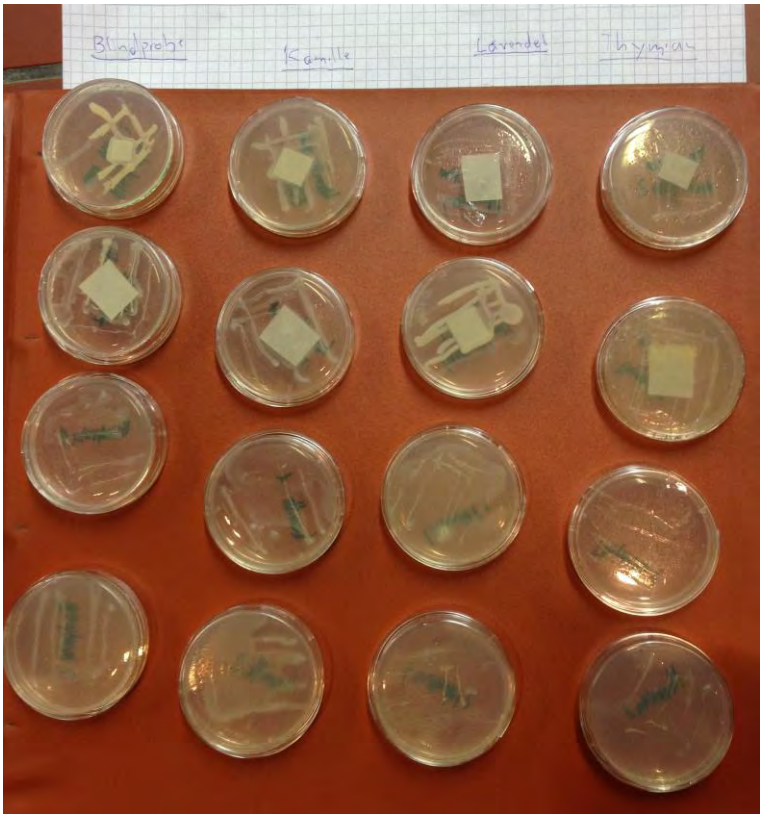


Bild 32: Ergebnisse Hemmhoftest 1

4.7.3 Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora)

4.7.3.1 Abbildungen:

Das untere Diagramm zeigt die Ergebnisse des Hemmhoftests. Auf der X-Achse sind die einzelnen Ansätze aufgetragen. Die einzelnen Ansätze unterteilen sich in vier farblich gekennzeichnete Balken, welche die Ergebnisse an den verschiedenen Tagen zeigen. Die Y-Achse zeigt den gemessenen Hemmhofradius in mm. Die Achse erstreckt sich von 0-35 mm, 35 mm stellt den maximalen Radius, das Ende der Petrischale dar. Ein Hemmhofradius von 35 mm zeigt, dass der Versuchsansatz bakterienfrei ist.

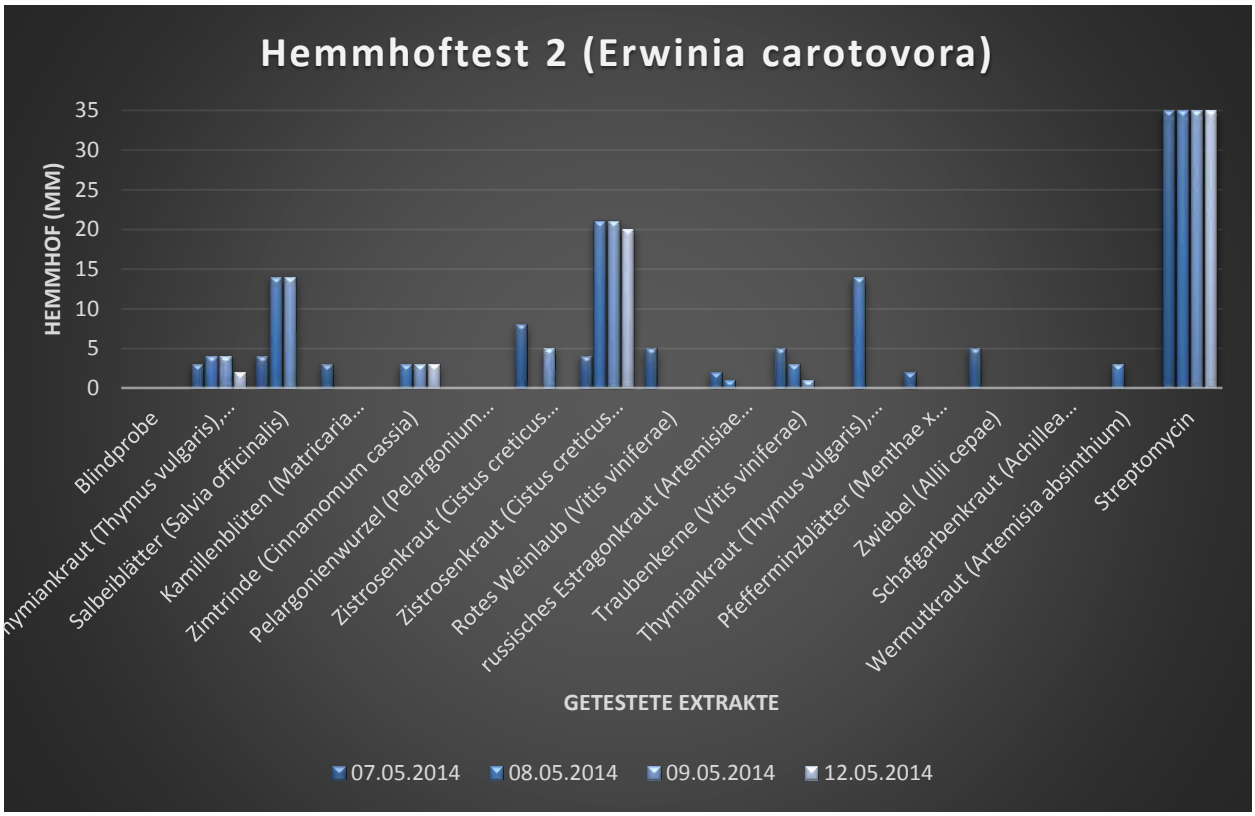
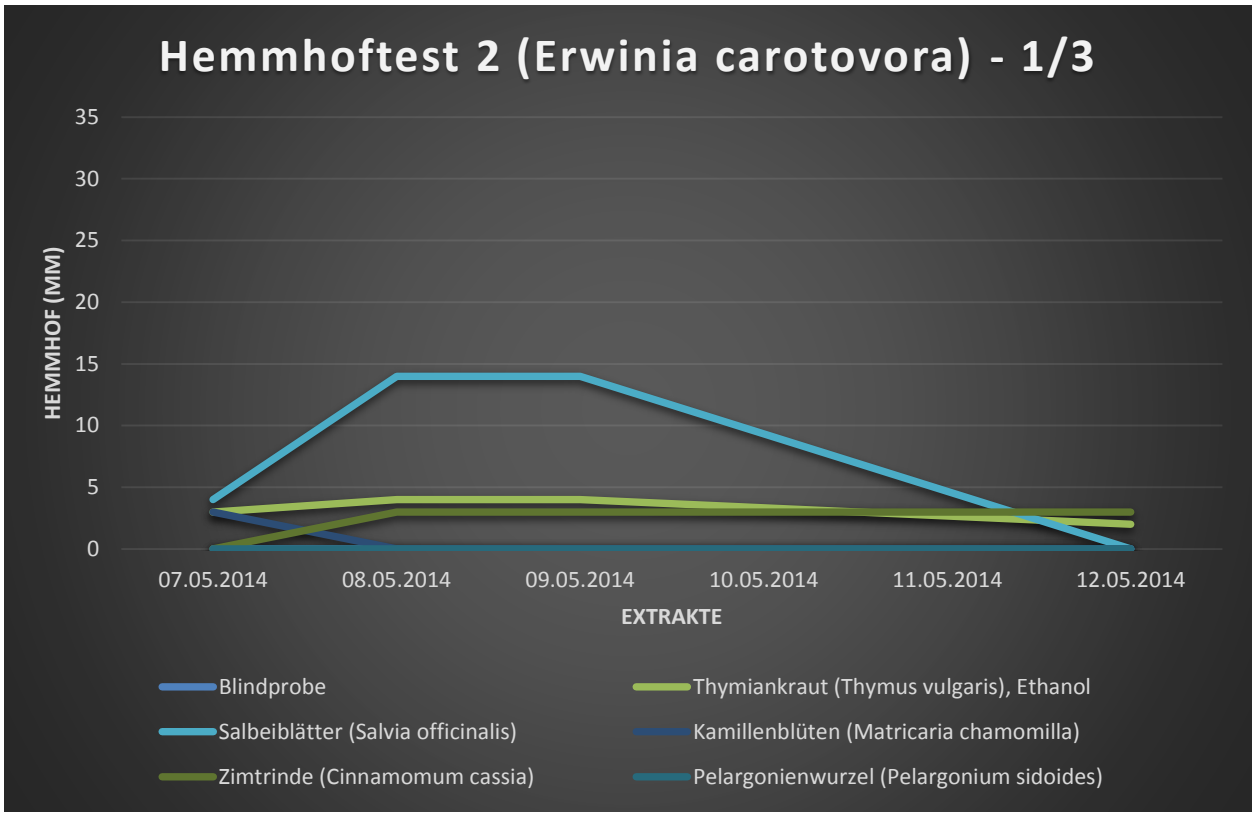
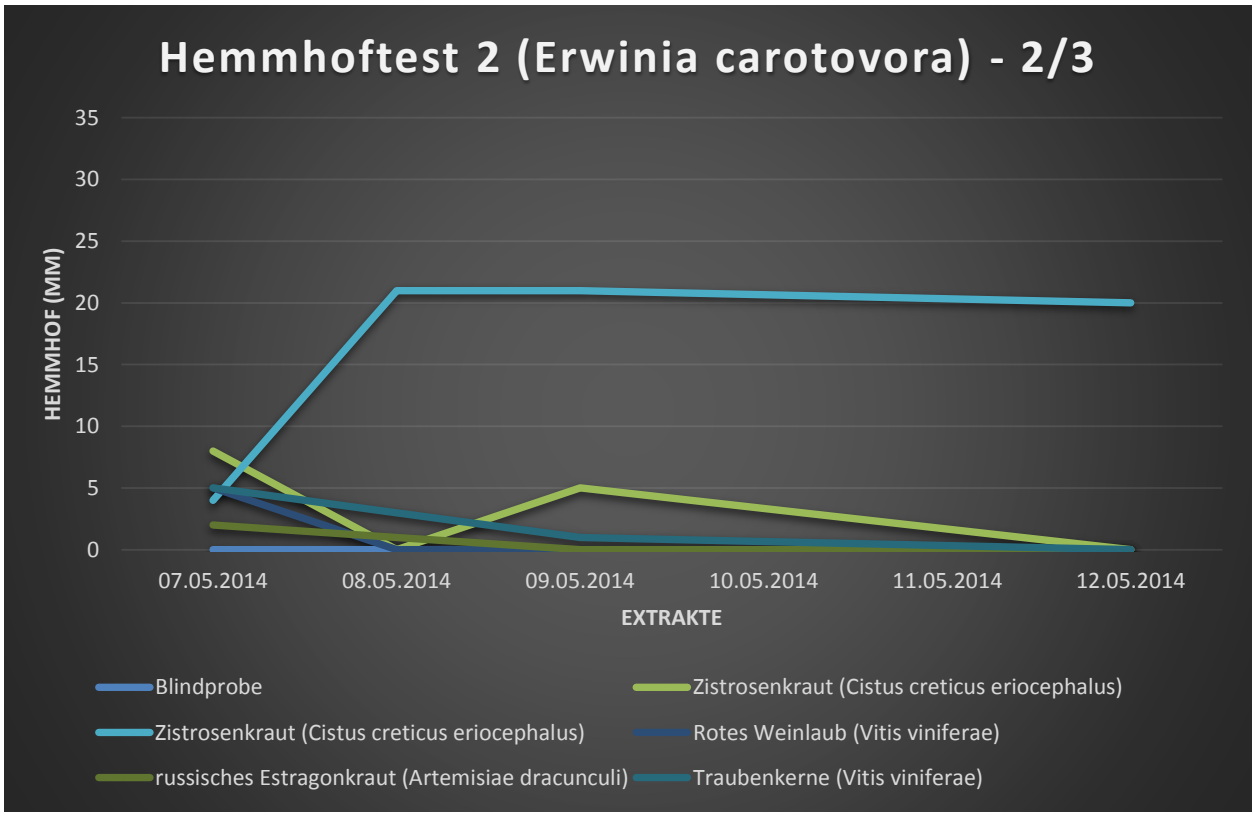


Diagramm 1: Ergebnisse des Hemmhoftests

Die folgenden Diagramme zeigen die Hemmhöfe während der gesamten Versuchszeit in Form eines Kurvendiagramms. Der Übersichtlichkeit halber werden die insgesamt 16 Proben + Blindprobe auf 3 Diagramme aufgeteilt. Alle Diagramme sind gleich skaliert und enthalten die Kurve der Blindprobe zum Vergleich.


Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora) - 1/3
HEMMHOF (MM)
35
30
25
20
15
10
5
0
07.05.2014
08.05.2014
09.05.2014
10.05.2014
11.05.2014
12.05.2014
EXTRAKTE
Blindprobe
Thymiankraut (Thymus vulgaris), Ethanol
Salbeiblätter (Salvia officinalis)
Kamillenblüten (Matricaria chamomilla)
Zimtrinde (Cinnamomum cassia)
Pelargonienwurzel (Pelargonium sidoides)


Hemmhoftest 2 (Erwinia carotovora) - 2/3
HEMMHOF (MM)
35
30
25
20
15
10
5
0
07.05.2014
08.05.2014
09.05.2014
10.05.2014
11.05.2014
12.05.2014
EXTRAKTE
Blindprobe
Zistrosenkraut (Cistus creticus eriocephalus)
Zistrosenkraut (Cistus creticus eriocephalus)
Rotes Weinlaub (Vitis viniferae)
russisches Estragonkraut (Artemisiae dracunculi)
Traubenkerne (Vitis viniferae)

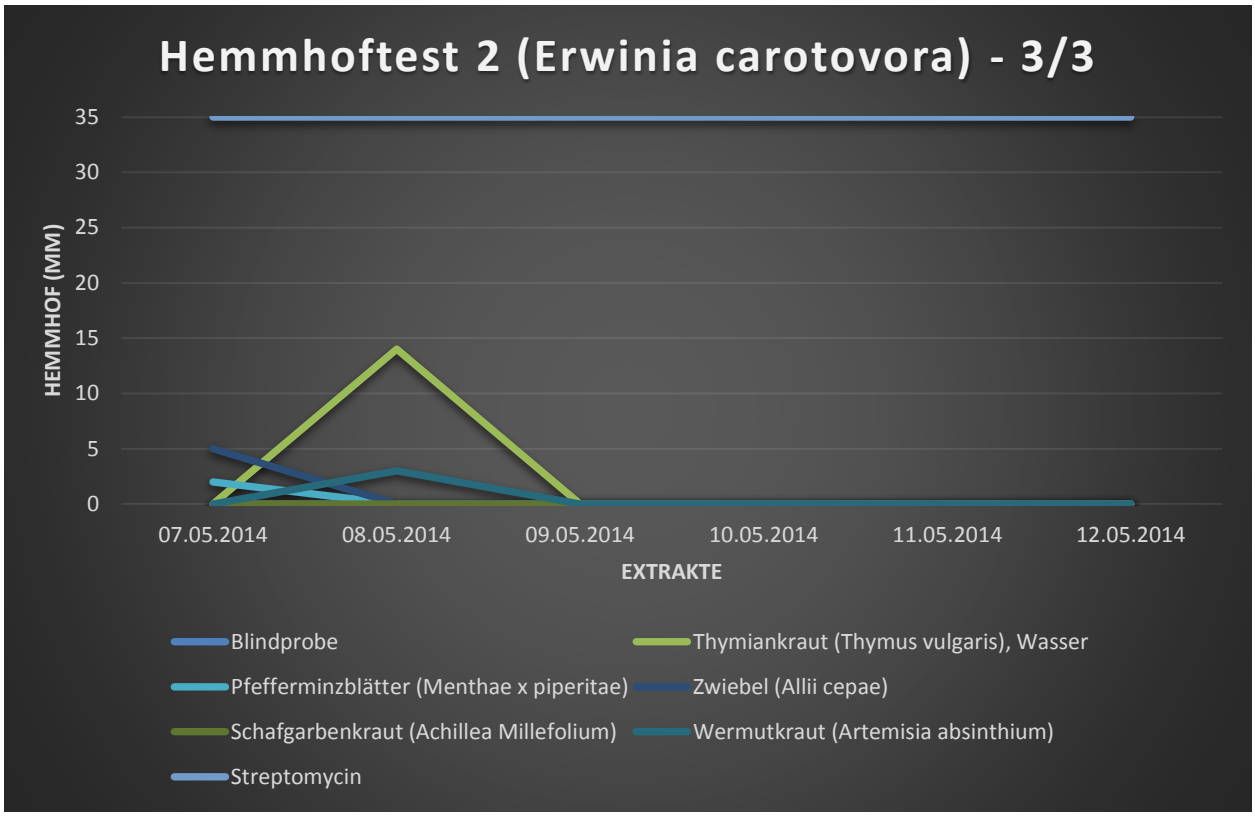


Diagramm 2 - 4: Ergebnisse des Hemmhoftests (Kurvendiagramm)

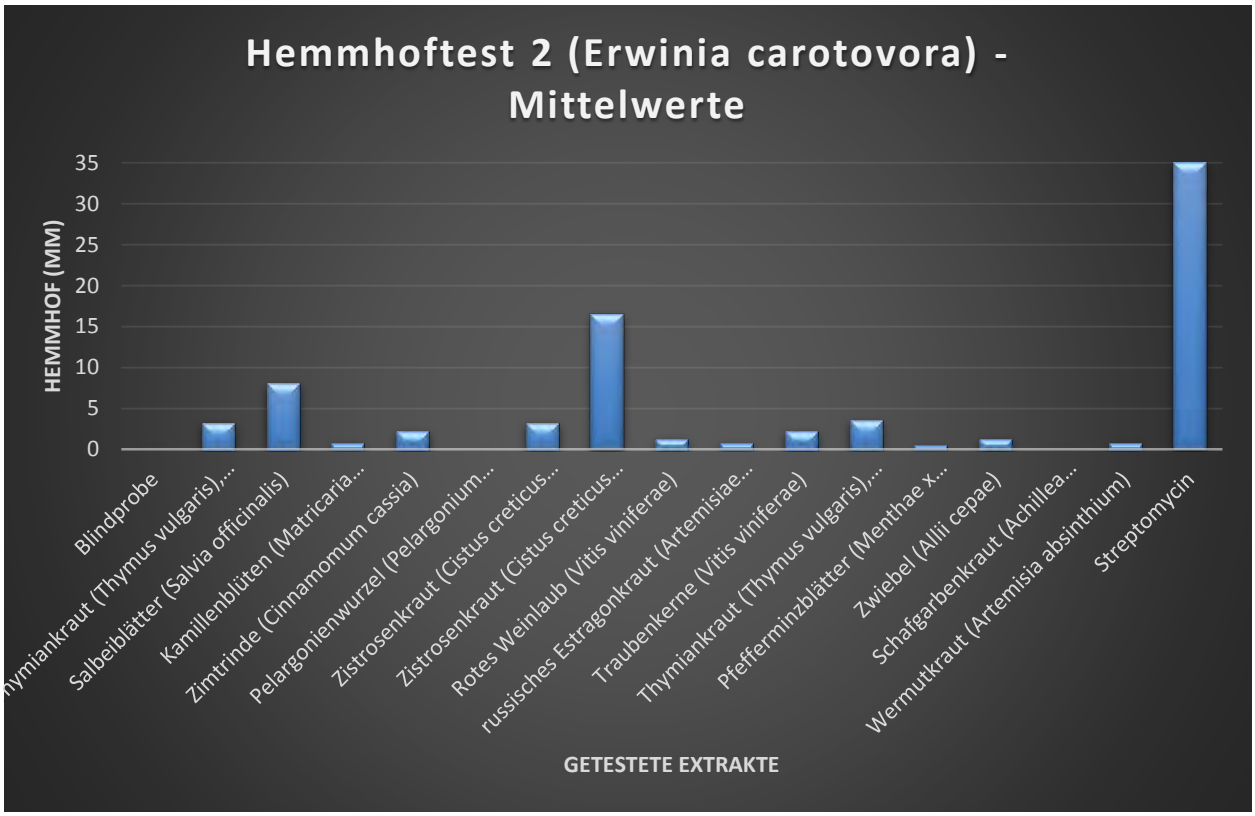
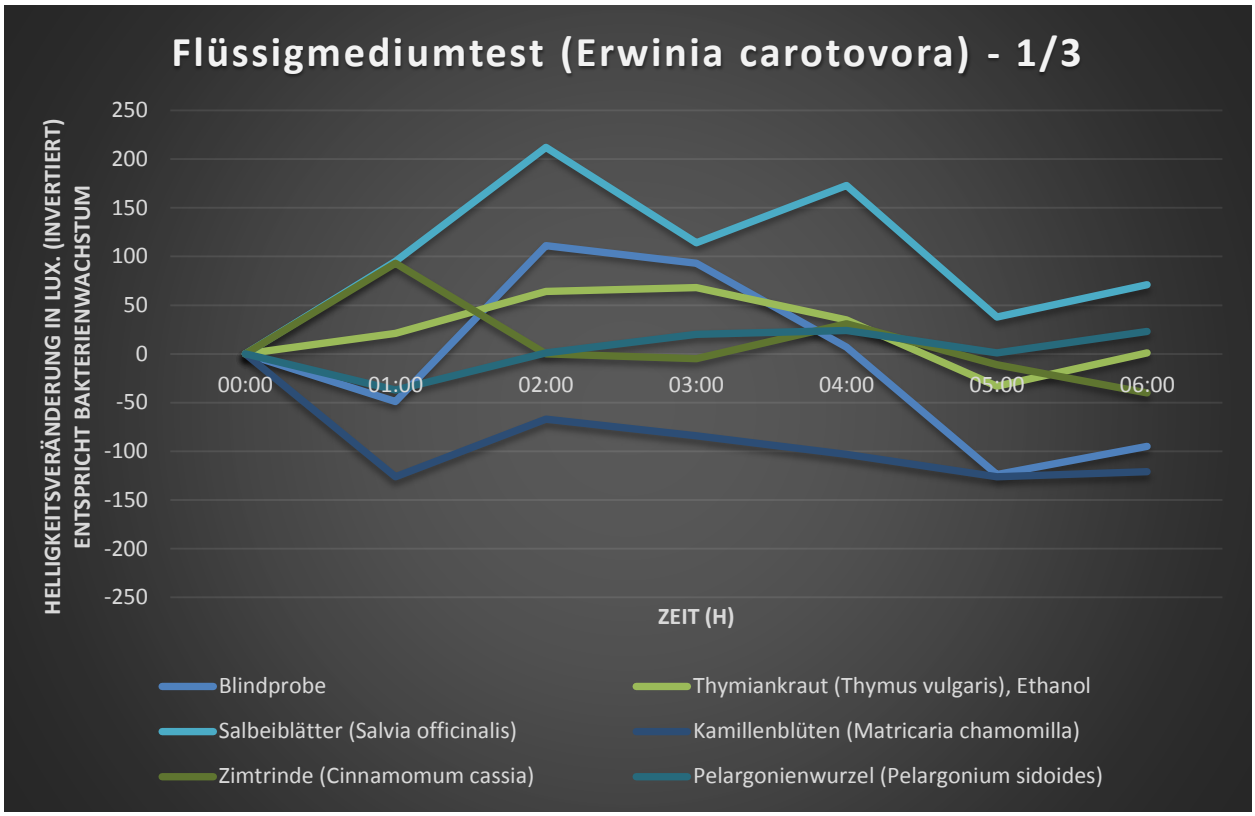


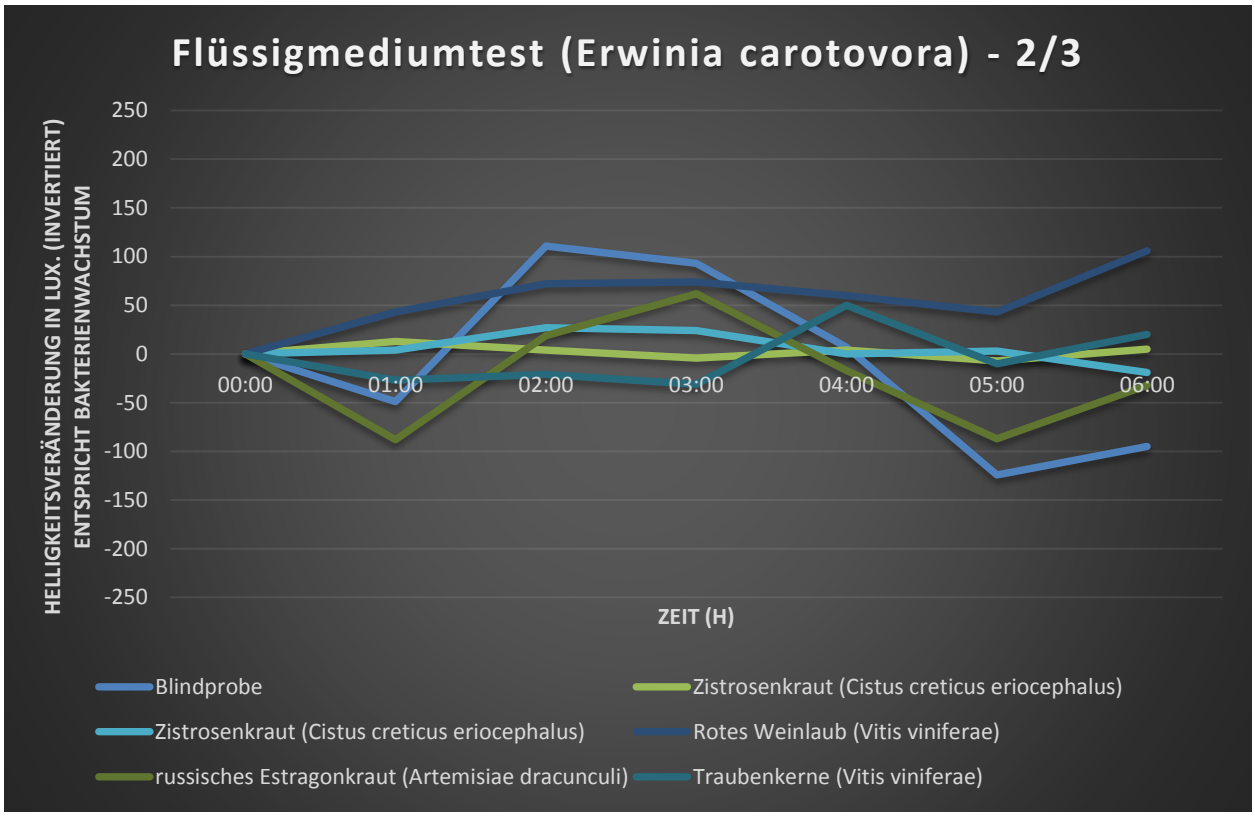
Diagramm 5: Mittelwerte des Hemmhoftests

4.7.4 Flüssigmediumtest

4.7.4.1 Abbildungen

Der Übersichtlichkeit halber werden die Ergebnisse in 3 Diagramme aufgeteilt. Alle Diagramme sind gleich skaliert und enthalten jeweils die Kurve der Blindprobe zum Vergleich:


Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora) - 1/3
HELLIGKEITSVERÄNDERUNG IN LUX. (INVERTIERT)
ENTSPRICHT BAKTERIENWACHSTUM
250
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
00:00
01:00
02:00
03:00
04:00
05:00
06:00
ZEIT (H)
Blindprobe
Thymiankraut (Thymus vulgaris), Ethanol
Salbeiblätter (Salvia officinalis)
Kamillenblüten (Matricaria chamomilla)
Zimtrinde (Cinnamomum cassia)
Pelargonienwurzel (Pelargonium sidoides)



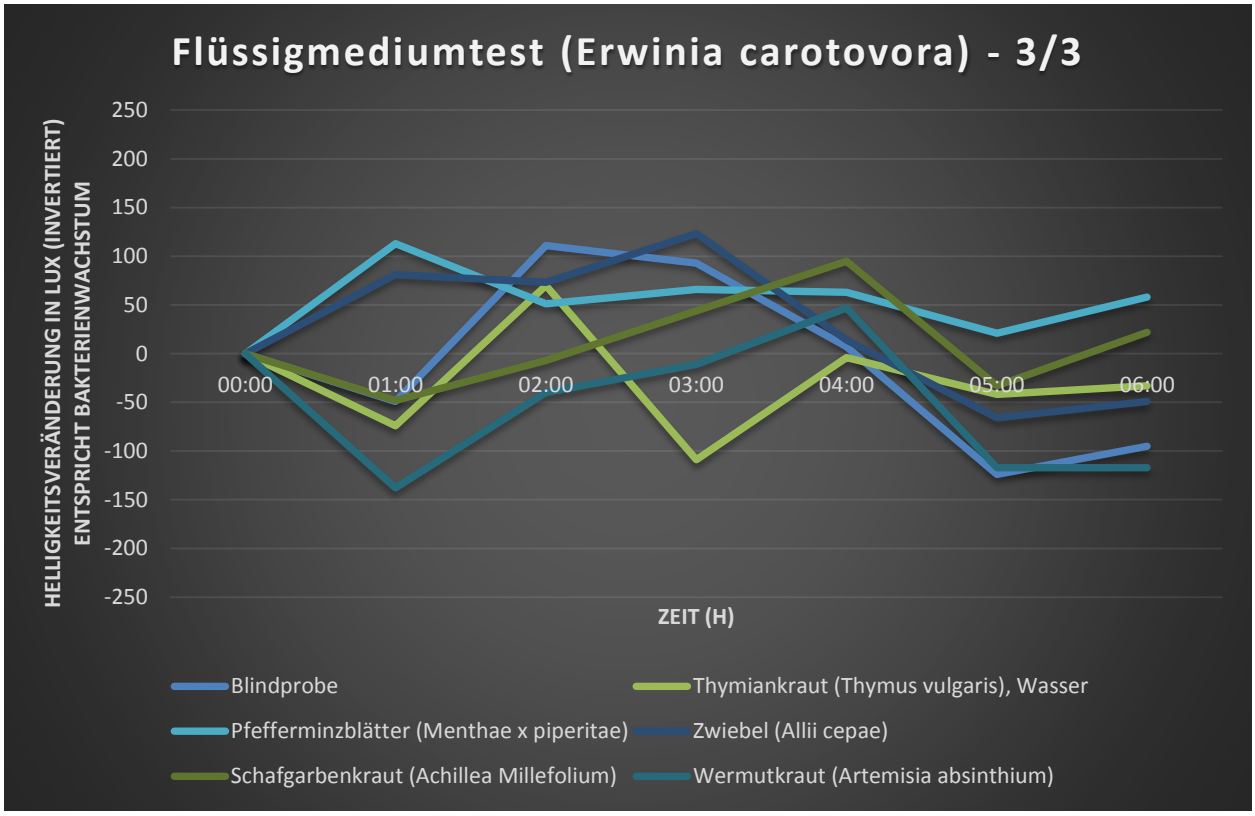


Diagramm 6-8: Ergebnisse des Flüssigmediumtests

Die X-Achse stellt die fortgeschrittene Zeit in Stunden dar. Die Y-Achse zeigt die relative Veränderung der Helligkeit im Relation zum Startwert (0h). Daher starten alle Ansätze beim Wert 0. Ebenfalls sind die Ergebnisse invertiert, d.h. eine Erhöhung des Wertes bedeutet eine höhere Trübheit bzw. Bakterienvermehrung.

4.7.5 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum

4.7.5.1 Abbildungen

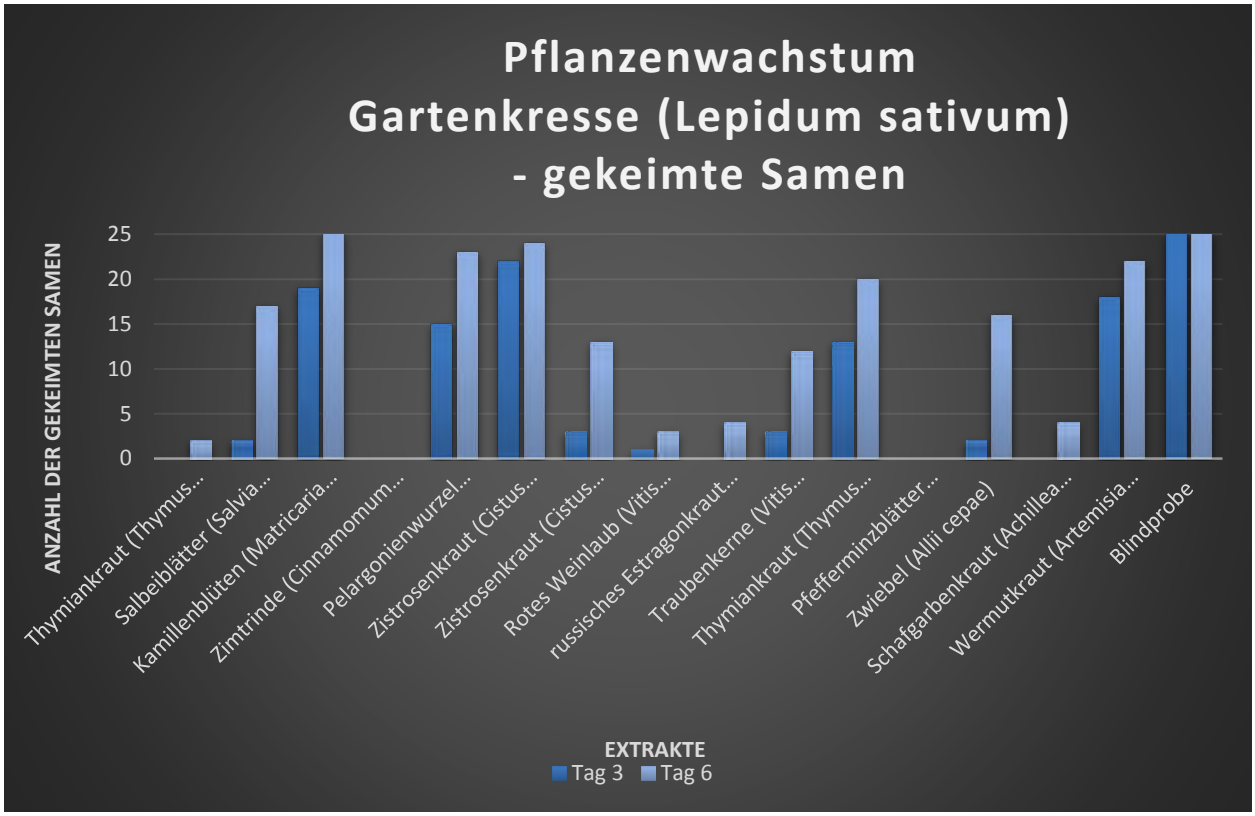
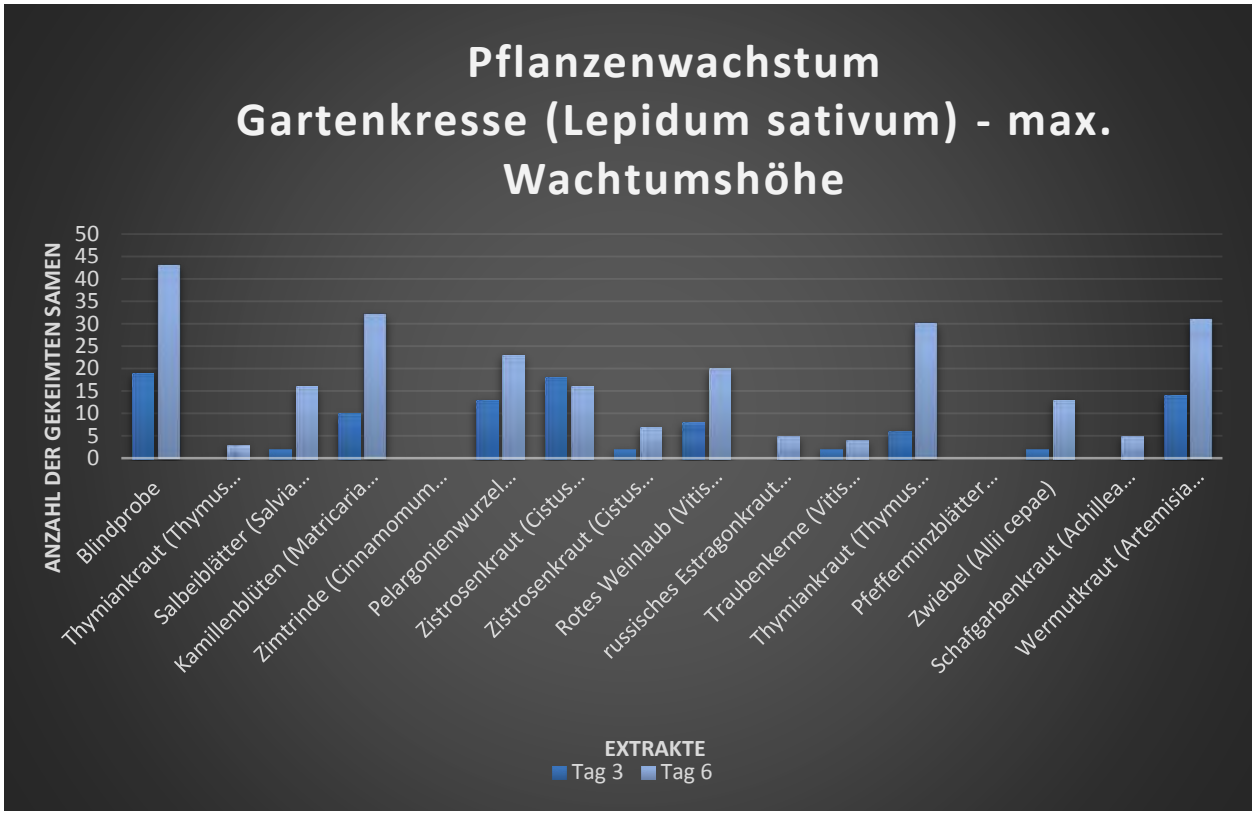


Diagramm 9: Anzahl der gekeimte Kressesamen

Das obere Diagramm zeigt die Anzahl der Kressesamen, die nach 3 bzw. 6 Tagen gekeimt sind. Insgesamt wurden pro Ansatz 25 Kressesamen verwendet, sodass sich Ergebnisse im Zahlenbereich von 0 (keine Kressesamen gekeimt) bis 25 (alle Kressesamengekeimt ergeben.

Die X-Achse zeigt die zugesetzten Trockenextrakte, jeweils farblich unterschieden, in die Ergebnisse des 3. und 6. Tages. Die Y-Achse zeigt die Anzahl der gekeimten Kressesamen, wobei das obere Ende der Y-Achse 25 gekeimten Kressesamen, entsprechend 100% zeigt.



Das obere und untere Diagramm zeigen die Wachstumshöhen des größten Kressekeimlings und des kleinsten Kressekeimlings pro Ansatz. Bei keinen gekeimten Samen beträgt die Wachstumshöhe bei beiden Diagrammen 0.

Wie bei dem ersten Diagramm zeigt die X-Achse die getesteten Extrakte unterteilt in die Messungen nach 3 und 6 Tagen. Die Y-Achse zeigt jeweils die Wachstumshöhe des größten bzw. kleinsten Keimlings in mm.

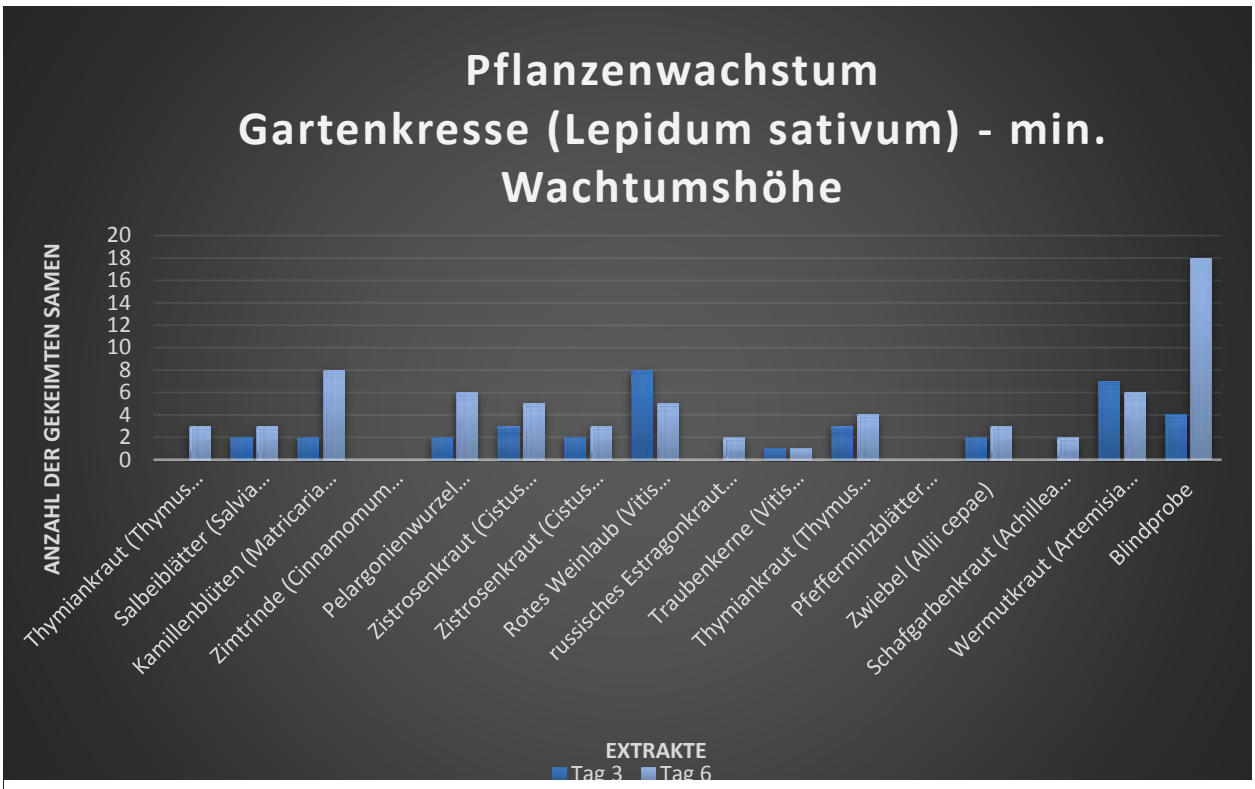


Diagramm 10-11: maximales und minimales Pflanzenwachstum



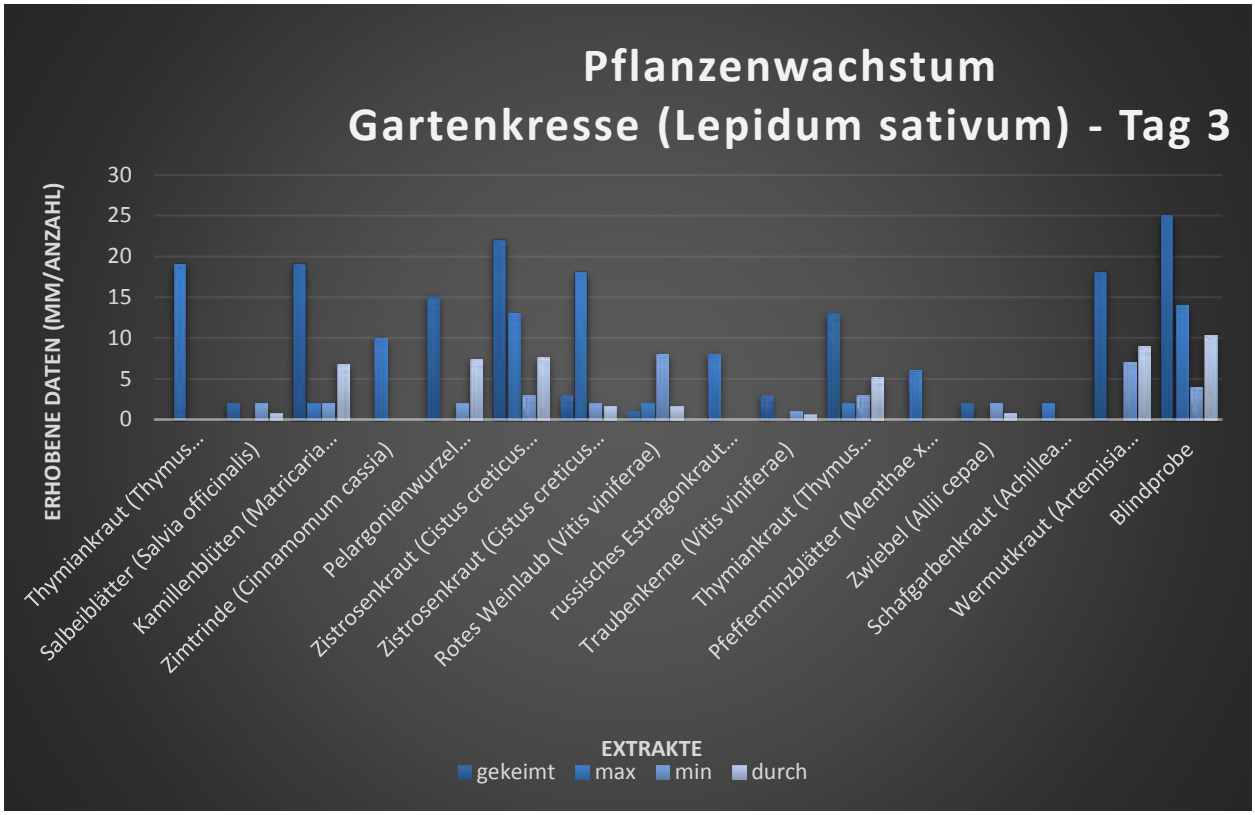
Diagramm 12: durchschnittliche Wachstumshöhe

Das obige Diagramm zeigt die durchschnittliche Wachstumshöhe der Keime. Dabei wurden 5 mittelgroße Keimlinge gemessen und aus den Ergebnissen der Mittelwert gebildet.

Die X-Achse ist wie in den ersten drei Diagrammen aufgeteilt und die Y-Achse zeigt die Wachstumshöhe in mm.

Die letzten beiden Diagramme fassen alle erhobenen Messwerte der oberen vier Diagramme zusammen. Dabei sind die Ergebnisse nach dem 3. und 6. Tag auf zwei Diagramme aufgeteilt.

Die X-Achse zeigt die getesteten Trockenextrakte untergliedert in die Messungen nach Anzahl der gekeimten Samen, minimale, maximale und durchschnittliche Wachstumshöhe. Die Y-Achse zeigt die erhaltenen Messwerte in mm bzw. Anzahl der gekeimten Samen.



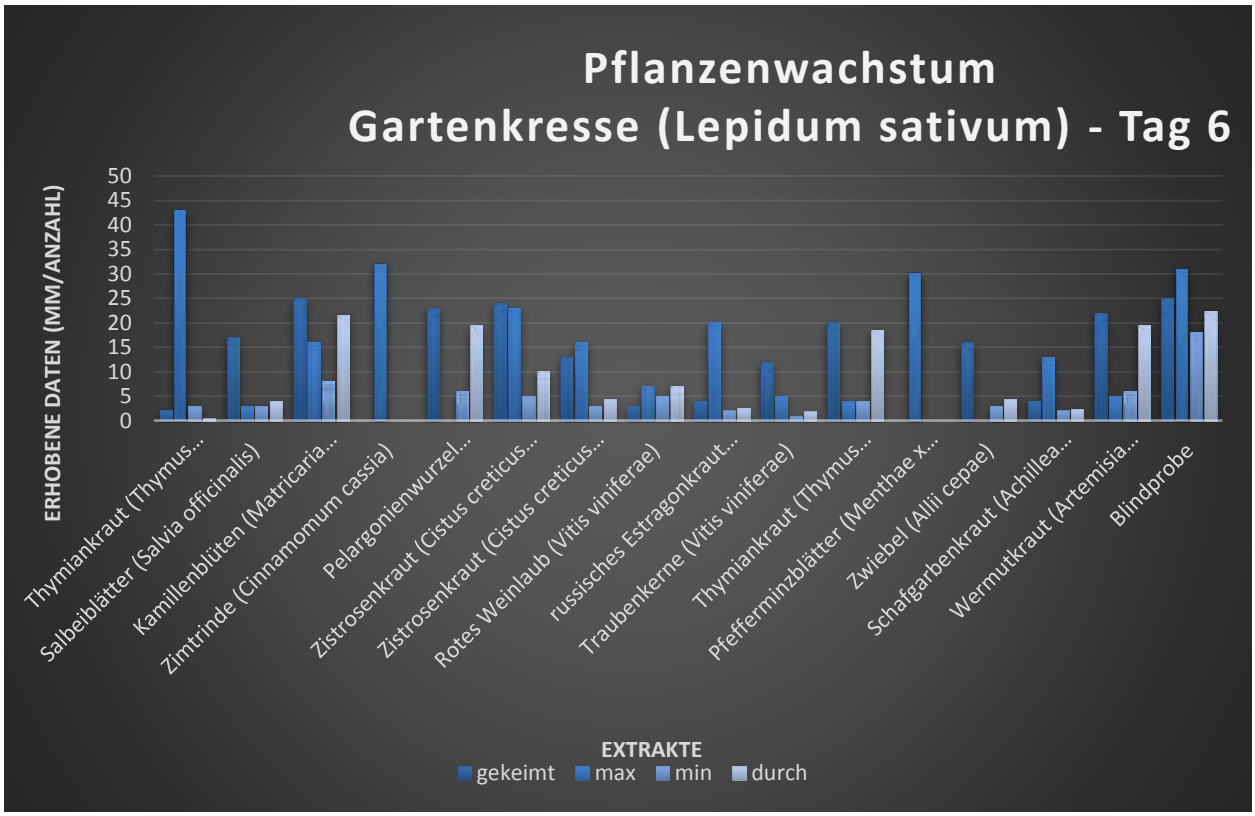


Diagramm 13-14: Pflanzenwachstum Gartenkresse in der Übersicht

4.8 Weitere Anhänge

4.8.1 Feuerbrandverordnung

FeuerbrandV 1985

Ausfertigungsdatum: 20.12.1985

Vollzitat:

"Feuerbrandverordnung vom 20. Dezember 1985 (BGBl. I S. 2551), die zuletzt durch Artikel 10 der Verordnung vom 10. Oktober 2012 (BGBl. I S. 2113) geändert worden ist"

Stand: Zuletzt geändert durch Art. 10 V v. 10.10.2012 I 2113

Näheres zur Standangabe finden Sie im Menü unter Hinweise

Fußnote

(+++ Textnachweis Geltung ab: 1.6.1988 +++)

Eingangsformel

Auf Grund des § 3 Abs. 1 Nr. 1, 3, 8 bis 11, 14 und 15 des Pflanzenschutzgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Oktober 1975 (BGBl. I S. 2591; 1976 I S. 1059) wird vom Bundesminister für ERNÄHRUNG, Landwirtschaft und Forsten und auf Grund des § 3 Abs. 1 Nr. 5 und 6 des Pflanzenschutzgesetzes vom Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Einvernehmen mit dem Bundesminister für Jugend, Familie und Gesundheit mit Zustimmung des Bundesrates verordnet:

§ 1

Im Sinne dieser Verordnung sind

1.

Feuerbrand: die durch den Erreger Erwinia amylovora (Burrill) Winslow et al. hervorgerufene Krankheit der Pflanzen folgender Gattungen (Wirtspflanzen):

Amelanchier Medik.	Felsenbirne
Chaenomeles Lindl.	Zier- oder Scheinquitte
Cotoneaster Ehrh.	Zwergmispel
Crataegus L.	Weiß- und Rotdorn
Cydonia Mill.	Quitte
Malus Mill.	Apfel
Pyracantha M. Roem.	Feuerdorn
Pyrus L.	Birne
Sorbus L.	Eberesche
Stranvaesia Lindl.	Stranvaesie;

2.

hochanfällige Wirtspflanzen: Wirtspflanzen, deren Arten oder Sorten besonders anfällig für den Feuerbrand sind; das Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, gibt Wirtspflanzen im Bundesanzeiger bekannt, die sie als hochanfällig ansieht.

§ 2

(1) Verfügungsberechtigte und Besitzer von Wirtspflanzen sind verpflichtet, der zuständigen Behörde das Auftreten und den Verdacht des Auftretens des Feuerbrandes unverzüglich zu melden. In der Meldung sind die Pflanzenart, der Standort und der Umfang des Bestandes sowie die Herkunft von Pflanzen, die höchstens zwei Jahre lang an ihrem Standort stehen, anzugeben.

(2) Wer Wirtspflanzen zum Verpflanzen, zur Vermehrung oder zum Vertreiben als bewurzelte Pflanzen anzieht oder in den Verkehr bringt, ist verpflichtet, diese Wirtspflanzen unter Angabe der Art, der Sorte, der Herkunft und des Standorts oder Lagerorts der zuständigen Behörde auf deren Anordnung zu melden.

§ 3

(1) Wird das Auftreten des Feuerbrandes festgestellt, so kann die zuständige Behörde die befallenen, befallsverdächtigen und in einem Umkreis bis zu 5 km gelegenen befallsgefährdeten Grundstücke oder Anbauflächen abgrenzen (abgegrenztes Gebiet).

(2) Die zuständige Behörde hebt die Abgrenzung des Gebietes auf, wenn sie bei erneuter Untersuchung keinen Befall feststellt und seit dem letzten Auftreten des Feuerbrandes zwei Jahre vergangen sind.

§ 4

(1) Wirtspflanzen oder Teile von diesen, die befallen oder befallsverdächtig sind, dürfen von ihrem Standort nicht entfernt werden.

(2) Die in einem abgegrenzten Gebiet wachsenden Wirtspflanzen oder Teile von diesen dürfen nur mit Genehmigung der zuständigen Behörde aus dem Gebiet verbracht werden.

§ 5

Die zuständige Behörde kann, soweit es zur Bekämpfung des Feuerbrandes erforderlich ist, für die Dauer von höchstens fünf Jahren verbieten,

1.

hochanfällige Wirtspflanzen anzupflanzen,

2.

hochanfällige oder befallsverdächtige Wirtspflanzen als Anbaumaterial gewerbsmäßig zu vertreiben.

Das Verbot kann wiederholt werden.

§ 6

(1) Verfügungsberechtigte und Besitzer sind verpflichtet, soweit es zur Bekämpfung des Feuerbrandes erforderlich ist, auf Anordnung der zuständigen Behörde

1.

hochanfällige und befallene Wirtspflanzen an ihrem Standort oder in dessen unmittelbarer Nähe zu vernichten,

2.

in einem abgegrenzten Gebiet in Beständen mit Wirtspflanzen den Feuerbrand zu bekämpfen,

3.

in einem abgegrenzten Gebiet Grundstücke oder Anbauflächen von Wirtspflanzen freizumachen oder freizuhalten,

4.

befallene, befallsverdächtige und befallsgefährdete Grundstücke im Umkreis bis zu 500 m von Baumschulbeständen, Vermehrungsanlagen oder Anbauflächen mit Kernobst von hochanfälligen Wirtspflanzen freizumachen und freizuhalten.

(2) Die zuständige Behörde kann im Falle des Absatzes 1 Nr. 1 genehmigen, daß die Wirtspflanzen an anderer Stelle vernichtet werden, soweit hierdurch keine Gefahr einer Ausbreitung des Feuerbrandes entsteht.

§ 7

Die zuständige Behörde kann, soweit es zur Bekämpfung des Feuerbrandes erforderlich ist, anordnen, daß

1.

Bienen in einem abgegrenzten Gebiet nicht gehalten und

2.

Bienenvölker nicht in ein abgegrenztes oder aus einem abgegrenzten Gebiet verlegt

werden dürfen.

§ 8

(1) Das Züchten und das Halten des Erregers des Feuerbrandes sowie das Arbeiten mit diesem Schadorganismus sind verboten.

(2) Die zuständige Behörde kann im Einzelfall für Untersuchungen, Versuche und Züchtungsvorhaben Ausnahmen von diesem Verbot genehmigen, soweit hierdurch die Bekämpfung des Feuerbrandes nicht beeinträchtigt wird und keine Gefahr einer Ausbreitung der Krankheit entsteht.

§ 9

Unberührt bleibt die Befugnis der Landesregierungen, durch Rechtsverordnung auf Grund des § 3 Abs. 3 in Verbindung mit Abs. 1 Nr. 5 des Pflanzenschutzgesetzes anzuordnen, daß die zuständige Behörde den Feuerbrand bekämpft.

§ 10

Ordnungswidrig im Sinne des § 68 Absatz 1 Nummer 3 Buchstabe a des Pflanzenschutzgesetzes handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig

1.

entgegen § 2 Abs. 1 die Meldung nicht, nicht richtig, nicht vollständig oder nicht rechtzeitig erstattet,

1a.

einer vollziehbaren Anordnung nach § 2 Absatz 2, § 5, § 6 Absatz 1 oder § 7 zuwiderhandelt,

2.

entgegen § 4 Abs. 1 Wirtspflanzen oder Teile von diesen von ihrem Standort entfernt,

3.

entgegen § 4 Abs. 2 Wirtspflanzen oder Teile von diesen ohne Genehmigung aus einem abgegrenzten Gebiet verbringt,

3a.

einer mit einer Genehmigung nach § 6 Absatz 2 oder § 8 Absatz 2 verbundenen vollziehbaren Auflage zuwiderhandelt oder

4.

entgegen § 8 Abs. 1 den Erreger des Feuerbrandes züchtet oder hält oder mit ihm arbeitet.

§ 11

Diese Verordnung tritt am 1. Januar 1986 in Kraft.

Schlußformel

Der Bundesminister für ERNÄHRUNG, Landwirtschaft und Forsten

Quelle: http://www.gesetze-im-internet.de/feuerbrandv_1985/BJNR025510985.html (wörtlich übernommen)

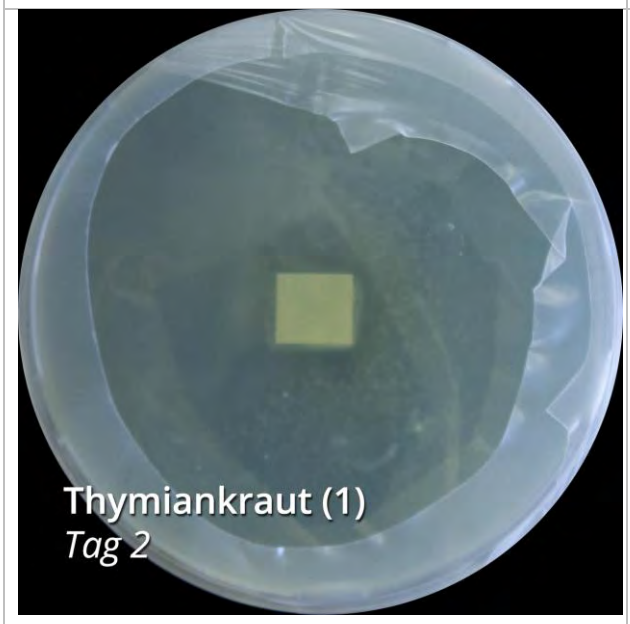
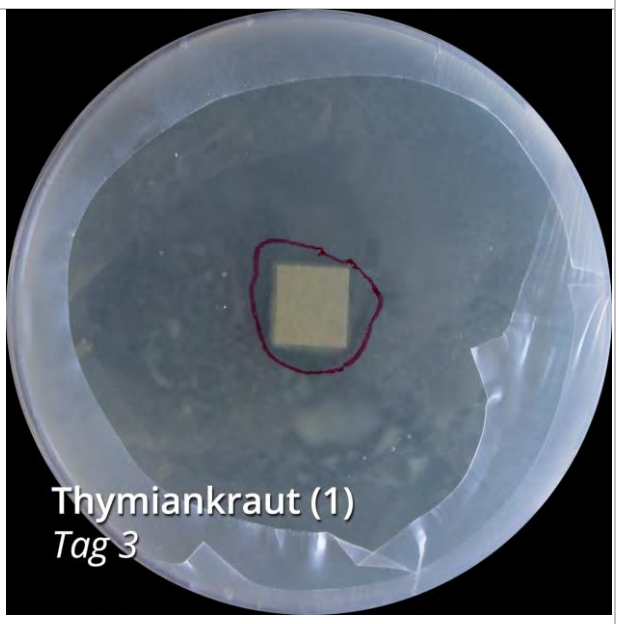
4.8.2 Hemmhoftest (Erwinia carotovora)

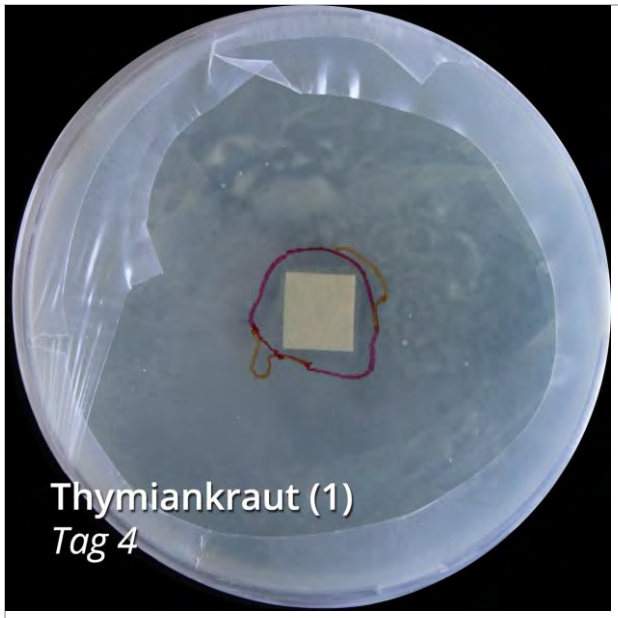
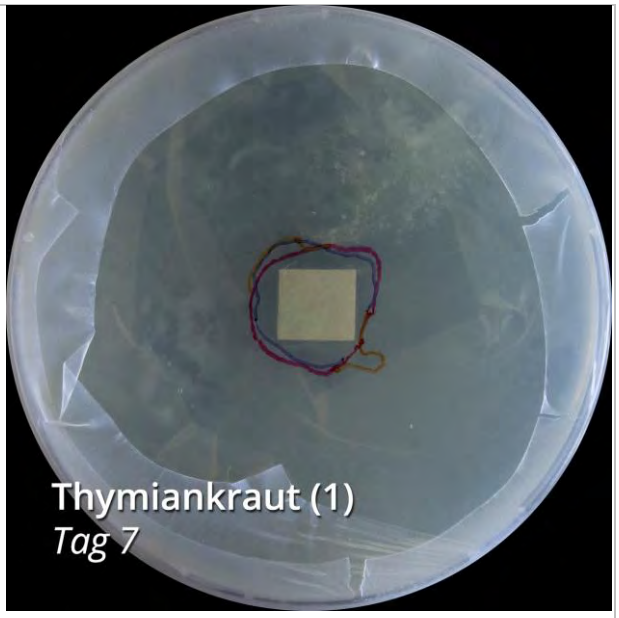
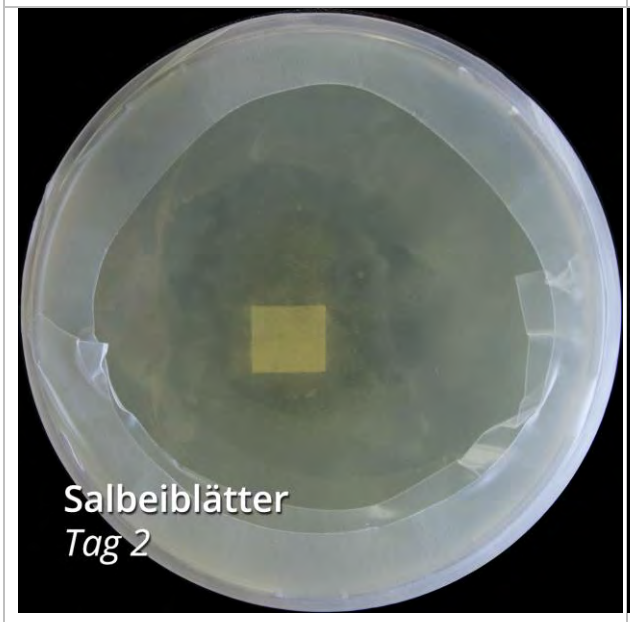
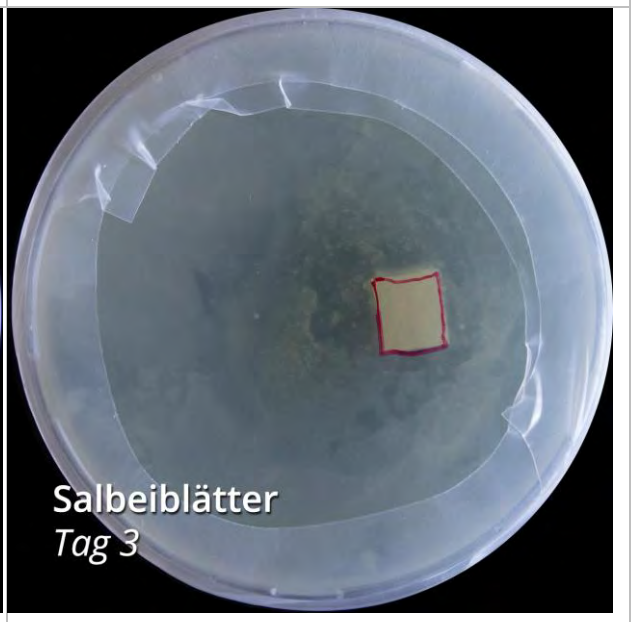
Tabellen:

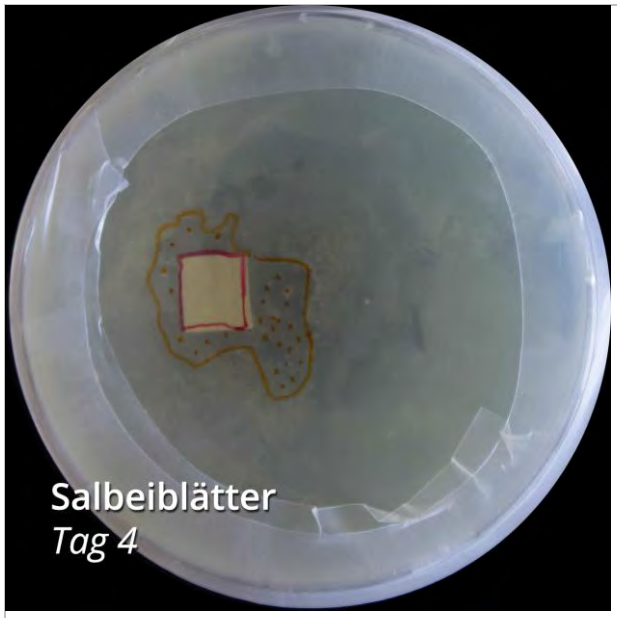
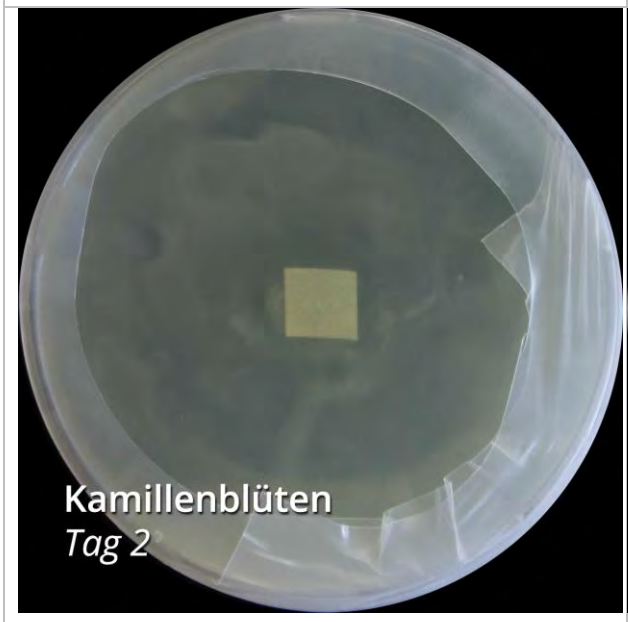
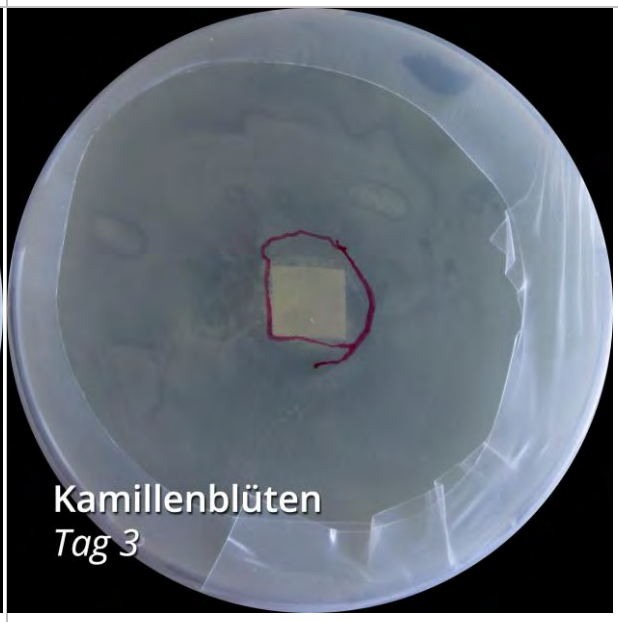
Hemmhöfe (mm):

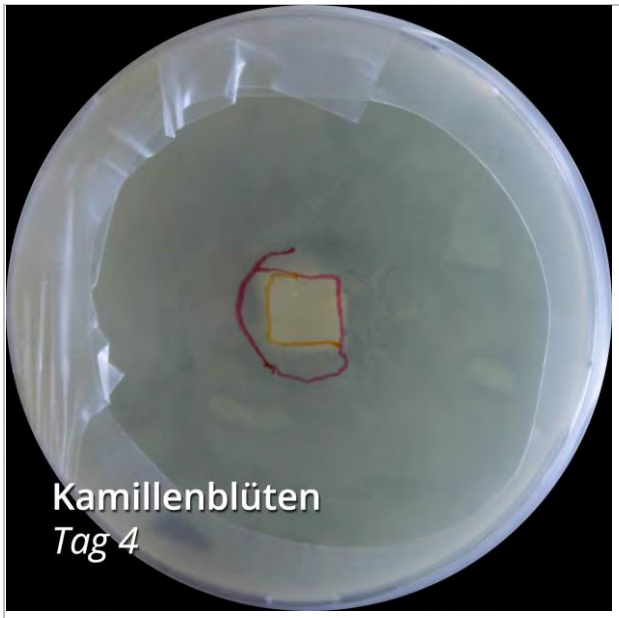
Nr.	Drogenextrakt	07.05.2014	08.05.2014	09.05.2014	12.05.2014
BP	**Blindprobe**	0	0	0	0
1	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Ethanol	3	4	4	2
2	**Salbeiblätter** (*Salvia officinalis*)	4	14	14	0
3	**Kamillenblüten** (*Matricaria chamomilla*)	3	0	0	0
4	**Zimtrinde** (*Cinnamomum cassia*)	0	3	3	3
5	**Pelargonienwurzel** (*Pelargonium sidoides*)	0	0	0	0
6	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	8	0	5	0
7	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	4	21	21	20
8	**Rotes Weinlaub** (*Vitis viniferae*)	5	0	0	0
9	**russisches Estragonkraut** (*Artemisiae dracunculi*)	2	1	0	0
10	**Traubenkerne** (*Vitis viniferae*)	5	3	1	0
11	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Wasser	0	14	0	0
12	**Pfefferminzblätter** (*Menthae x piperitae*)	2	0	0	0
13	**Zwiebel** (*Allii cepae*)	5	0	0	0
14	**Schafgarbenkraut** (*Achillea Millefolium*)	0	0	0	0
15	**Wermutkraut** (*Artemisia absinthium*)	0	3	0	0
Strep.	**Streptomycin**	35	35	35	35

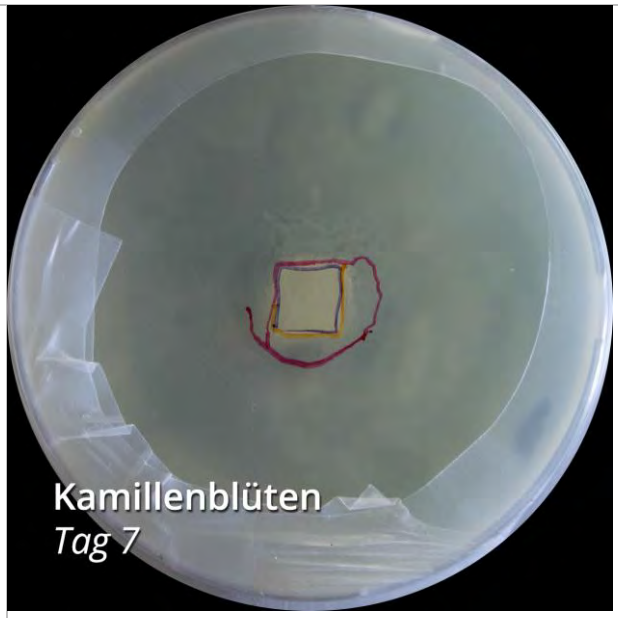
Bilder:

1	Thymiankraut
	

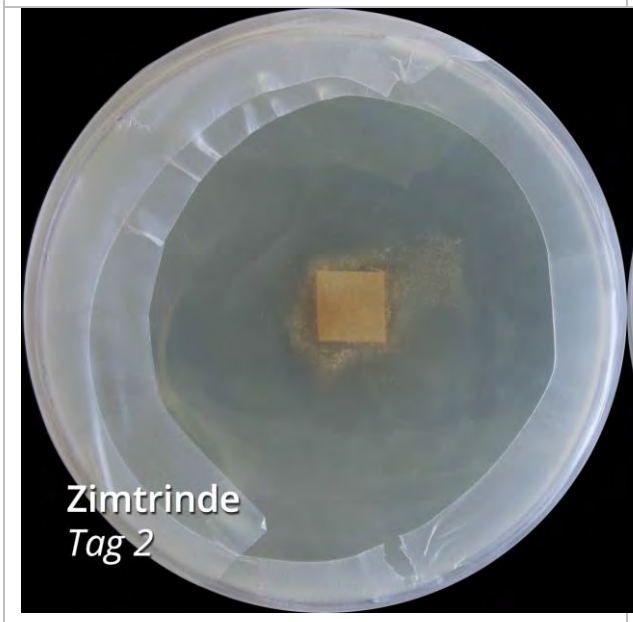
	
2	Salbeiblätter
	

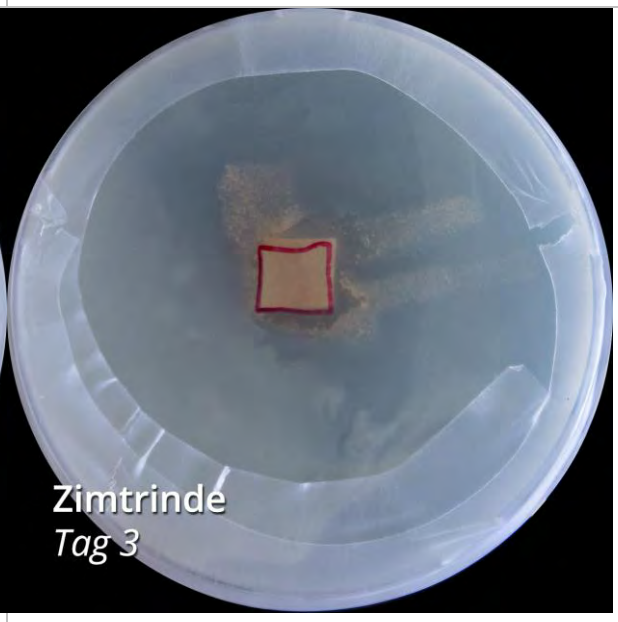
	
3	Kamillenblüten
	

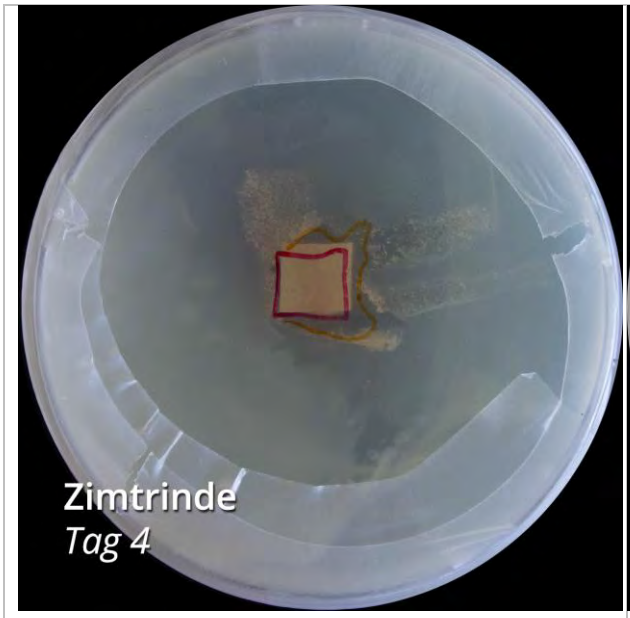
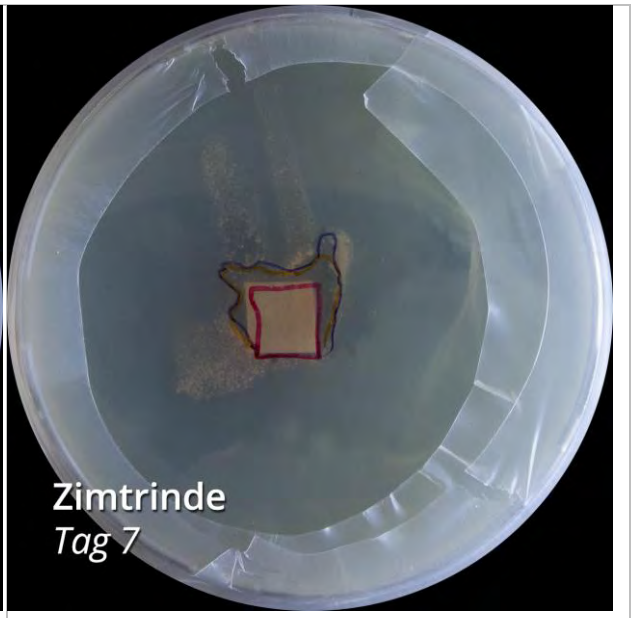
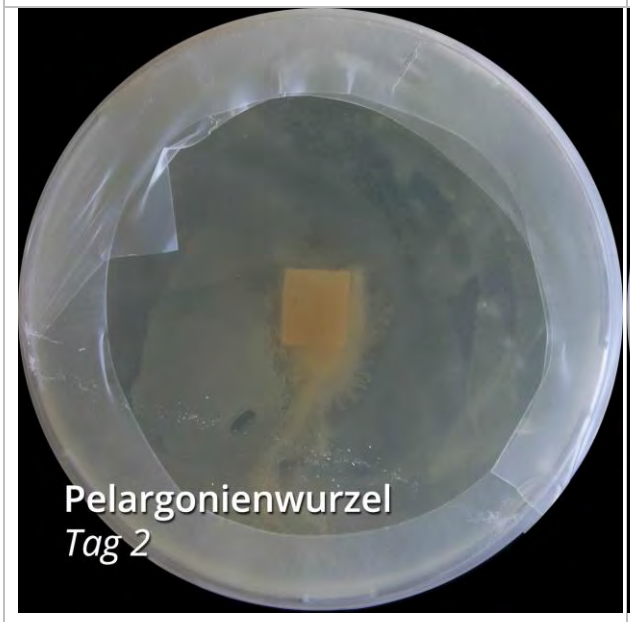
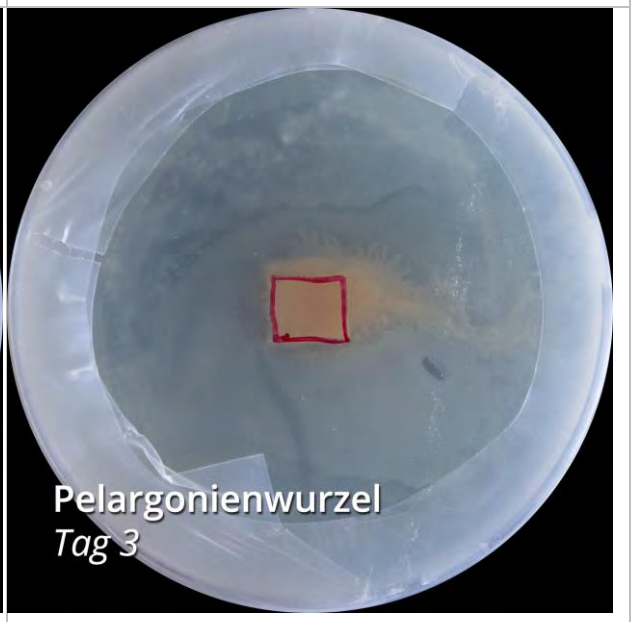

Kamillenblüten
Tag 4

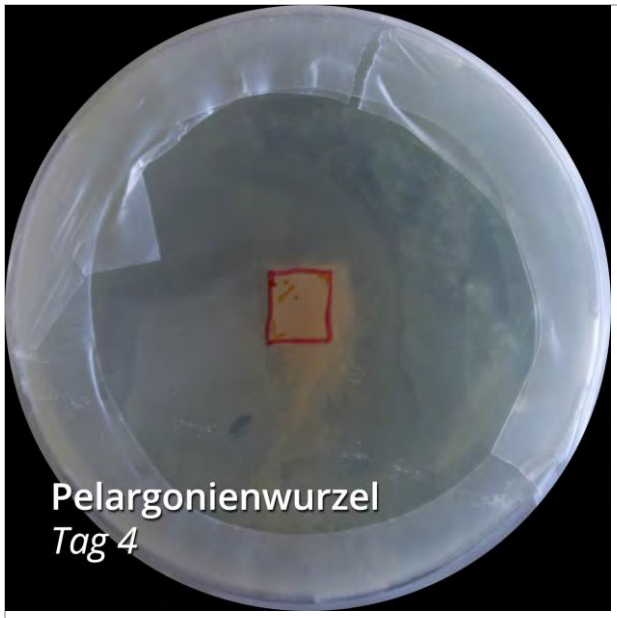
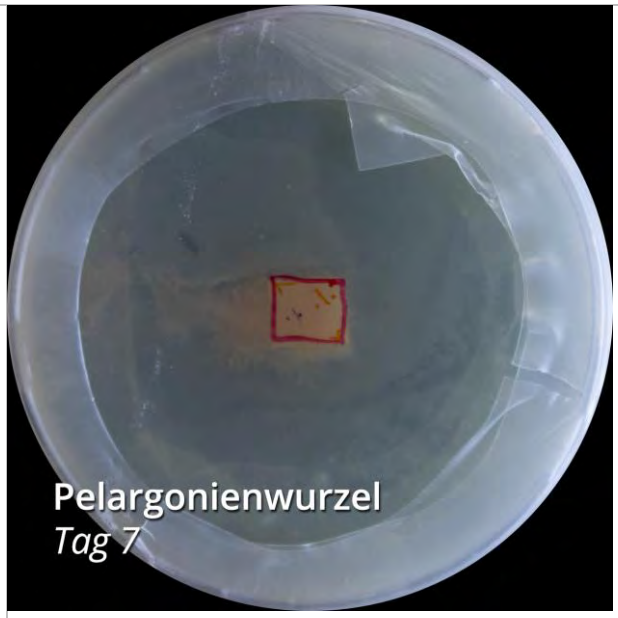
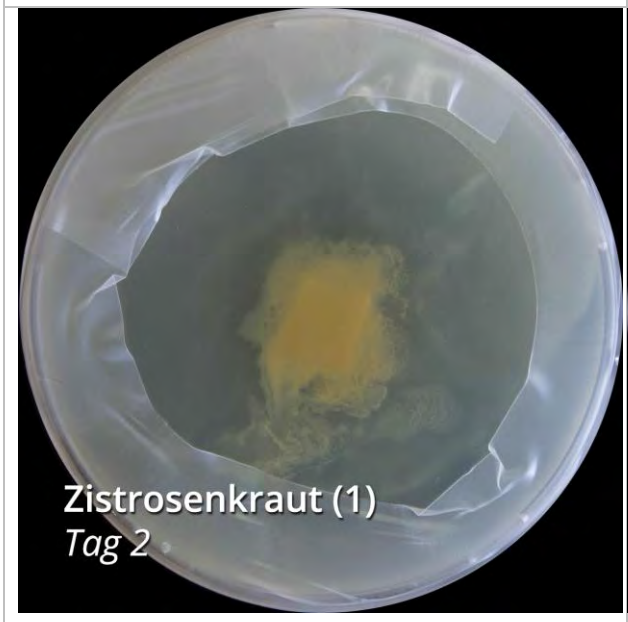
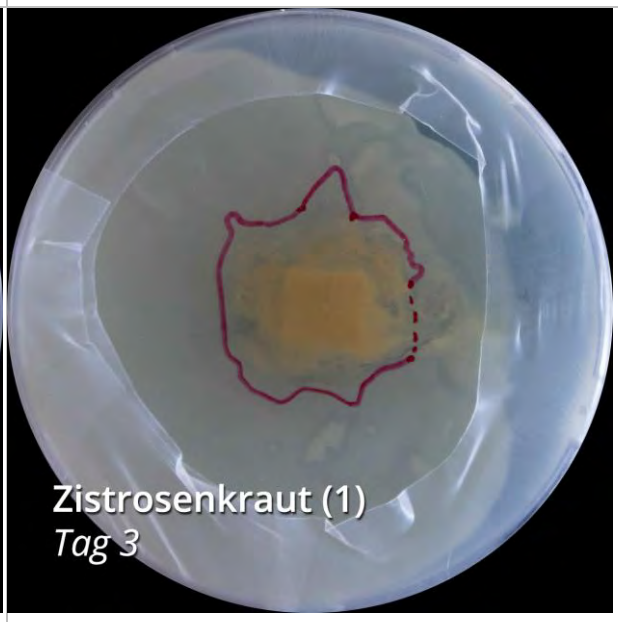

Kamillenblüten
Tag 7

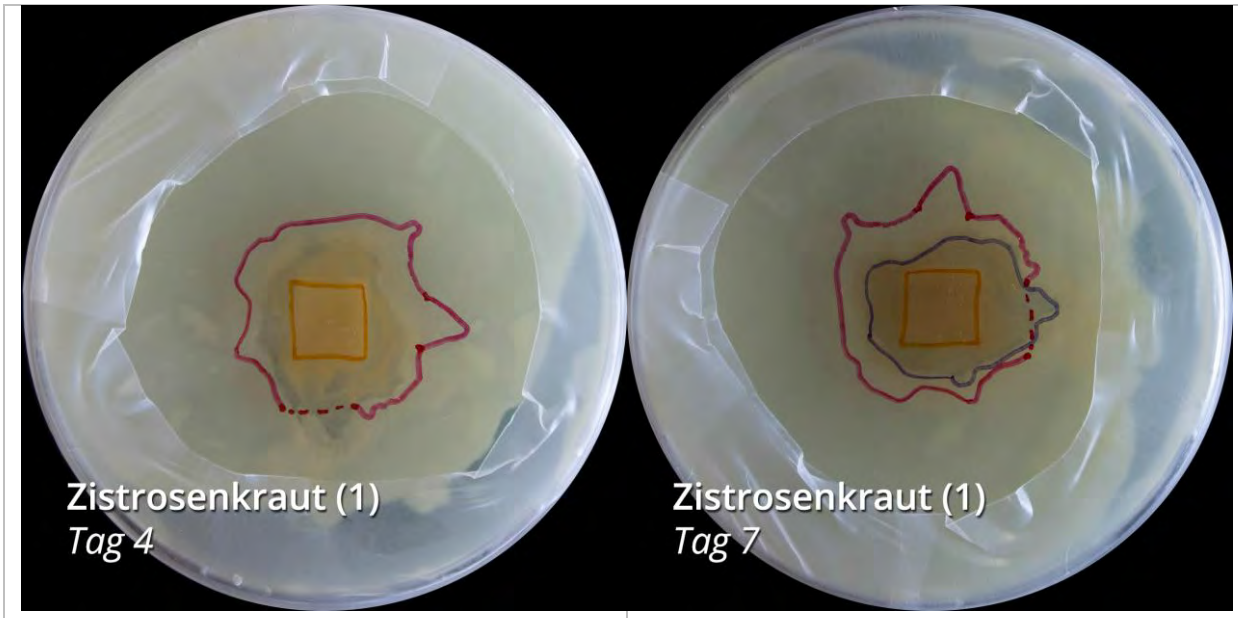
4	Zimtrinde


Zimtrinde
Tag 2

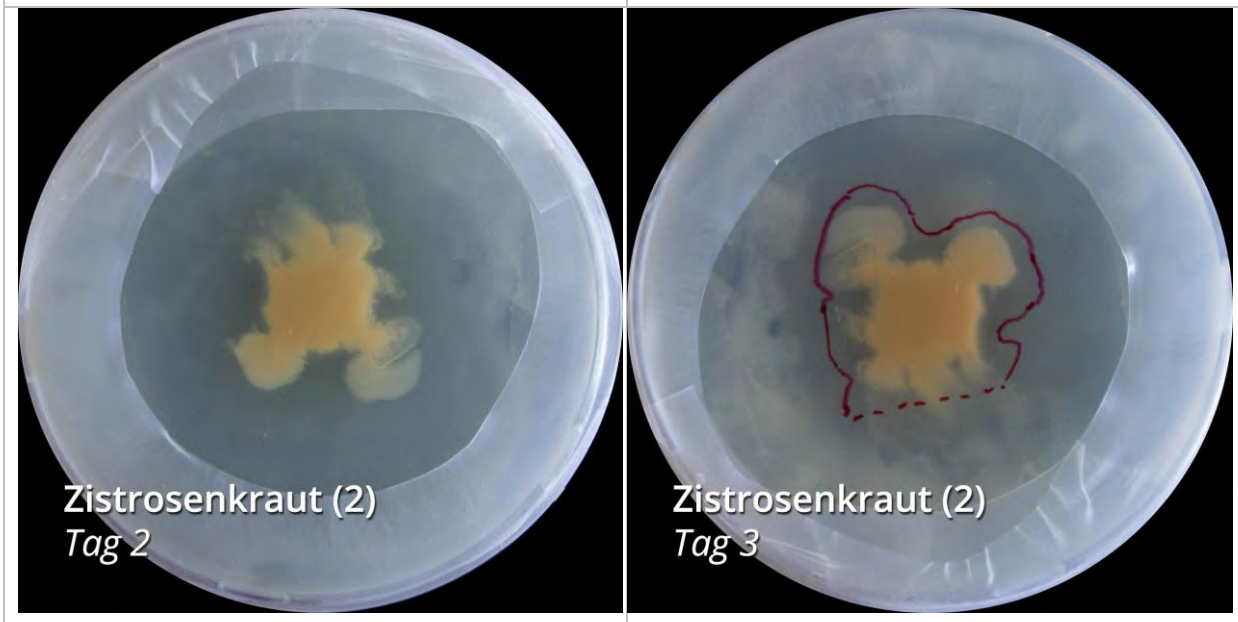

Zimtrinde
Tag 3

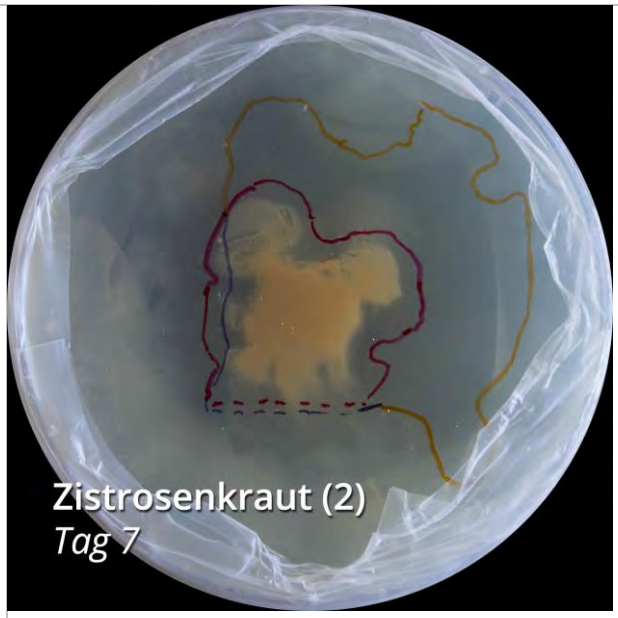
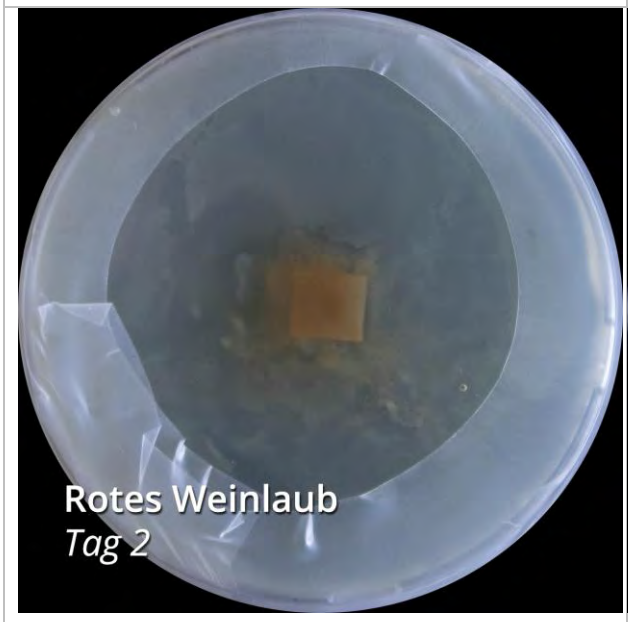
	
5	Pelargonienwurzel
	

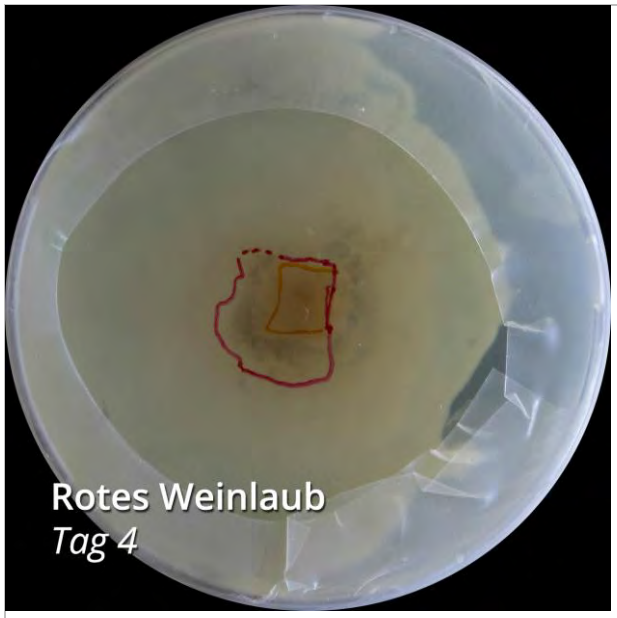
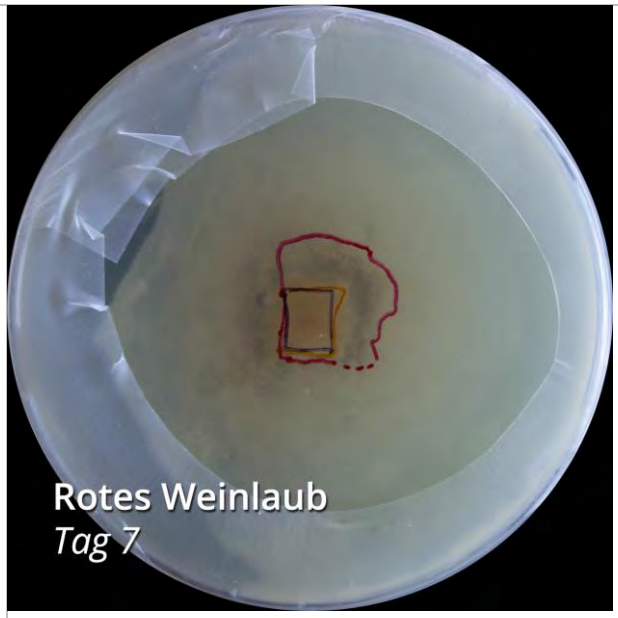
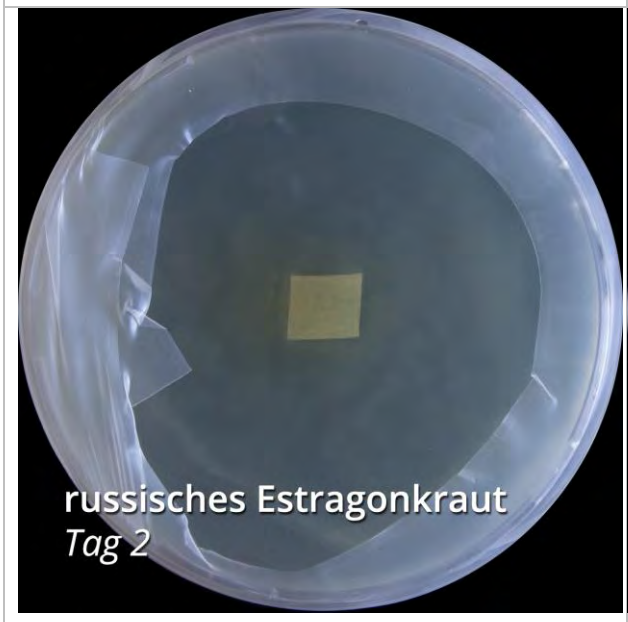
	
6	Zistrosenkraut (Wasser)
	

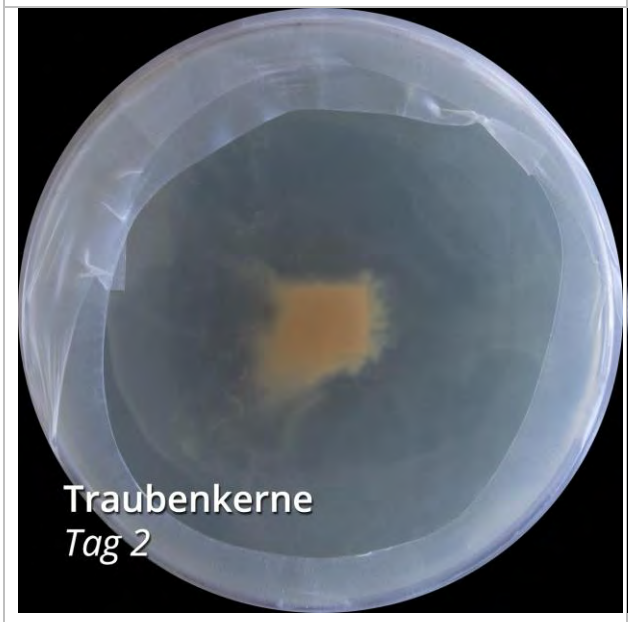
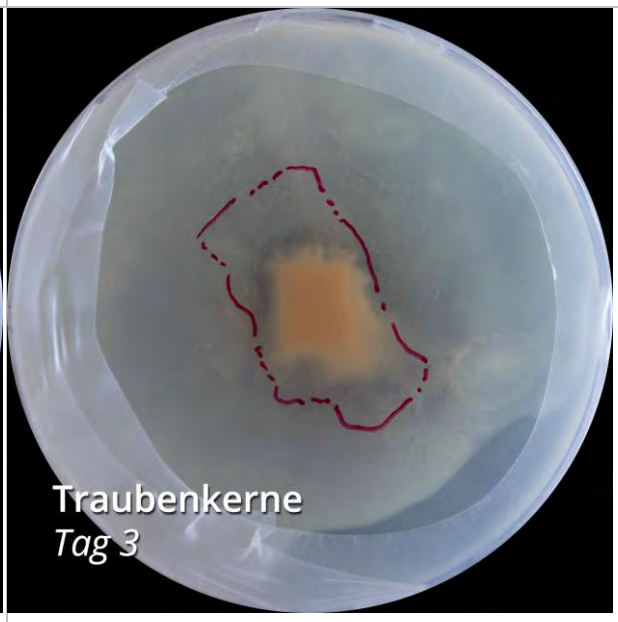


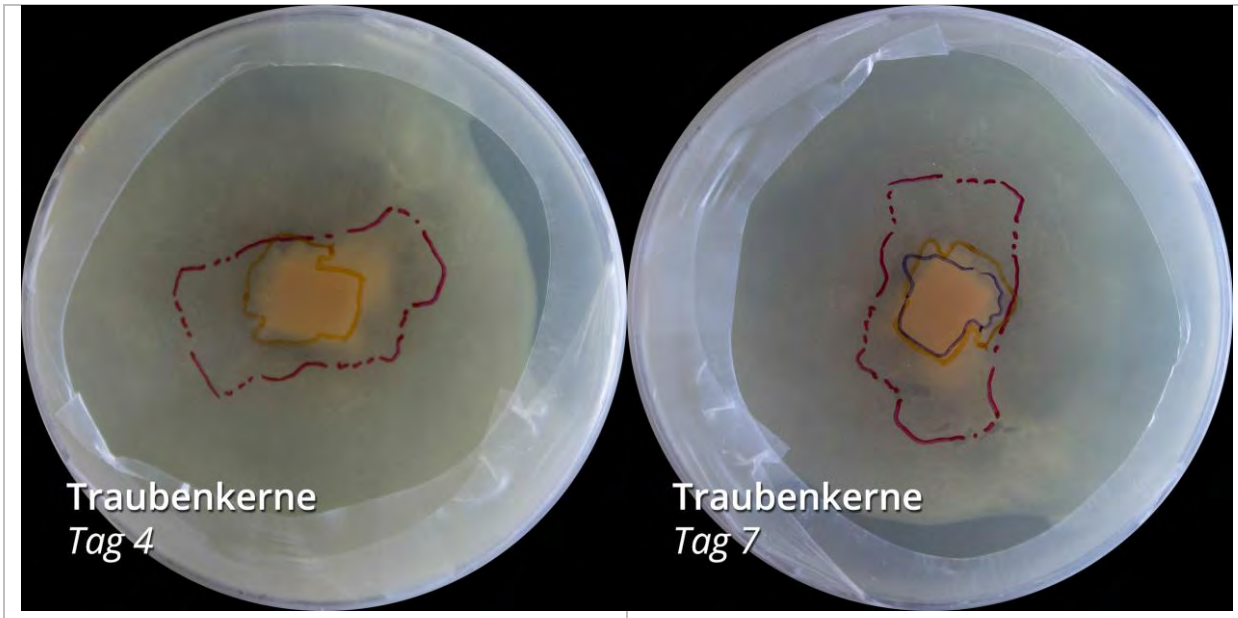
7	Zistrosenkraut (Ethanol)



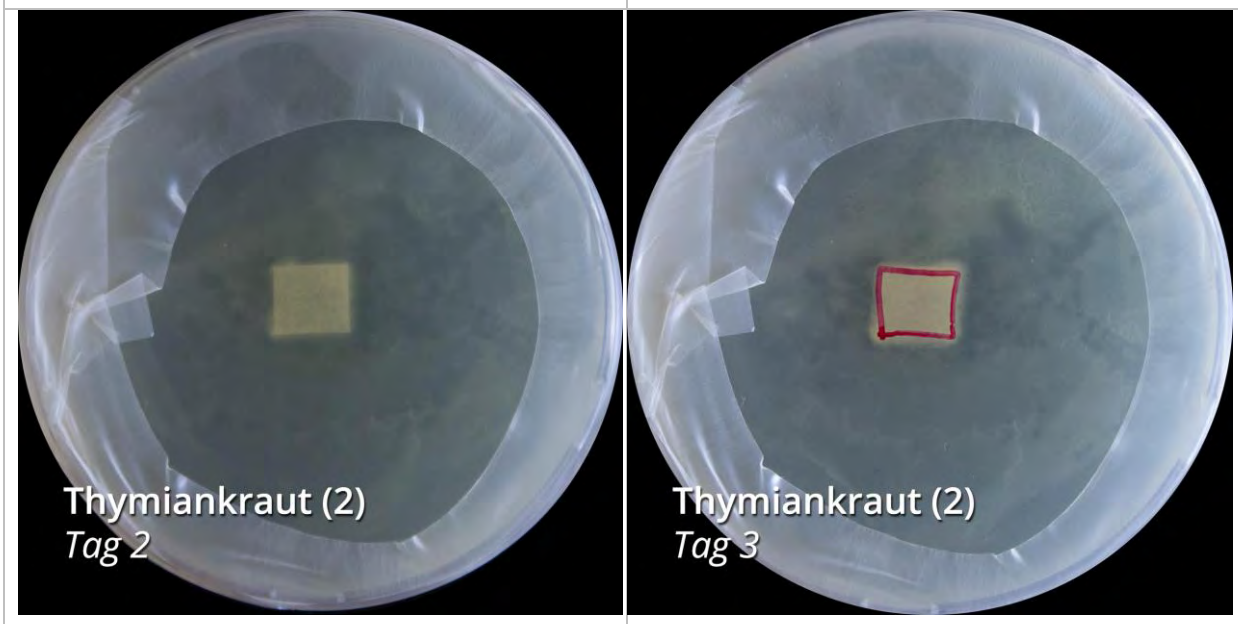
	
8	Rotes Weinlaub
	

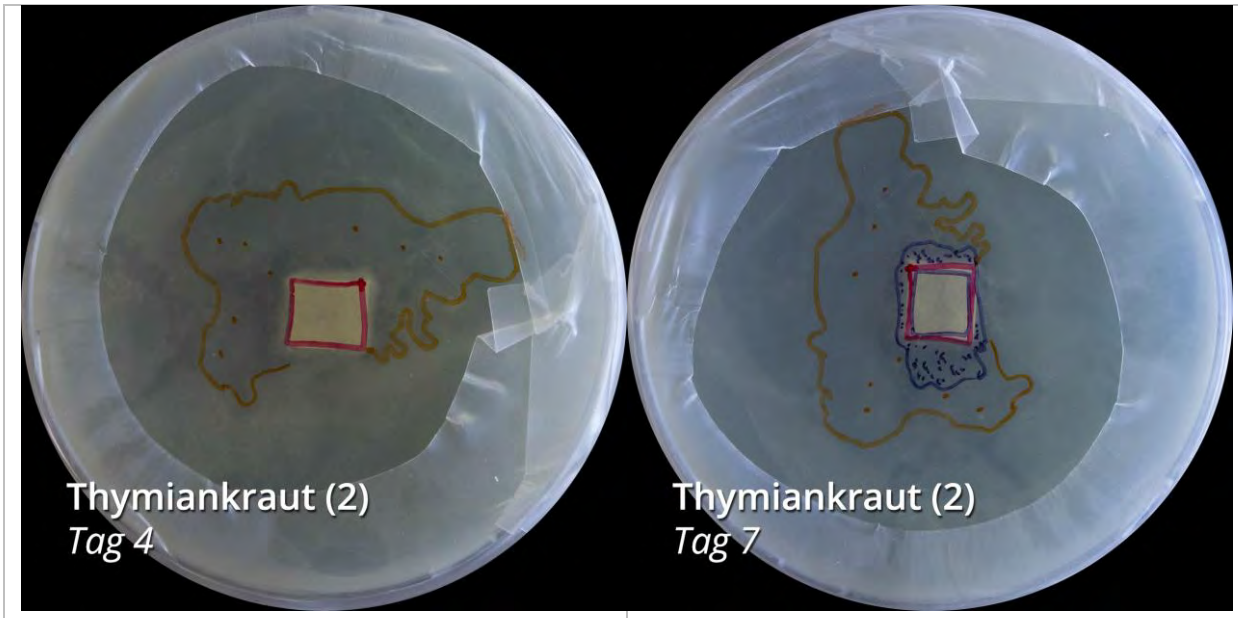
	
9	russisches Estragonkraut
	

	
10	Traubenkerne
	

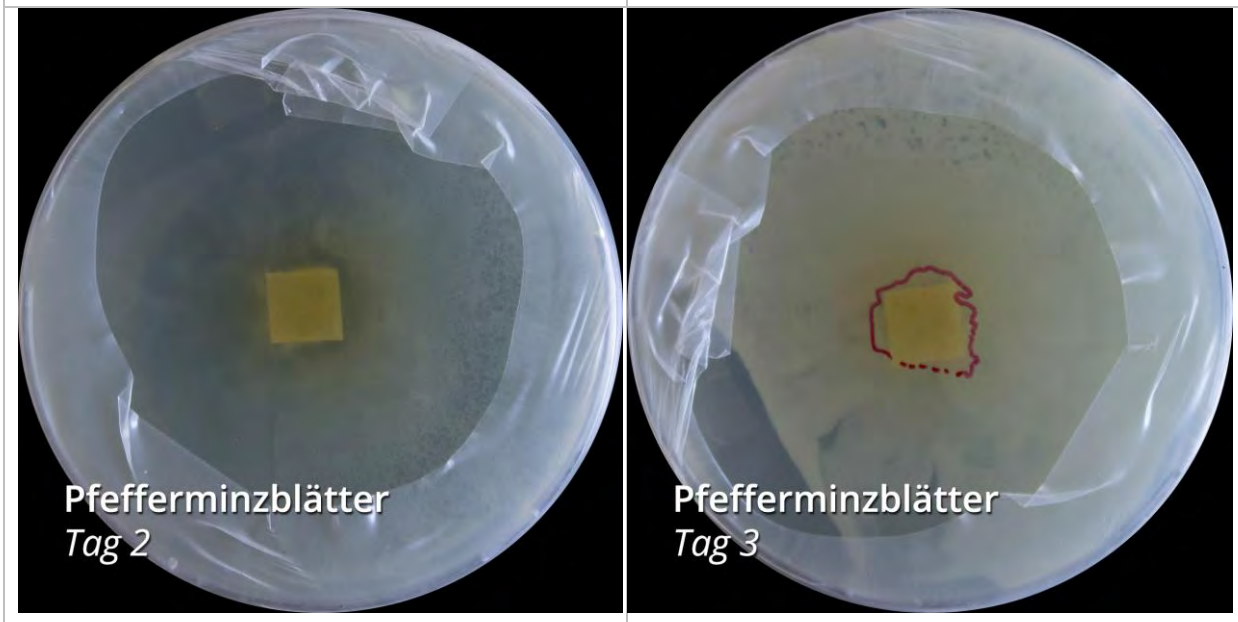


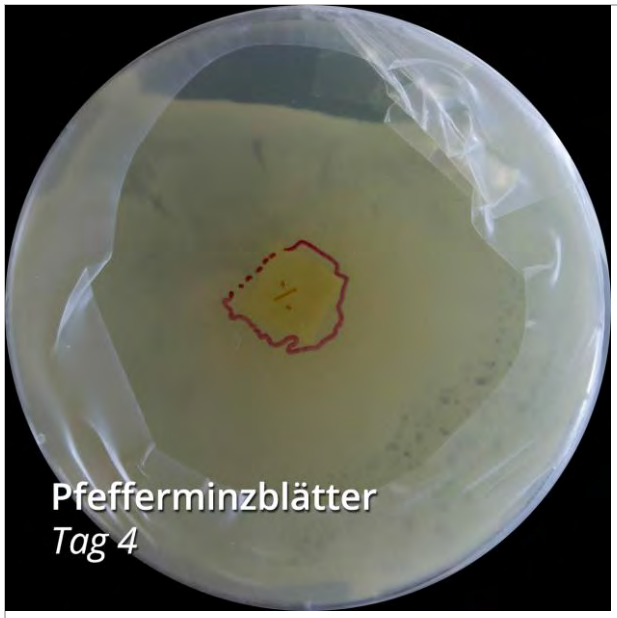
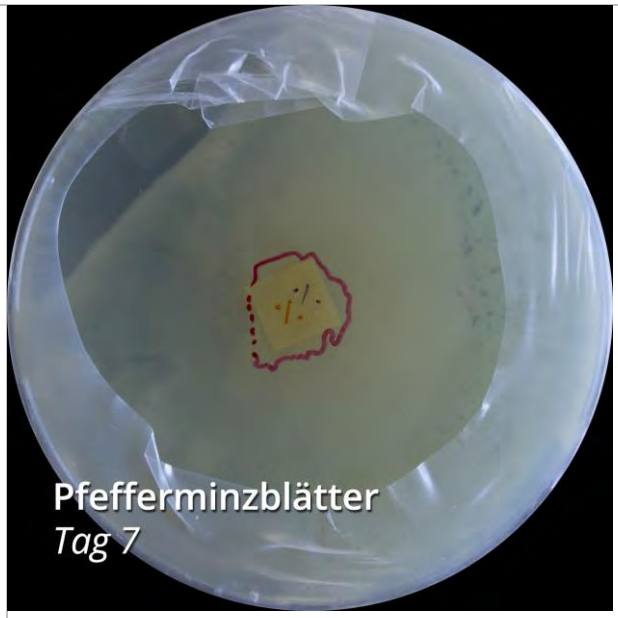
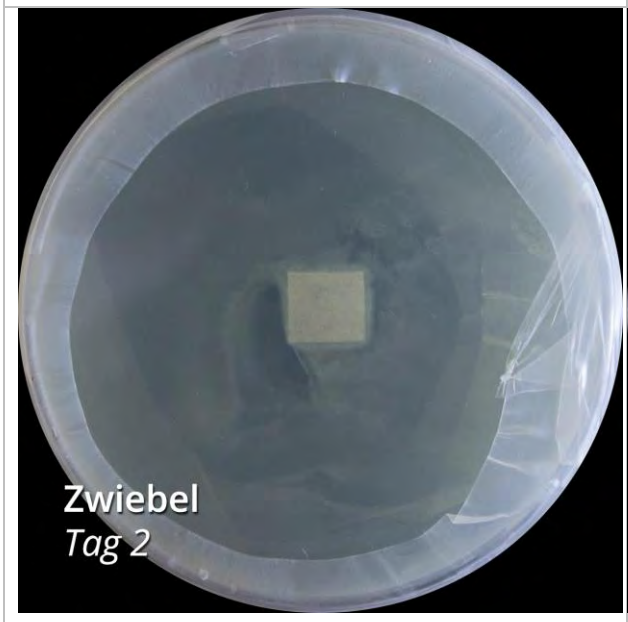
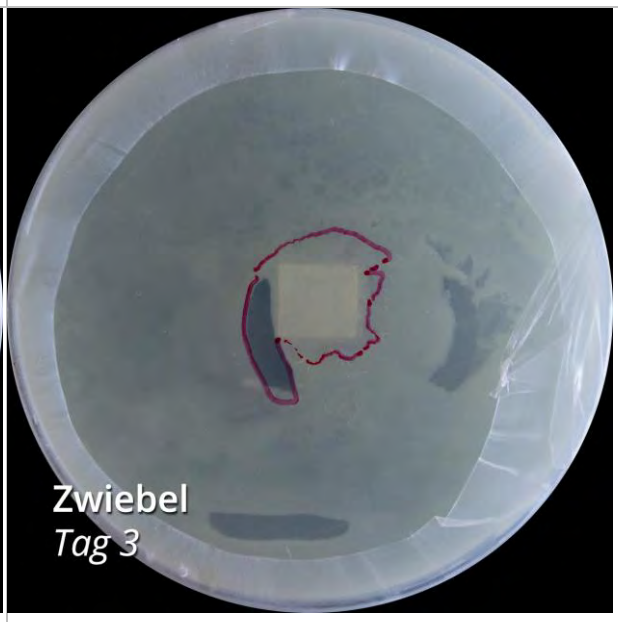
11	Thymiankraut (Wasser)

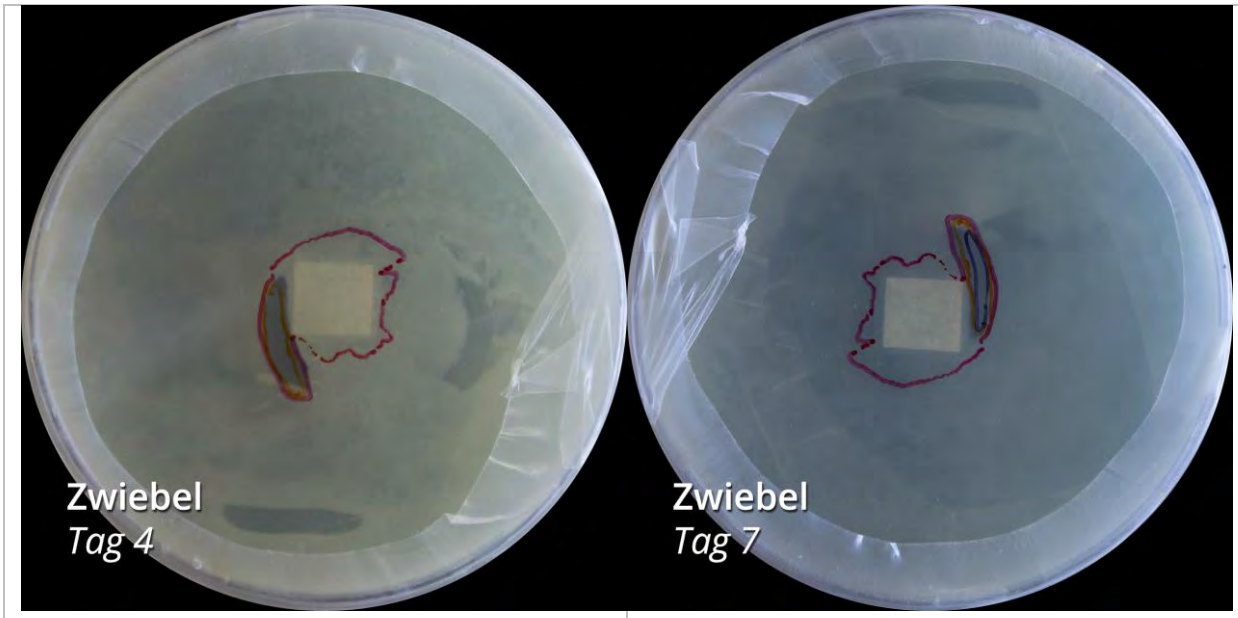




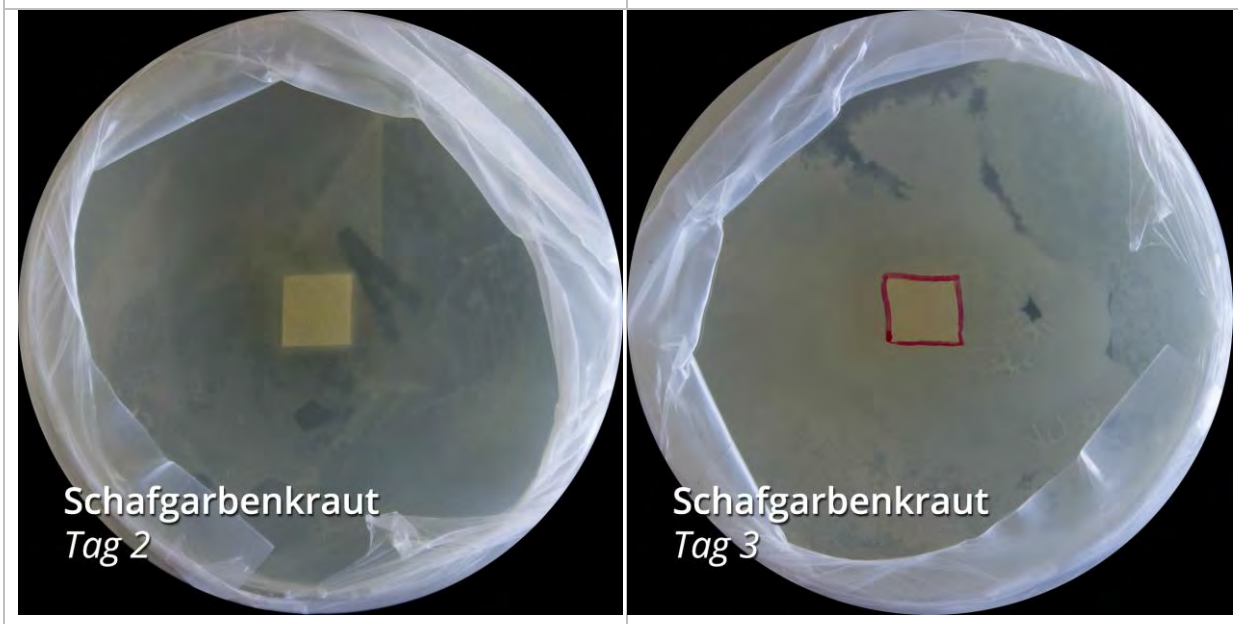
12	Pfefferminzblätter

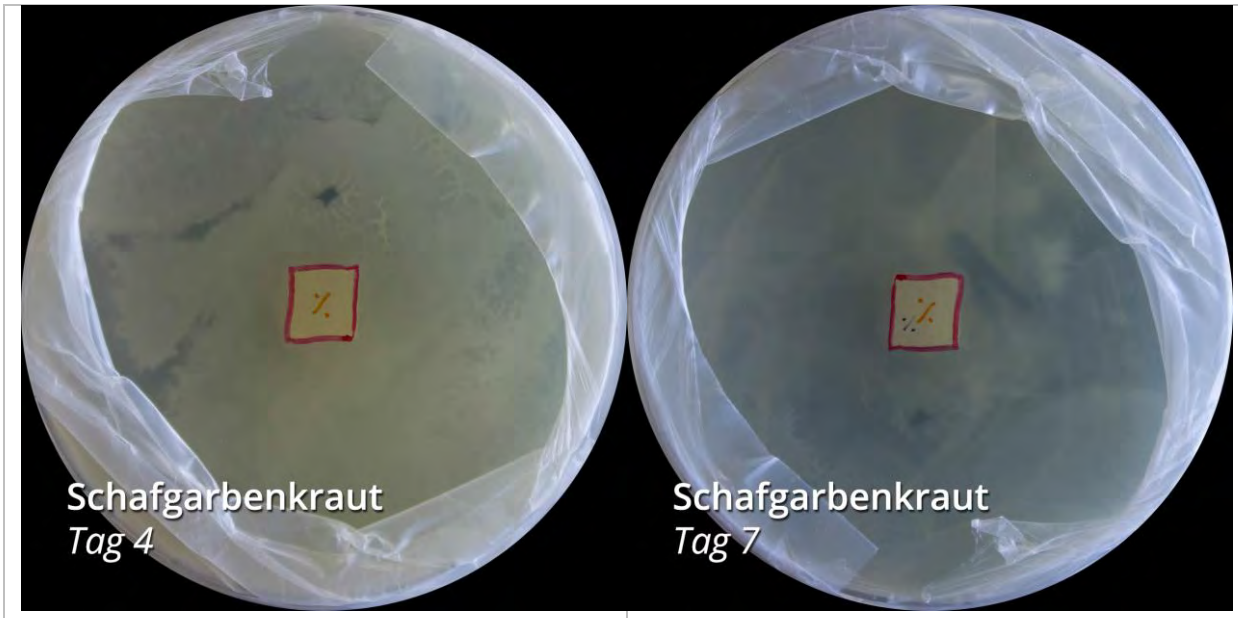


Pfefferminzblätter Tag 4	Pfefferminzblätter Tag 7
13	Zwiebel
Zwiebel Tag 2	Zwiebel Tag 3

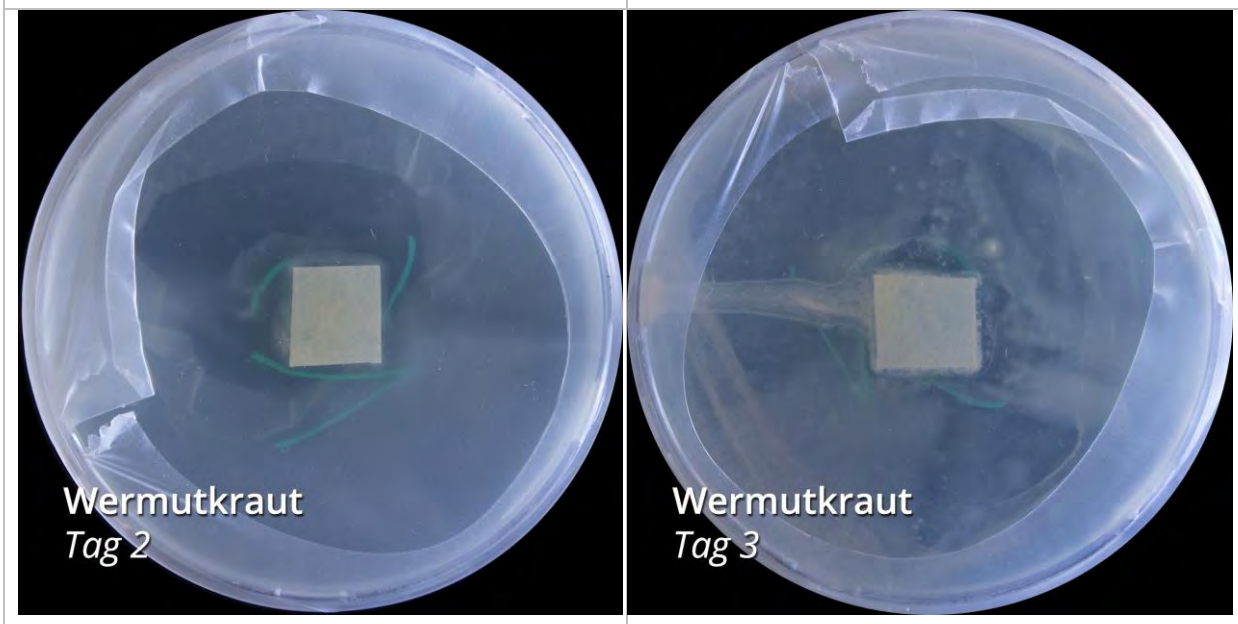


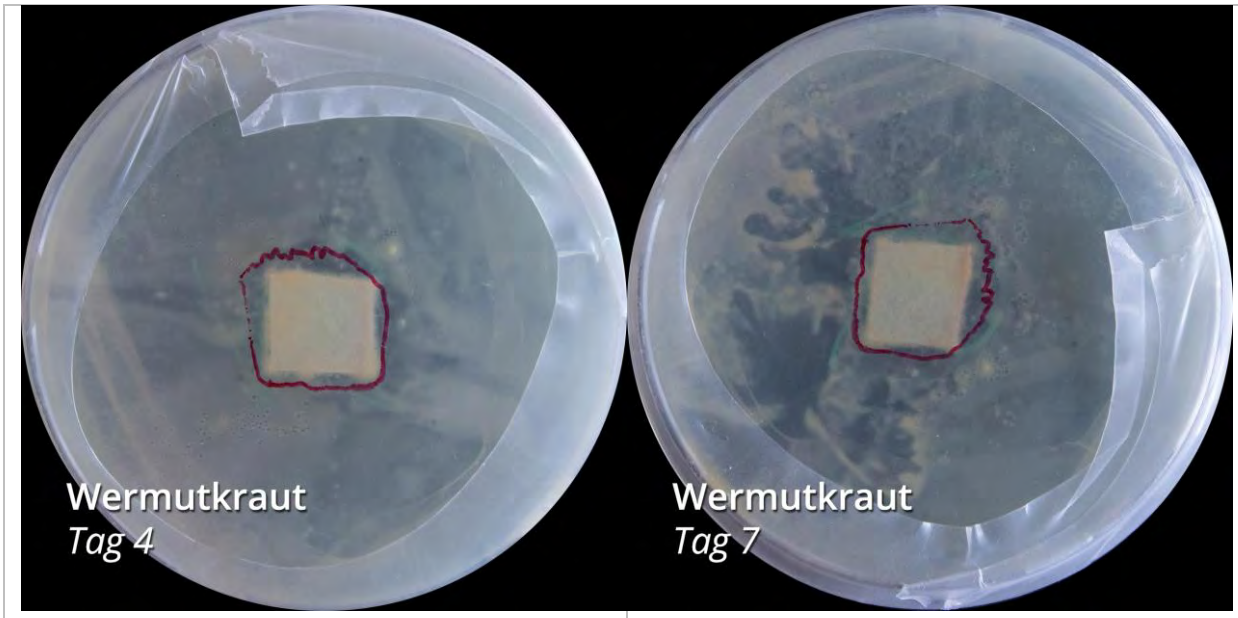
14	Schafgarbenkraut



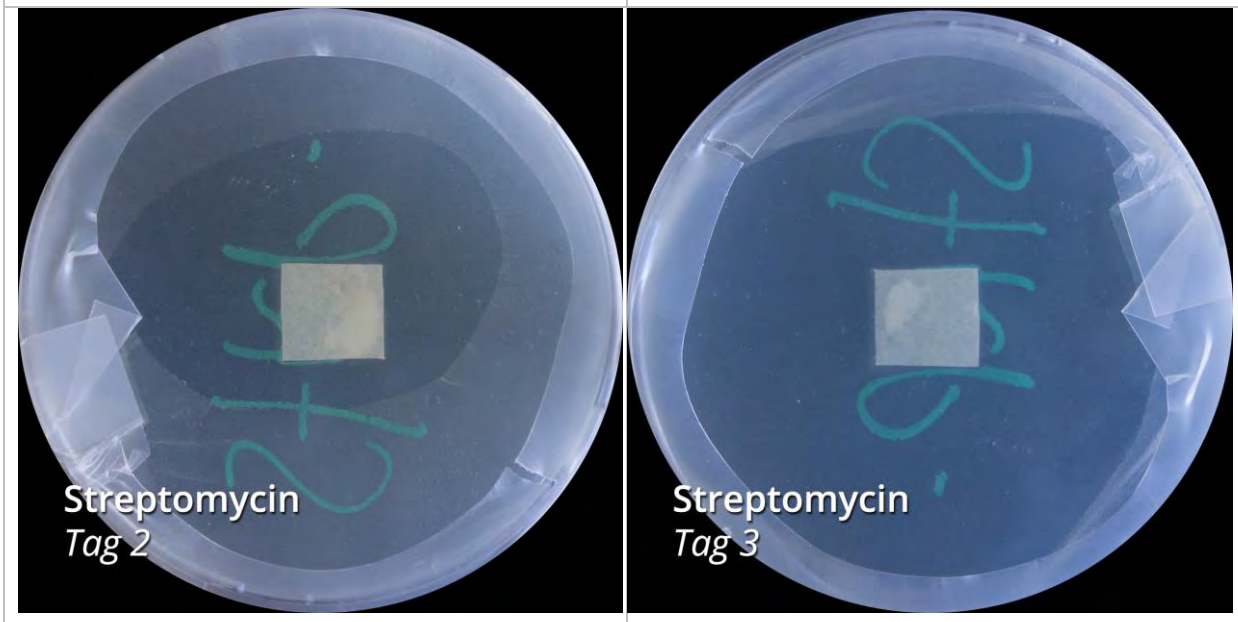


15	Wermutkraut

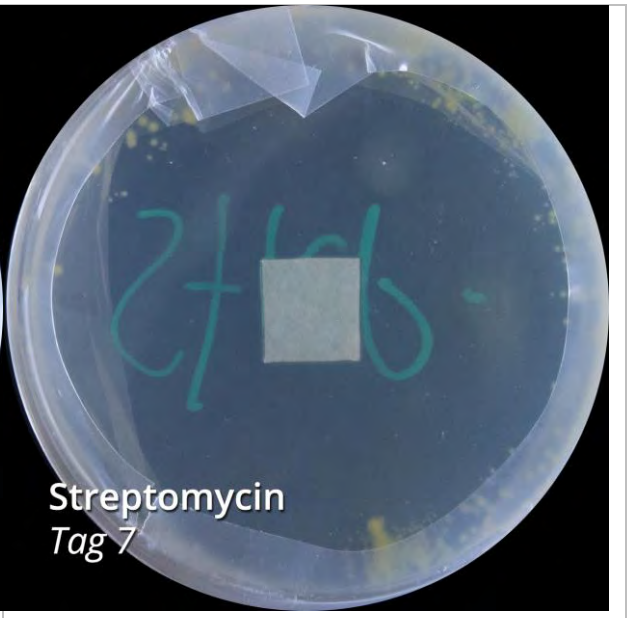




Strep.	Streptomycin

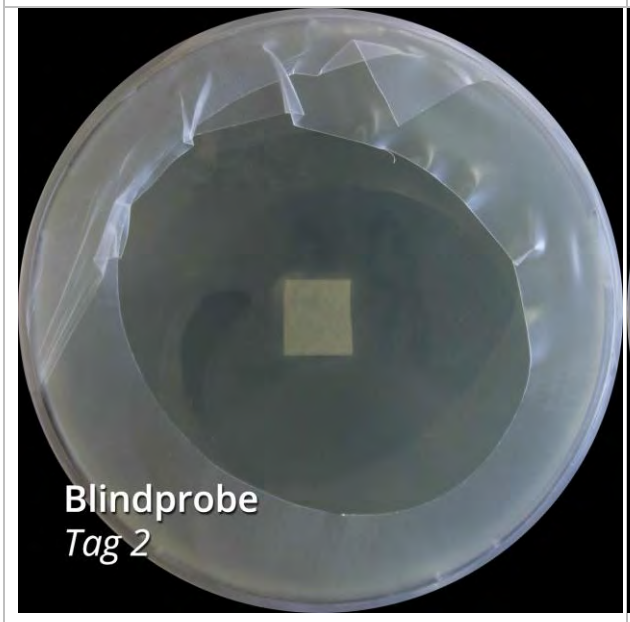


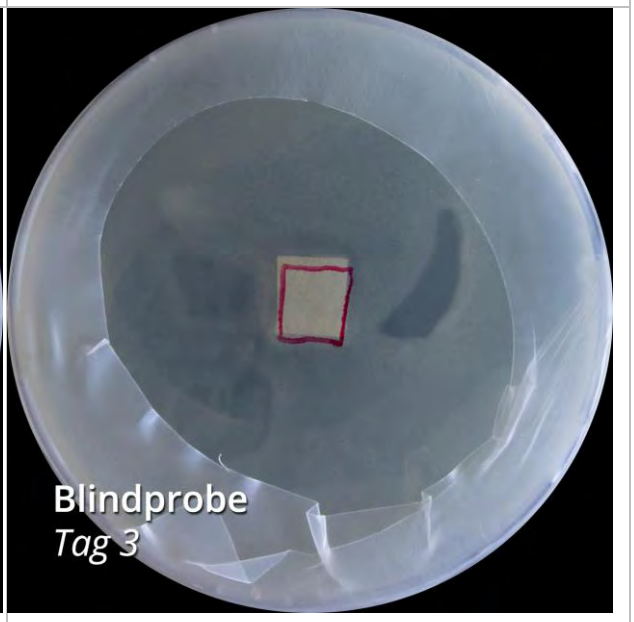


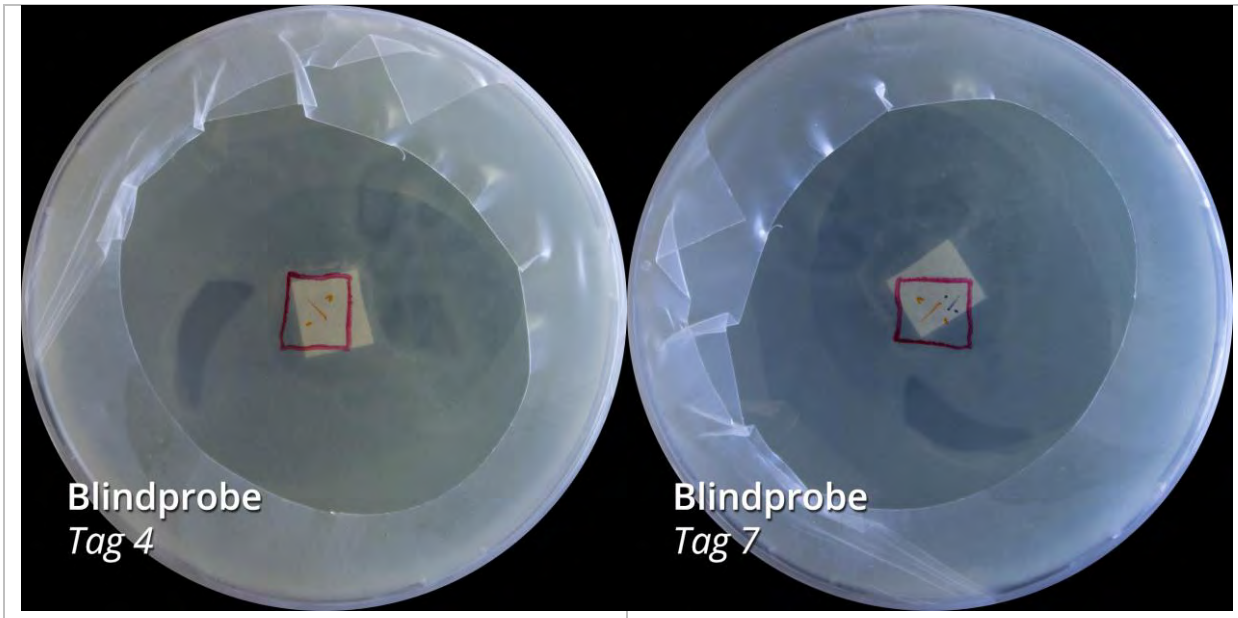


BP

Blindprobe






Blindprobe
Tag 4
Blindprobe
Tag 7

4.8.3 Auswirkungen der Inhaltsstoffe auf Pflanzenwachstum

Tabellen:

Anzahl der gekeimten Kressesamen:

Nr.	Drogenextrakt	Tag 3	Tag 6
1	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Ethanol	0	2
2	**Salbeiblätter** (*Salvia officinalis*)	2	17
3	**Kamillenblüten** (*Matricaria chamomilla*)	19	25
4	**Zimtrinde** (*Cinnamomum cassia*)	0	0
5	**Pelargonienwurzel** (*Pelargonium sidoides*)	15	23
6	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	22	24
7	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	3	13
8	**Rotes Weinlaub** (*Vitis viniferae*)	1	3
9	**russisches Estragonkraut** (*Artemisiae dracunculi*)	0	4
10	**Traubenkerne** (*Vitis viniferae*)	3	12
11	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Wasser	13	20
12	**Pfefferminzblätter** (*Menthae x piperitae*)	0	0
13	**Zwiebel** (*Allii cepae*)	2	16
14	**Schafgarbenkraut** (*Achillea Millefolium*)	0	4
15	**Wermutkraut** (*Artemisia absinthium*)	18	22
BP	**Blindprobe**	25	25

maximale Wachstumshöhe:

Nr.	Drogenextrakt	Tag 3	Tag 6
BP	**Blindprobe**	19	43
1	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Ethanol	0	3
2	**Salbeiblätter** (*Salvia officinalis*)	2	16
3	**Kamillenblüten** (*Matricaria chamomilla*)	10	32
4	**Zimtrinde** (*Cinnamomum cassia*)	0	0
5	**Pelargonienwurzel** (*Pelargonium sidoides*)	13	23
6	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	18	16
7	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	2	7
8	**Rotes Weinlaub** (*Vitis viniferae*)	8	20
9	**russisches Estragonkraut** (*Artemisiae dracunculi*)	0	5
10	**Traubenkerne** (*Vitis viniferae*)	2	4
11	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Wasser	6	30
12	**Pfefferminzblätter** (*Menthae x piperitae*)	0	0
13	**Zwiebel** (*Allii cepae*)	2	13
14	**Schafgarbenkraut** (*Achillea Millefolium*)	0	5
15	**Wermutkraut** (*Artemisia absinthium*)	14	31

minimale Wachstumshöhe:

Nr.	Drogenextrakt	Tag 3	Tag 6
1	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Ethanol	0	3
2	**Salbeiblätter** (*Salvia officinalis*)	2	3
3	**Kamillenblüten** (*Matricaria chamomilla*)	2	8
4	**Zimtrinde** (*Cinnamomum cassia*)	0	0
5	**Pelargonienwurzel** (*Pelargonium sidoides*)	2	6
6	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	3	5
7	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	2	3
8	**Rotes Weinlaub** (*Vitis viniferae*)	8	5
9	**russisches Estragonkraut** (*Artemisiae dracunculi*)	0	2
10	**Traubenkerne** (*Vitis viniferae*)	1	1
11	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Wasser	3	4
12	**Pfefferminzblätter** (*Menthae x piperitae*)	0	0
13	**Zwiebel** (*Allii cepae*)	2	3
14	**Schafgarbenkraut** (*Achillea Millefolium*)	0	2
15	**Wermutkraut** (*Artemisia absinthium*)	7	6
BP	**Blindprobe**	4	18

durchschnittliche Wachstumshöhe:

Nr.	Drogenextrakt	Tag 3	Tag 6
1	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Ethanol	0	0,6
2	**Salbeiblätter** (*Salvia officinalis*)	0,8	4
3	**Kamillenblüten** (*Matricaria chamomilla*)	6,8	21,6
4	**Zimtrinde** (*Cinnamomum cassia*)	0	0
5	**Pelargonienwurzel** (*Pelargonium sidoides*)	7,4	19,4
6	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	7,6	10
7	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	1,6	4,4
8	**Rotes Weinlaub** (*Vitis viniferae*)	1,6	7
9	**russisches Estragonkraut** (*Artemisiae dracunculi*)	0	2,6
10	**Traubenkerne** (*Vitis viniferae*)	0,6	1,8
11	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Wasser	5,2	18,4
12	**Pfefferminzblätter** (*Menthae x piperitae*)	0	0
13	**Zwiebel** (*Allii cepae*)	0,8	4,4
14	**Schafgarbenkraut** (*Achillea Millefolium*)	0	2,4
15	**Wermutkraut** (*Artemisia absinthium*)	9	19,4
BP	**Blindprobe**	10,4	22,4

Tag 3

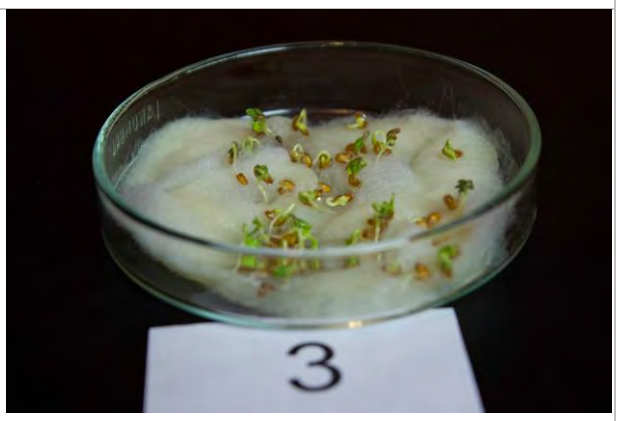












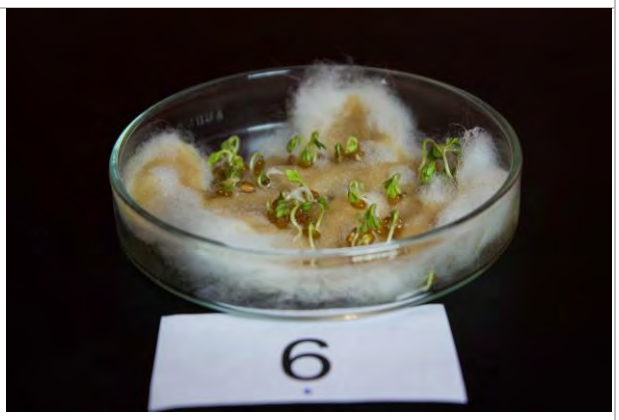

4


4


5


5


6


6


7


7


8

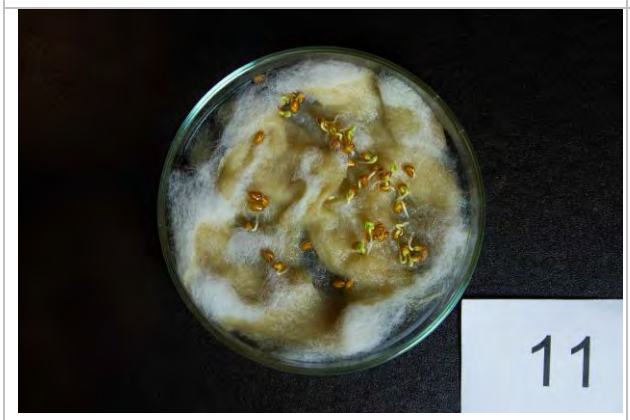

8


9


9


10


10


11


11


12


12


13


13


14


14

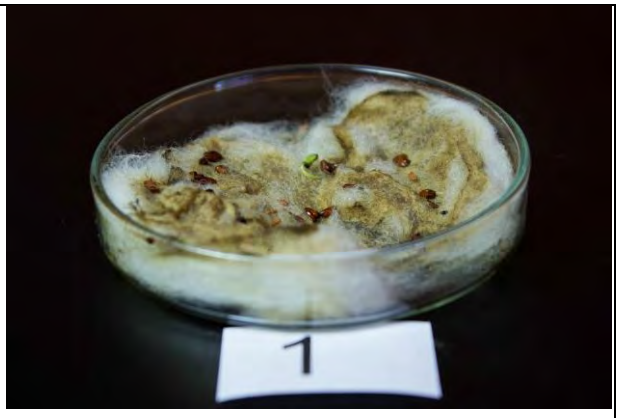

15


15

BP1	BP1

Tag 6














4


4


5


5


6


6


7


7


8


8


9


9


10


10


11


11


12


12


13


13


14


14


15


15

4.8.4 Flüssigmediumtest (Erwinia carotovora)

Messergebnisse in lux. ohne Umrechnung

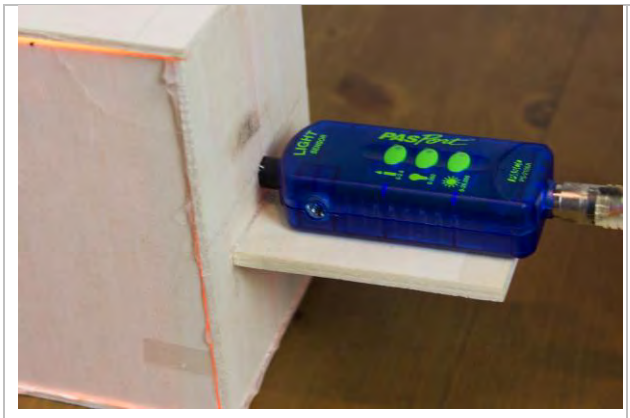
Nr.	Drogenextrakt	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
BP	**Blindprobe**	1053	1102	942	960	1046	1177	1148
LP	**Leerprobe**	1102	1133	1130	1160	1110	1183	1120
1	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Ethanol	973	952	909	905	938	1006	972
2	**Salbeiblätter** (*Salvia officinalis*)	1086	991	874	972	913	1048	1015
3	**Kamillenblüten** (*Matricaria chamomilla*)	931	1057	998	1015	1034	1057	1052
4	**Zimtrinde** (*Cinnamomum cassia*)	849	756	849	854	818	860	889
5	**Pelargonienwurzel** (*Pelargonium sidoides*)	385	422	384	365	361	384	362
6	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	346	333	342	350	342	353	341
7	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	278	274	251	254	278	275	297
8	**Rotes Weinlaub** (*Vitis viniferae*)	605	562	533	531	545	562	499
9	**russisches Estragonkraut** (*Artemisiae dracunculi*)	968	1056	949	906	985	1055	1000
10	**Traubenkerne** (*Vitis viniferae*)	363	390	384	394	313	373	343
11	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Wasser	1074	1148	1004	1183	1078	1116	1107
12	**Pfefferminzblätter** (*Menthae x piperitae*)	725	612	674	659	662	704	667
13	**Zwiebel** (*Allii cepae*)	1107	1026	1034	984	1093	1173	1156
14	**Schafgarbenkraut** (*Achillea Millefolium*)	964	1012	971	920	869	997	942
15	**Wermutkraut** (*Artemisia absinthium*)	1035	1173	1075	1046	988	1152	1152

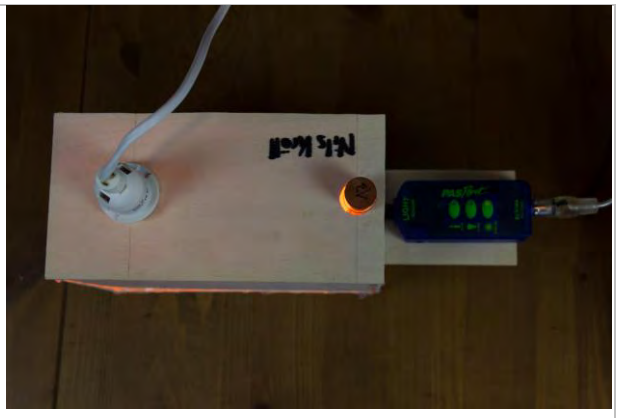
Messergebnisse nach Umrechnung (Differenz, Invertierung)

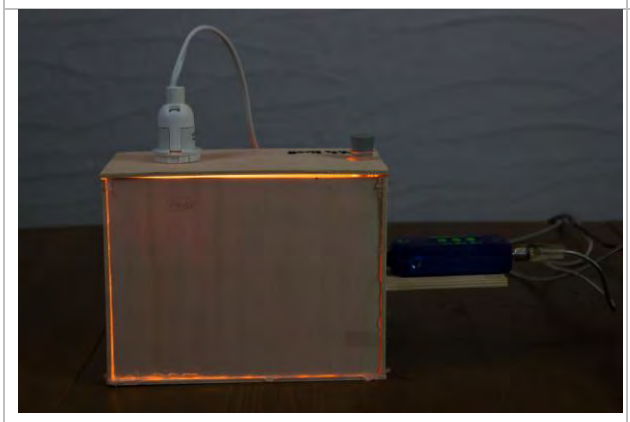
Nr.	Drogenextrakt	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00
BP	**Blindprobe**	0	-49	111	93	7	-124	-95
LP	**Leerprobe**	0	-31	-28	-58	-8	-81	-18

1	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Ethanol	0	21	64	68	35	-33	1
2	**Salbeiblätter** (*Salvia officinalis*)	0	95	212	114	173	38	71
3	**Kamillenblüten** (*Matricaria chamomilla*)	0	-126	-67	-84	-103	-126	-121
4	**Zimtrinde** (*Cinnamomum cassia*)	0	93	0	-5	31	-11	-40
5	**Pelargonienwurzel** (*Pelargonium sidoides*)	0	-37	1	20	24	1	23
6	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	0	13	4	-4	4	-7	5
7	**Zistrosenkraut** (*Cistus creticus eriocephalus*)	0	4	27	24	0	3	-19
8	**Rotes Weinlaub** (*Vitis viniferae*)	0	43	72	74	60	43	106
9	**russisches Estragonkraut** (*Artemisiae dracunculi*)	0	-88	19	62	-17	-87	-32
10	**Traubenkerne** (*Vitis viniferae*)	0	-27	-21	-31	50	-10	20
11	**Thymiankraut** (*Thymus vulgaris*), Wasser	0	-74	70	-109	-4	-42	-33
12	**Pfefferminzblätter** (*Menthae x piperitae*)	0	113	51	66	63	21	58
13	**Zwiebel** (*Allii cepae*)	0	81	73	123	14	-66	-49
14	**Schafgarbenkraut** (*Achillea Millefolium*)	0	-48	-7	44	95	-33	22
15	**Wermutkraut** (*Artemisia absinthium*)	0	-138	-40	-11	47	-117	-117

Bilder









Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Dokumentation zur besonderen Lernleistung selbstständig und nur unter Verwendung der im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen sind als solche gekennzeichnet.

Nils Kröll

Vettelschoß, 24.07.2014