Camerloher-Gymnasium Freising

Qualifizierungsphase 2013 - 15

SEMINARARBEIT

in dem W-Seminar

Pflanzenheilkunde

Thema:

Gewinnung von ätherischen Ölen durch Wasserdampfdestillation - Ausbeutevergleich verschiedener Pflanzen (und Pflanzenteile)

Verfasser: Raphaela Kaiser

Leitfach: Biologie

Kursleiter: Frau Ingeborg Kirmeyer

Abgabetermin: 4. November 2014 **Eingang im Sekretariat der Schule:** _____

Ergebnisse (in Punkten)

Schriftlich (max. 15): _____

Abschlusspräsentation (max. 15): _____

[Gesamtpunktzahl wird nach § 61 (7) GSO berechnet: (schriftlich x 3 + Präsentation) geteilt durch 2]

_____

Datum und Unterschrift des Kursleiters / der Kursleiterin

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis		S. 2
1.	**Einleitung**	S. 4
2.	**Begriffsbestimmung ätherischer Öle**	S. 6
3.	**Arten der Gewinnung**	S. 8
3.1	Wasserdampfdestillation	S. 8
3.2	Fraktionierte Destillation	S. 8
3.3	Co-Destillation	S. 8
3.4	Kaltpressung	S. 9
3.5	Extraktionsverfahren	S. 9
4.	**Anwendung ätherischer Öle**	S. 10
4.1	Innerliche Einnahme	S. 10
4.2	Äußerliche Anwendung	S. 10
4.3	Anwendung ätherischer Öle in der Aromatherapie	S. 11
5.	**Durchführung einer Wasserdampfdestillation**	S. 12
5.1	Verwendung verschiedener Pflanzen	S. 14
5.1.1	Anisfrüchte	S. 16
5.1.2	Eukalyptusblätter	S. 17
5.1.3	Fenchelfrüchte	S. 17
5.1.4	Kamillenblüten	S. 17
5.1.5	Kümmelfrüchte	S. 18
5.1.6	Lavendelblüten	S. 18
5.1.7	Liebstöckel	S. 18
5.1.8	Nelken	S. 19
5.1.9	Pfefferminzblätter	S. 20
5.1.10	Rosenblüten	S. 20
5.1.11	Salbeiblätter	S. 20
5.1.12	Thymiankraut	S. 20
5.1.13	Zimt	S. 21
5.2.	Verwendung unterschiedlicher Pflanzenteile	S. 22
5.2.1	Liebstöckel	S. 22

5.2.2 Pfefferminze S. 22
5.2.3 Rosenblüten S. 23
5.3 Vergleich getrockneter und frischer Pflanzenteile S. 24
5.4 Einfluss des Zerkleinerungsgrades der Pflanze auf die Ausbeute S. 26
5.4.1 Fenchel S. 26
5.4.2 Pfefferminze S. 27
5.5 Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Ausbeute S. 28
5.6 Übersicht über die Ausbeute der untersuchten Pflanzen und Vergleich mit Literaturwerten S. 30
6. Vergleich eines selbst gewonnenen ätherischen Öls mit einem Handelsöl mittels Dünnschichtchromatographie S. 31
7. Schlussbemerkung S. 34
8. Danksagung S. 35
9. Literaturverzeichnis S. 36
10. Abbildungsverzeichnis S. 37
11. Selbständigkeitserklärung S. 38

1. Einleitung

Seit längerer Zeit habe ich Spaß daran, meine Kosmetikprodukte selbst herzustellen. Neben einer pflegenden Wirkung sollten diese Kosmetika auch einen guten Duft haben. Hierfür verwendete ich bis jetzt verschiedene ätherische Handelsöle. Nun fragte ich mich, ob man ätherische Öle nicht auch selbst gewinnen könnte. Dazu erkundigte ich mich nach verschiedenen Möglichkeiten der Gewinnung. Die für mich am besten geeignetste Methode hierfür ist die Wasserdampfdestillation.

Destillationen wurden schon vor langer Zeit durchgeführt. Auch wenn man schätzt, dass die Menschen schon sehr viel früher destilliert haben sollen, werden die Anfänge der Destillation vor etwa 3000 Jahren in Mesopotamien und Ägypten vermutet, da zu dieser Zeit erstmals Belege und Schriften zu diesem Thema angefertigt wurden. Bei den ursprünglichen Destillationen verwendete man eine Art Tiegel aus Ton, der mit einem Deckel verschlossen und kühl gehalten wurde. Die im Gefäß angesammelten Dämpfe kondensierten und wurden mit Hilfe einer Feder oder eines Tuches aufgefangen. [1]
Hierbei lassen sich Parallelen zur modernen Wasserdampfdestillation erkennen, die Gegenstand meiner Seminararbeit ist.

Nachdem ich mich über dieses Thema genauestens informierte, beschäftigte ich mich mit den folgenden Fragen:
Was sind ätherische Öle eigentlich genau? Wie funktioniert eine Wasserdampfdestillation? Welche anderen Gewinnungs-Methoden gibt es? Wo finden wir ätherische Öle in unserem Alltag? Wie genau berechnet man die Ausbeute an ätherischem Öl?
Außerdem wollte ich den quantitativen Ausbeuteunterschied verschiedener Pflanzen und Pflanzenteile feststellen, untersuchte, welchen Einfluss Erntezeitpunkt und Zerkleinerungsgrad der Pflanzen auf die Öl-Ausbeute haben und ob der Gehalt an ätherischem Öl bei frischen Pflanzen im Vergleich zu getrockneten variiert.

[1] Vgl. Möller, Kai: Destillatio. Destillen & Destillieren. Norderstedt, 2005, S. 13

In der hier vorliegenden Seminararbeit mit dem Thema „Gewinnung von ätherischen Ölen durch Wasserdampfdestillation - Ausbeutevergleich verschiedener Pflanzen (und Pflanzenteile)“ sollen zunächst einmal die vorher beschriebenen Fragen beantwortet werden.

Außerdem werden das verwendete Destillationsgerät und dessen Bestandteile vorgestellt und deren Funktionen erklärt.

Zuletzt wird mit Hilfe von Dünnschichtchromatographie selbst gewonnenes Kümmelöl mit einem Handelsöl verglichen. Hiermit soll die Identität dieser im Versuch verwendeten, selbst gepflückten Pflanze geklärt werden.

2. Begriffsbestimmung ätherischer Öle

Ätherische Öle sind stark riechende, leicht flüchtige, ölartige Stoffe, die in vielen Pflanzen vorkommen. Jede Pflanze besitzt dabei einen unverwechselbaren Duft (vergleichbar mit dem Fingerabdruck). Dieser dient der Pflanze dazu, Insekten für die Bestäubung anzulocken, Schädlinge fernzuhalten und sich gegen Krankheiten, die durch Pilze oder Bakterien hervorgerufen werden, zu schützen. Häufig stellt der Duft auch eine Art „Verdunstungsschutz“ für Pflanzen, die einen sonnigen Standort bevorzugen (z.B. Rosmarin, Thymian, Salbei), dar. [2]

Ätherische Öle werden in besonderen Öldrüsen der Pflanzen gebildet und im Pflanzengewebe gespeichert. Die meisten Pflanzen enthalten eine beträchtliche Menge an ätherischen Ölen, die zur Duft-, Arzneimittel- und Aromaherstellung geeignet sind, insbesondere die 3000 Spezies umfassende Familie der Lippenblütler (Rosmarin, Lavendel, Thymian, Minze, Basilikum, Melisse usw.).
Aber auch Doldengewächse wie Anis, Fenchel und Koriander sind allesamt stark ölhaltig. Prinzipiell kann man aus fast allen Pflanzen ätherische Öle gewinnen, nur sind nicht alle Pflanzen gleich ölhaltig und ergiebig. Dies erklärt die Preisunterschiede zwischen Essenzen von z.B. Lavendelöl und Rosenöl. [3]

Das ätherische Öl kann sich in verschiedenen Pflanzenteilen befinden, z.B. in

Blüten:	Rose, Jasmin
Blättern:	Salbei, Rosmarin, Melisse, Minze
Schale:	Zitrone, Orange
Rinde:	Zimtrinde
Holz:	Sandelholz, Zedern
Harz:	Myrrhe
Wurzel:	Ingwer

[2] Vgl. Bocksch, Manfred: Das praktische Buch der Heilpflanzen. München, 4. Auflage, 2003, S. 13
[3] Vgl. Al-Ambik: Ratgeber zum Destillieren. Eiterfeld, 2004-2011, S. 9

Die Chemie der ätherischen Öle

Die Zusammensetzung der ätherischen Öle ist sehr komplex. Sie sind Vielkomponentengemische, die bevorzugt aus Terpenen (ca. 90%), Ester, Alkoholen, Phenolen, Aldehyden, Ketonen, Glucosinolaten, organischen Säuren, Mucopolysacchariden sowie Farbstoffen bestehen. Die Bestandteile wirken synergetisch zusammen.

Duftstoffe sind in der Regel lipophil, d.h. sie reagieren bevorzugt mit Lipiden (Fetten). Wegen ihrer Lipophilie reagieren sie auf molekularer Basis mit den Lipidbestandteilen von Zellmembranen und überwinden sehr gut die Blut-/Hirnschranke. Vor allem die Monoterpene durchdringen leicht die Zellmembranen und können bereits nach wenigen Minuten im Blut nachgewiesen werden.

Echte ätherische Öle besitzen Duft- und Heilwirkung. Künstliche Öle dagegen haben nur Duft-, aber keine Heilwirkung.

Im Gegensatz zu Speiseöl ist das ätherische Öl kein fettes Öl. Gibt man einen Tropfen davon auf Papier, bleibt nach dem Trocknen kein Fettfleck übrig (evtl. etwas Farbe).

Ätherische Öle sind nicht mit Wasser mischbar, daher können sie mittels Wasserdampfdestillation gewonnen werden. Sie sind in Alkoholen, fetten Ölen, Milch und Honig löslich. Auch organische Lösungsmittel wie Hexan, Ether und Tetrachlorkohlenstoff lösen das Öl gut auf. [4]

[4] Aus: Interview mit Apothekerin Frau Ingrid Kaiser

3. Arten der Gewinnung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das flüchtige, ätherische Öl in einer hochkonzentrierten Form aus der Pflanze zu gewinnen:

3.1 Die Wasserdampfdestillation

Die Destillation mit Wasserdampf ist die einfachste und schonendste Gewinnungsmethode von ätherischen Ölen. Diese sind mit Wasserdampf schon weit unter ihrem Siedepunkt (150 – 300°C)[5] flüchtig. Da sie jedoch wasserunlöslich sind, trennen sich die Kondensate automatisch voneinander. Das Destilliergut befindet sich hier also nicht direkt im Wasser, sondern über dem kochenden Wasser. Die leicht flüchtigen Substanzen werden durch den Wasserdampf mitgerissen und strömen mit ihm zusammen bis zur Kühlung. Dort kondensiert das Gemisch wieder und kann aufgefangen werden.[6]

3.2 Die Fraktionierte Destillation

Die Zusammensetzung des Destillats verändert sich während des Destillationsvorgangs. Zu Beginn erhält man die leicht flüchtigen, später folgen die höher siedenden Bestandteile. Wechselt man während des Destillationsvorgangs mehrmals die Auffanggefäße, erhält man damit mehrere Fraktionen des Destillats mit gering veränderter Zusammensetzung.[7]

3.3 Die Co-Destillation

Einige Pflanzen geben ihren Duft nur frei, wenn sie mit anderen Trägerstoffen zusammen destilliert werden. Als Trägerstoffe kommen andere ölhaltige Pflanzen oder direkt ein anderes ätherisches Öl zum Einsatz. Junge Brennnesselblätter, Bergwiesenheu und Algen sind typische co-destillierte Öle. Als pflanzliche Trägerstoffe werden oft Zedern oder Gummibäume genutzt. Gern verwendete Kombinationen von aufeinander abgestimmten Duftpflanzen und Trägerstoffen sind z.B. Mädesüß mit Rosmarin, Zitronenmelisse mit Zitronengras, Orangenblüten mit Bergamottöl.[8]

---

[5] Vgl. Friedland, Jürgen: Arzneiformenlehre für pharmazeutisch-technische Assistenten. Stuttgart, 2. Auflage, 1987, S. 55

[6] Vgl. Malle, Bettina / Schmickl, Helge: Ätherische Öle selbst herstellen. Göttingen, 4. Auflage, 2012, S. 22

[7] Vgl. ebd., S. 23

[8] Vgl. ebd., S. 24

3.4 Die Kaltpressung

Dieses Verfahren wird ausschließlich für Zitrusfrüchte angewendet (die Zitrusaromen sind extrem temperaturempfindlich), damit die Qualität des Öls erhöht wird. Man zerkleinert die Schalen und versetzt sie mit ein wenig Wasser. Nach dem Pressen trennt man in einer Zentrifuge das ätherische Öl vom Wasser. [9]

3.5 Verschiedene Extraktionsverfahren

Hier wird durch ein Extraktionsmittel das Öl aus der Pflanze gewonnen. Man unterscheidet - je nach eingesetztem Extraktionsmittel - zwischen den folgenden Verfahren:

Bei der ***Lösungsmittelextraktion*** wird mit organischen Lösungsmitteln wie z.B. Hexan, Petroläther oder Tetrachlorkohlenstoff gearbeitet.

Bei der ***Enfleurage*** werden Blüten in Schweinefett gedrückt. Das Fett extrahiert die Duftstoffe.

Die ***Mazeration*** funktioniert ähnlich wie eine Enfleurage. Der Unterschied besteht darin, dass bei einer Mazeration neutrales Trägeröl verwendet wird. Wenn das Öl hierbei auf 65°C erhitzt wird, spricht man von einer sog. Infusion.

Die ***Resinoid-Herstellung*** kommt bei Ölgewinnung aus Harzen zum Einsatz. Harz wird hierbei mit Toluol oder Ethanol erhitzt.

Eine weitere Gewinnungsmethode ist die ***Kohlendioxidextraktion.*** Kohlendioxid oder Butan verflüssigen sich unter Druck und lösen das ätherische Öl aus der Pflanze. [10]

[9] Vgl. Malle / Schmickl: Ätherische Öle selbst herstellen, S. 24
[10] Vgl. ebd., S. 25-28

4. Anwendung ätherischer Öle

Haupteinsatzgebiet für ätherische Öle ist die Parfümerie, des Weiteren werden sie gern als Gewürze eingesetzt. Außerdem werden sie auch als Arzneimittel verwendet und sind in sehr vielen Medikamenten enthalten.
Ätherische Öle können vielseitig eingesetzt werden. Man nutzt sie hierbei sowohl innerlich, als auch äußerlich sowie in der Aromatherapie.
Wie alle pharmazeutischen Wirkstoffe müssen auch ätherische Öle sorgfältig dosiert werden, sonst kann es zu Nebenwirkungen wie Übelkeit und Erbrechen bis hin zu schweren Vergiftungen kommen. Unverdünnte ätherische Öle können auf empfindlicher Haut zu Reizungen oder gar Verätzungen führen. Es besteht auch ein hohes Potential an Allergenität. [11]

4.1 Innerliche Einnahme

Besonders geeignet sind ätherische Öle zur Prophylaxe und zur Behandlung leichterer Infekte. Hilfreich sind hierbei die folgenden Eigenschaften:

- entzündungswidrig (z.B. Kamille, Schafgarbe)
- expektorierend – erleichtern das Abhusten (z.B. Anis, Thymian)
- harntreibend (z.B. Wacholder, Liebstöckel)
- krampflösend, blähungswidrig, gärungshemmend (z.B. Kümmel, Fenchel, Pfefferminze)
- beruhigend (z.B. Baldrian, Lavendel, Melisse, Hopfen) [12]

4.2 Äußerliche Anwendung

Der menschliche Körper nimmt ätherische Öle leicht über Haut und Atemtrakt auf. Weil sie hochkonzentriert sind, sollten sie auch äußerlich nur in geringer Dosierung verwendet und nie direkt auf die Haut aufgetragen werden, da sie die Haut zu stark reizen und zu allergischen Reaktionen führen können. [13]

Sie wirken:

- antibakteriell (z.B. Johanniskraut)
- antiviral (z.B. Johanniskraut, Melisse)
- antimykotisch – hilft gegen Pilzerkrankungen (z.B. Oregano) [14]

---

[11] Vgl. Wagner, Hildebert: Pharmazeutische Biologie. Drogen und ihre Inhaltsstoffe. Stuttgart / New York, 4. Auflage, 1988, S. 59
[12] Vgl. ebd., S. 57-58
[13] Vgl. Dr. Stumpf, Ursula: Unsere Heilkräuter. Bestimmen und anwenden. Stuttgart, 2012, S. 16
[14] Vgl. ebd.

4.3 Anwendung ätherischer Öle in der Aromatherapie

Die Ursprünge der Aromatherapie reichen bis in die ägyptische Frühzeit zurück. Schon im Alten Testament findet man dazu Hinweise und Erfahrungen. Auch heute noch wird die Aromatherapie wegen ihrer vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten sehr geschätzt. Sie ist Bestandteil der Phytotherapie. [15]

Duftstoffe können in (auf!) verschiedenen Weisen auf den menschlichen Körper einwirken. Zuerst wird (durch die Duftmoleküle) der Geruchssinn angesprochen, was dann zu einer Sinneswahrnehmung mit allen Nebeneffekten wie Gefühlseindrücken, Erinnerungen sowie der reflektorischen Beeinflussung verschiedener Körperfunktionen führt. [16]

Eigenschaften einiger ausgewählter Beispiele: [17]

Anis:	ausgleichend, wärmend
Fenchel:	entspannend, lösend
Fichtennadel:	aufbauend, kräftigend
Grapefruit:	anregend, erfrischend
Lavendel:	ausgleichend, erfrischend, Insekten abweisend
Kamille:	aufbauend, entspannend
Melisse:	ausgleichend, aufbauend, schenkt Balance
Pfefferminze:	erfrischend, konzentrationsfördernd
Rosmarin:	aktivierend
Salbei:	allgemein stärkend
Thymian:	hilft, geistiges und körperliches Schwächegefühl zu überwinden

Einige Anwendungsmöglichkeiten von ätherischen Ölen in der Aromatherapie:

Verdunsten in Duftlampen/Duftvlies; Vernebeln mit Mikrozerstäubern; Raumsprays; Inhalationen; Saunaaufgüsse; Aromavollbäder; Massageeinreibungen u.v.m.

---

[15] Vgl. Bergland Pharma GmbH: Paradies der Düfte. Folgen Sie Ihrer Nase. Heimertingen / Allgäu, o. J., S. 3

[16] Aus: Interview mit Apothekerin Frau Ingrid Kaiser

[17] Vgl. Bergland Pharma GmbH: Paradies der Düfte. S. 6-17

5. Durchführung einer Wasserdampfdestillation?

Im Idealfall werden ätherische Öle durch Wasserdampf gelöst. Es gibt hierfür spezielle Dampfdestillen, in denen das Pflanzenmaterial nicht direkt in den Kessel, sondern durch ein Sieb, eine Destillationsblase oder einen Aromakorb abgetrennt wird. Nicht kochendes Wasser, sondern Dampf durchdringt die Pflanzen und zieht die ätherischen Öle besonders schonend aus dem Pflanzenmaterial. Die empfindlichen Öle werden somit nicht beschädigt. Weil bei dieser Form der Destillation der Wasserdampf die ätherischen Öle „mitschleppt", wird diese Art der Destillation auch *Schleppdestillation* genannt. Die leicht flüchtigen Substanzen werden also durch den Wasserdampf mitgerissen und strömen mit ihm zusammen bis zur Kühlung. Dort kondensiert das Gemisch wieder. Nach dem Kühlvorgang ist das Destillat flüssig. Es besteht vorwiegend aus dem **Hydrolat** (duftendes Wasser) und einer oben aufschwimmenden dünnen Schicht von **ätherischem Öl**, das man vom Hydrolat abtrennen muss. Man kann dazu eine Messpipette, einen Scheidetrichter oder einen automatischen Ölabscheider verwenden. Bei den Untersuchungen wurde eine 1ml fassende Einmalinsulinspritze verwendet, bei der man die Menge bis auf 0,01ml genau ablesen kann.

Im Hydrolat befinden sich überwiegend die wasserlöslichen Wirkstoffe der Pflanzen, im Öl befinden sich die fettlöslichen Inhaltsstoffe.[18]

Um eine gute Ausbeute zu erhalten muss man folgendes beachten:

1. Nach jeder Destillation sollte man alle Glasgefäße gut reinigen, mit Aceton die Ölreste entfernen und danach alles gut mit Wasser ausspülen.
2. Das Destilliergut sollte in der Destillationsblase nicht zu sehr verdichtet sein, denn sonst kann der Dampf nicht alle Partikel benetzen. Dadurch können diese nicht aufquellen und somit lassen sich die flüchtigen Stoffe auch nicht lösen.
3. Es dürfen aber auch keine größeren Hohlräume im Destilliergut vorhanden sein.
4. Das Wasser sollte möglichst schnell im Kessel erhitzt werden.
5. Das Hydrolat sollte besser in mehreren Portionen aufgefangen werden, damit man den Zeitpunkt der nachlassenden Qualität bemerkt und die Destillation sinnvoll beenden kann.
6. Das Hydrolat bzw. das ätherische Öl sollte in dunklen Glasfläschchen dicht verschlossen, kühl, am besten im Kühlschrank aufbewahrt werden.

[18] Vgl. Möller: Destillatio. S. 130

Die Wasserdampfdestillation wurde für nachfolgende Versuche mit einer **Antonacopoulos Wasserdampf-Destillationsapparatur** durchgeführt: (Fußnote)

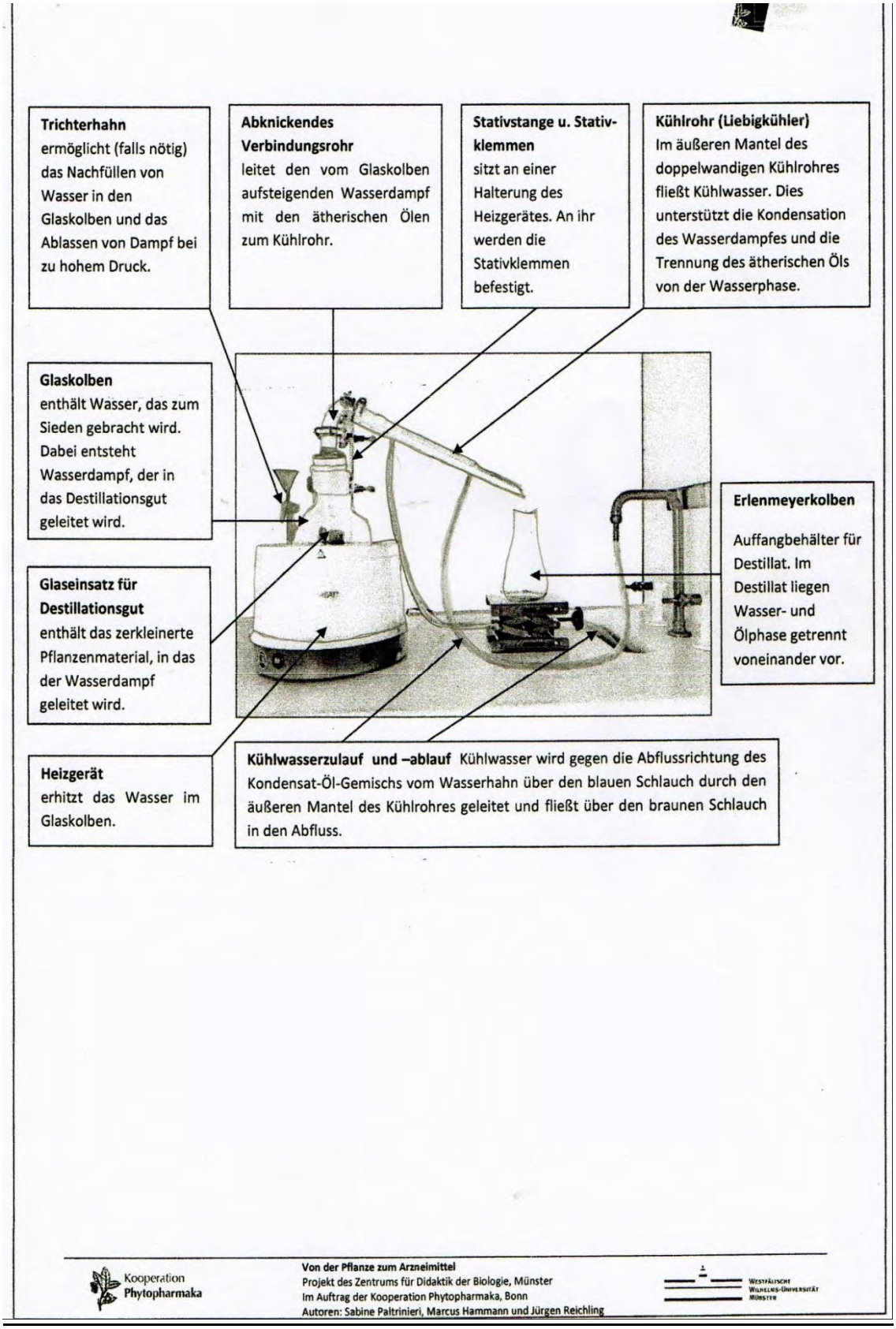


Abbildung 1: Aufbau einer Antonacopoulus Wasserdampf-Destillationsapparatur

5.1 Verwendung verschiedener Pflanzen

Die Löslichkeit von ätherischen Ölen ist in Wasser sehr gering (1:200). Sie reicht jedoch aus, um *aromatisches Wasser* zu erhalten. Dieses **Hydrolat** lässt sich aus sehr vielen Pflanzen gewinnen. [19] Schwieriger gestaltet sich jedoch das Abtrennen des ätherischen Öls vom Hydrolat. Dies gelang nur bei Pflanzen mit einem höheren Gehalt an ätherischem Öl. Von einigen Pflanzen bzw. Pflanzenteilen, wie z.B. Eukalyptus, konnte nur ein aromatisch riechendes Hydrolat gewonnen werden.

Ausbeuteberechnung: (vereinfachte Ausbeuteberechnungen)

Durch die Ausbeuteberechnung kann man den ätherischen Ölgehalt verschiedener Pflanzen miteinander vergleichen. Das Hydrolat wurde in mehreren 5ml-Gläschen aufgefangen, um den richtigen Zeitpunkt zum Beenden der Destillation abzupassen. Den größten Teil des gewonnenen Öls erhält man in den ersten 3 Fläschchen. Bei Pflanzen mit geringer Ausbeute wurde insgesamt 3 Mal destilliert, dann wurde das ganze Hydrolat zusammengegeben und 2-3 Wochen im Kühlschrank (kalt und dunkel) gelagert.
Das Öl wurde dann mit einer 1ml-Einmalinsulinspritze abgezogen. Die Spritze ist so fein, dass man Werte bis 0,01ml ablesen kann.



Abbildung 2: Mit einer 1ml-Einmalinsulinspritze wird das gewonnene ätherische Öl abgezogen.

[19] Vgl. Wagner: Pharmazeutische Biologie. S. 50

Mit folgender Gleichung kann die Ausbeute des gewonnenen ätherischen Öls berechnet werden:

$$\frac{\text{Ölmenge (ml) x 100}}{\text{Pflanzenmenge (g)}} = \text{Ausbeute in \%}$$

Die Dichte des Öls wird bei dieser vereinfachten Berechnung nicht berücksichtigt. [20]

[20] Vgl. Malle / Schmickl: Ätherische Öle selbst herstellen. S. 68

5.1.1 Anisfrüchte:

70g getrocknete Anisfrüchte wurden in der Mühle gemahlen und destilliert. Die Ausbeute betrug 1,3ml Öl, auch das Hydrolat roch typisch nach Anis.

Ausbeute: ***1,4%*** 1,8%

Besonderheit bei Anis:

Das Anisöl ist bei Zimmertemperatur flüssig, im Kühlschrank jedoch erstarrt es und ähnelt gefrorenen Eisflocken. Beim Erwärmen schmelzen diese wieder ganz schnell und sehen dann wie Öltropfen aus.
Diese Besonderheit ermöglichte es, das Öl vom Hydrolat abzutrennen, indem man es im erstarrten Zustand mit einem Spatel aus dem Glasfläschchen herausholt und schnell in ein Aromaglas zur Volumenbestimmung und zur Aufbewahrung gibt.



Abbildung 3: Hier kann man das im Kühlschrank erstarrte ätherische Öl sehen.

5.1.2 Eukalyptusblätter: Die Destillation ergab nur Hydrolat.

5.1.3 Fenchelfrüchte: siehe 5.4.1

5.1.4 Kamillenblüten:

Sowohl bei frischen, als auch bei getrockneten Kamillenblüten gelang es nicht, quantitative Mengen an ätherischem Öl zu erhalten. Bei qualitativ hochwertigen Kamillenblüten aus der Apotheke erhielt man jedoch im Destillat dickflüssige, dunkelblaue „Flocken“. Hierbei muss es sich um **Azulen** handeln, dem „Hauptwirkstoff“ von Kamille. Dieser Stoff haftet so fest an Oberflächen von Glas, Pipette, Spritze oder Deckel, dass er nicht quantitativ gemessen werden konnte.

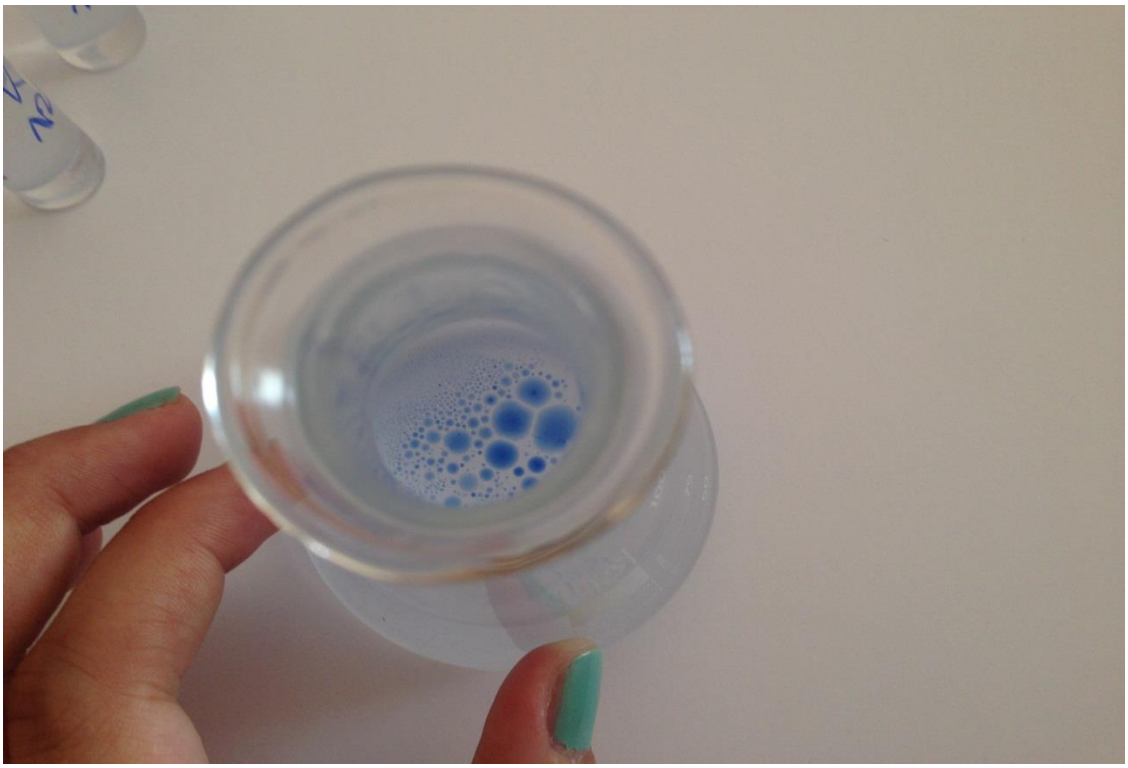


Abbildung 4: Deutlich sichtbar ist hier das blaue Azulen.

5.1.5 Kümmelfrüchte:

50g getrocknete Früchte wurden kurz gemahlen und dann destilliert, die Ausbeute betrug 0,9ml.

Ausbeute: ***1,8%***

In 5.3 werden später verschiedene Kümmelfrüchte mittels Dünnschicht-chromatographie untersucht.

5.1.6 Lavendelblüten:

Frische Lavendelblüten wurden zu dem Zeitpunkt geerntet, an dem die Rispen der Blüten zu verblühen begannen. Dann wurden die Pflanzen gebündelt und 3 Tage getrocknet. Für die Destillation wurden nur die Blüten verwendet, weil davon eine höhere Ausbeute erhofft wurde. Das wohlriechende Hydrolat aus 50g Blüten ergab 0,45ml Ölausbeute.

Ausbeute: ***0,9%***



Abbildung 5: Frisch gepflückter Lavendel aus dem Garten

5.1.7 Liebstöckel: siehe 5.2.1

5.1.8 Nelken:

Verwendet wurden je 25g getrocknete Nelkenblüten (Flores Caryophylli) aus dem Supermarkt und aus der Apotheke. Die Nelken aus dem Supermarkt hatten zwar auch den charakteristischen Geruch, für die Wasserdampfdestillation reichte die Qualität allerdings wohl nicht aus, es ließ sich kein Öl gewinnen. Bei den Nelkenblüten aus der Apotheke hingegen war die Ausbeute groß. Die besten Ergebnisse erzielt man, wenn man die ganzen Nelkenblüten kurz in einer Mühle mahlt.
Das Destillat wurde in 10 kleinen, braunen Glasfläschchen aufgefangen. Bereits nach kurzer Zeit konnte man erkennen, dass sich kleine Öltröpfchen bildeten. Da das Nelkenöl schwerer als Wasser ist, wanderten diese auf den Boden der Fläschchen. Bereits nach mehreren Stunden bildete sich aus den kleinen Tröpfchen ein einziger großer Tropfen.
Nach 3 Wochen Aufbewahrung im Kühlschrank wurde von jedem einzelnen Glas das Öl vom Hydrolat mit Hilfe einer Spritze abgetrennt: zuerst wurde das überstehende Hydrolat abgesaugt und verworfen, danach das Öl (als ein großer Tropfen) vorsichtig in die Spritze gezogen und in ein sauberes Gläschen gegeben. Aus 25g Nelkenblüten erhielt man ca. 2,1ml gelb-braunes, ätherisches Öl
Ausbeute: **8,4 %**

Ergebnis: Nelkenblüten sind sehr reich an ätherischem Öl



Abbildung 6: Da Nelkenöl schwerer ist als Wasser, lagert es sich am Boden der Glasfläschchen ab.

5.1.9 Pfefferminzblätter: siehe 5.2.2; 5.4.2; 5.5

5.1.10 Rosenblüten: nur Hydrolat, siehe 5.2.3

5.1.11 Salbeiblätter: siehe 5.3

5.1.12 Thymiankraut:

Nach der Destillation von 40g getrocknetem Thymiankraut erhält man als Ausbeute 0,44ml ätherisches Öl. Hydrolat und Öl riechen sehr intensiv und aromatisch.
Das Hydrolat ist nach der Destillation leicht hellbraun. Nach ca. 2 Wochen Aufbewahrung in dunklen Glasflaschen im Kühlschrank verfärbt es sich orange-braun, in der Mitte des Glasfläschchens sieht man einen dunkelbraunen Fleck.

Ausbeute: ***1,1%***



Abbildung 7: In der Mitte der Gläschen sieht man gut die orange-bräunliche Färbung.

5.1.13 Zimt:

Verwendet wurden 3 x 30g getrocknete Zimtstangen aus der Apotheke. Vor der Destillation wurde die Droge kräftig unter einem Tuch mit dem Hammer zerkleinert. Dann wurde 3 x destilliert und das gesamte Hydrolat (schwach hellgelb) wurde in den Kühlschrank gegeben. Es roch sehr gut und intensiv nach Zimt. Nach ungefähr 2-3 Wochen konnte man am Boden des Glasfläschchens einen kristallinen Niederschlag sehen. Durch Schütteln löst sich dieser wieder auf und bildet kleine Öltröpfchen am Boden. Die Abtrennung vom Hydrolat war deshalb etwas schwierig bzw. ungenau, die Ausbeute betrug schätzungsweise 0,54ml.

Ausbeute: **0,6%** (Dichte: 1,006-1,044 g/cm³)

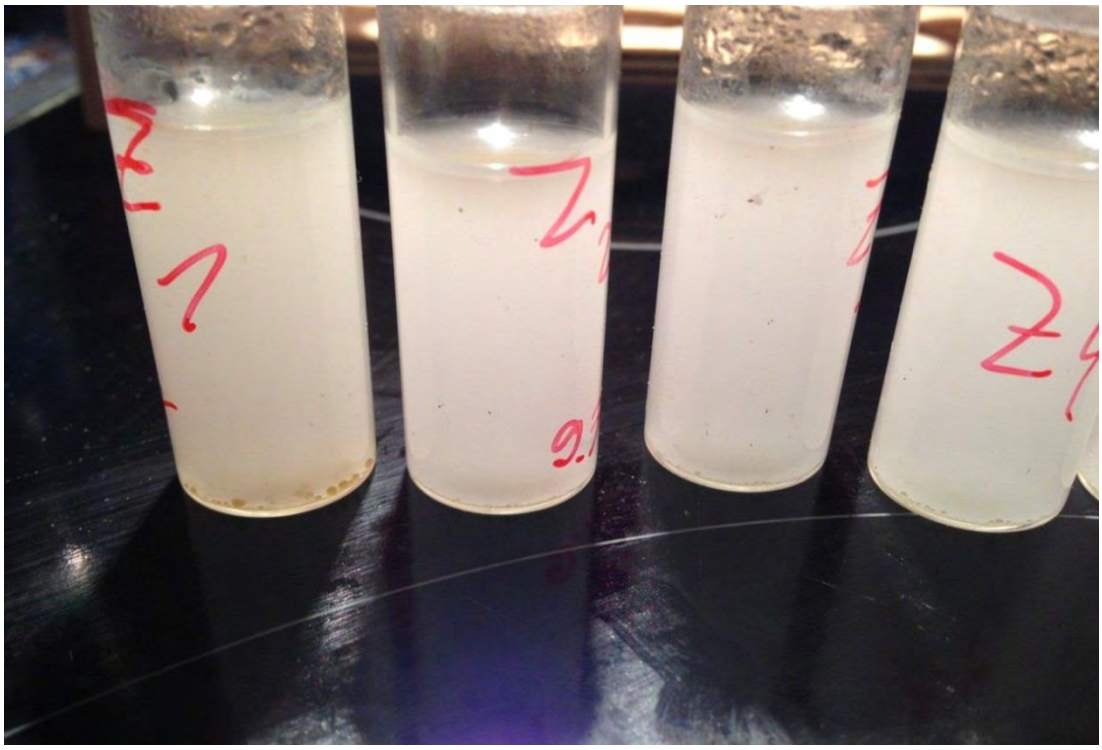


Abbildung 8: Kleine Zimtöltröpfchen lagern sich am Boden des Glases ab.



Abbildung 9: Der kristalline Niederschlag des Zimtöls am Glasboden ist gut sichtbar.

5.2 Verwendung unterschiedlicher Pflanzenteile

Ätherische Öle werden von vielen Pflanzen vor allem in Blättern, Blüten, Früchten, Wurzeln, Rhizomen und Hölzern gebildet. Folgende Pflanzenteile wurden für die Destillationen verwendet:

Blätter:	Pfefferminze, Eukalyptus, Rosmarin
Blüten:	Kamille, Nelken, Lavendel
Kraut:	Thymian
Früchte, bzw. Samen:	Fenchel, Anis, Kümmel
Wurzeln:	Liebstöckel
Rinden:	Zimt

5.2.1 Liebstöckel:

Hierfür wurden 3 x 30g frische Blätter (aus dem eigenen Garten) kleingeschnitten und sofort destilliert. Das Destillat hat zwar, charakteristisch für Liebstöckel, nach „Maggie“ gerochen (also liegt hier ätherisches Öl vor), doch die Ausbeute an ätherischem Öl war nicht so hoch. Es reichte lediglich für ein aromatisches Hydrolat.
Dann wurden 30g frische Liebstöckelwurzel der gleichen Pflanze ebenfalls kleingeschnitten und destilliert und der Vorgang 2x wiederholt. Es roch dabei noch intensiver und das ätherische Öl hatte eine schwachgelbliche Farbe. Die Öl-Ausbeute aus den drei Destillationsvorgängen betrug insgesamt ca. 0,24ml.

Ausbeute: **0,27%**

5.2.2 Pfefferminze:

Aus insgesamt drei Destillationen von je 30g frischen, kleingeschnittenen Pfefferminzblättern betrug die Ausbeute insgesamt 0,72ml.

Ausbeute: **0,8%**

Aus 30g frischen, kleingeschnittenen Pfefferminzstängeln bekam man nur ein aromatisches Hydrolat, d.h. hier war ätherisches Öl vorhanden, aber aufgrund der zu geringen Menge nicht abzutrennen.
Aus 30g frischer, kleingeschnittener Pfefferminzwurzel erhielt man kein aromatisches Hydrolat, also kann hier kein ätherisches Öl nachgewiesen werden.

5.2.3 Rosenblüten:

Aus 3 x 30g frischen, kleingeschnittenen Rosenblüten wurde nur ein angenehm riechendes Hydrolat gewonnen. Aus der gleichen Menge kleingeschnittener Stängel und Blätter entstand kein aromatisches Hydrolat.



Abbildung 10: Hier werden gerade frische Rosenblüten destilliert.

Ergebnis: Ätherische Öle werden von den Pflanzen überwiegend in Blättern, Blüten, Früchten, Wurzeln, Rhizomen und Hölzern gebildet. In manchen Pflanzen sind sie streng auf bestimmte Pflanzenteile beschränkt, in anderen Pflanzen kommen sie in allen Gewebeteilen vor. [21]

[21] Vgl. Wagner: Pharmazeutische Biologie. S. 48

5.3 Vergleich getrockneter und frischer Pflanzenteile

Salbei:

Für diesen Versuch wurden mehrere Salbeipflanzen der gleichen Sorte gekauft. Zuerst wurden 50g frische Salbeiblätter gepflückt und bei 35°C im Heißluftherd getrocknet, dabei wurden regelmäßig die Blätter gewendet. Der Trockenvorgang ist beendet, wenn sich die Blätter in der Hand leicht zerreiben lassen. Nach dem Trocknen wogen die Blätter nur noch 10g, d.h. die frischen Blätter enthalten 5 x so viel Wasser wie im getrockneten Zustand.

Aus 50g frischen, kleingeschnittenen Salbeiblättern erhielt man 0,4ml durchsichtiges, charakteristisch riechendes Öl.

Ausbeute: **0,8%**

Aus 15g getrockneten Salbeiblättern, die ursprünglich auch 50g gewogen haben, konnte so gut wie keine Ausbeute erhalten werden, lediglich Hydrolat. Deshalb wurden dann sehr viele Salbeiblätter getrocknet, sodass 50g getrocknete Blätter destilliert werden konnten, was somit eigentlich 250g frischen Blättern entsprach. Die Ausbeute betrug 0,24ml.

Ausbeute: **0,5%**



Abbildung 11: Frischer Salbei



Abbildung 12: Getrockneter Salbei

Ergebnis: Pflanzen enthalten viel Wasser. Durch das Trocknen von Heilpflanzen will man ihnen das Wasser entziehen und sie somit quasi haltbar machen. Damit soll verhindert werden, dass pflanzeneigene Enzyme die Wirkstoffe umwandeln oder abbauen. Deshalb muss man Pflanzen nach der Ernte schnell und zügig trocknen, entweder an einem luftigen, schattigen Platz oder bei künstlicher Wärme (z.B. im Backofen). Trocknen in der prallen Sonne oder über 35°C im Backofen sind zu vermeiden, da sich dadurch die ätherischen Öle verflüchtigen können. Wichtig ist beim Trocknen auch eine gute Luftzirkulation. Damit verhindert man eine Gärung oder Fermentierung. Der Trocknungsprozess reicht allerdings nicht immer aus, um die Enzymtätigkeit zu stoppen.

Aus frischen Pflanzen gewinnt man mehr ätherisches Öl als aus getrockneten Pflanzen. [22]

[22] Vgl. Apotheker Pahlow, Manfred: Das grosse Buch der Heilpflanzen. München, 1993, S. 23

5.4 Einfluss des Zerkleinerungsgrades der Pflanze auf die Ausbeute

5.4.1 Fenchel:

Verwendet wurde getrockneter Fenchelsamen.

- Ausbeute aus 50g Fenchel, im Mörser leicht angestoßen: 0,9ml

  Ausbeute: **1,8%**
- Ausbeute aus 50g Fenchel, vor der Destillation in der Mühle zerkleinert: 1,5ml

  Ausbeute: **3,0%**

➔ ***Ergebnis*:** höhere Ausbeute beim Zerkleinern des Fenchelsamens in der Mühle



Abbildung 13: Bei den ersten zwei Fläschchen kann man sehr gut das oben aufschwimmende Fenchelöl sehen. Im milchig-trüben Destillat der restlichen Glasgefäße befinden sich noch feinst verteilte Öltröpfchen, die sich erst nach einigen Tagen auf der Hydrolatoberfläche sammeln.

5.4.2 Pfefferminze:

Anders sieht es bei Pfefferminzblättern aus:

- Ausbeute aus 30g kleingeschnittenen, frischen Pfefferminzblättern: 0,24ml
  Ausbeute: **0,8%**
- Ausbeute aus 30g frischer, in der Mühle zerhackter Pfefferminzblätter: 0,18ml
  Ausbeute: **0,6%**

➔ ***Ergebnis*:** geringere Ausbeute durch Zermahlen der frischen Blätter in der Mühle

Erklärung: Zerkleinern ist im Prinzip nichts anderes als eine Beschleunigung des *Extraktionsvorgangs*. Unter Extraktion versteht man das Herauslösen einzelner Bestandteile oder Inhaltsstoffe einer Pflanze. Das Pflanzengewebe wird durch das Zerkleinern teilweise zerschnitten oder zerrissen. Somit kann der Dampf schneller und besser in die eingelagerten Wirkstoffe gelangen. Je feiner die Droge zerschnitten wird, desto mehr Zellen werden zertrümmert. Dadurch kann mehr Zellinhalt ausgewaschen werden. Früchte und Samen, die meist reich an ätherischen Ölen sind, sollten angestoßen bzw. zermahlt werden, da dadurch die sonst schwer zugänglichen Ölgänge geöffnet werden. Ein Zerquetschen bei „empfindlichen" Pflanzenteilen führt hingegen zu einer geringeren Ausbeute, da das ätherische Öl aufgrund der großen Oberfläche aus den zerschnittenen/ zerquetschten Pflanzenteilen zu schnell verdunstet. [23]

[23] Vgl. Bauer, Kurt H. / Frömming, Karl-Heinz / Führer, Claus: Pharmazeutische Technologie. Stuttgart, 9. Auflage, 2012, S. 640

Je geringer der Anteil an ätherischem Öl in einer Pflanze ist, desto mehr beeinflusst der Zerkleinerungsgrad die Ausbeute.



Abbildung 14: Selbstgewonnenes Pfefferminzöl

5.5 Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Ausbeute

Auch hierfür wurden mehrere Pfefferminzpflanzen der gleichen Sorte verwendet. Die Pflanzen standen 3 Wochen in der Sonne. 50g frische, kleingeschnittene Pfefferminzblätter wurden zur Mittagszeit geerntet und anschließend destilliert. Bereits das Hydrolat roch kräftig nach Minze, die Ausbeute betrug 0,4 ml.

Ausbeute: **0,8%**

Dann wurde nach ein paar Tagen Regenwetter mit ebenfalls 50g frischen, kleingeschnittenen Pfefferminzblättern eine Destillation durchgeführt. Das Hydrolat roch nicht so aromatisch, auch die Ausbeute war viel geringer, gerade einmal 0,15ml Öl konnten abgetrennt werden.



Ausbeute: **0,3%**

Abbildung 15: Frisch gepflückte Pfefferminze

Ergebnis: Durch den Einfluss von Sonnenlicht erhält man eine deutlich höhere Ausbeute an ätherischem Öl (vermutlich beeinflusst die Sonneneinstrahlung auch die Synthese anderer Inhaltsstoffe).

Erklärung: Wirkstoffgehalt und Wirkstoffzusammensetzung einer Pflanze sind stark von äußeren Faktoren und vom Entwicklungszentrum abhängig. Die Drogenqualität wird maßgeblich vom Erntezeitpunkt bestimmt. [24]

Optimaler Erntezeitpunkt ist bei:

- Blättern und Kraut: kurz vor oder während der Blütezeit
- Blüten: wenn sie voll entfaltet sind
- Früchten und Samen: wenn sie in der Vollreife sind
- Wurzeln: im Spätherbst oder Frühling. [25]

[24] Vgl. Wagner: Pharmazeutische Biologie. S. 11
[25] Vgl. ebd.

5.6 Übersicht über die Ausbeute der untersuchten Pflanzen und Vergleich mit Literaturwerten

Abbildung 16: Vergleich ermittelter Werte mit Literaturwerten

Versuchsmaterial	Eigene Werte in %	Literaturwerte in % [26]
Anisfrüchte getrocknet	1,4	2,0-6,0
Fenchelfrüchte getrocknet und gemahlen	3,0	5,0-7,0
Kümmelfrüchte getrocknet	1,8	2,5-7,0
Lavendelblüten frisch	0,9	1,0-3,0
Liebstöckelwurzel frisch	0,27	0,6-1,0
Nelkenblüten getrocknet	8,4	14,0-20,0
Pfefferminzblätter frisch	0,8	1,3-2,1
Salbeiblätter frisch	0,8	1,3-2,6
Thymiankraut getrocknet	1,1	0,75-6,3
Zimtrinde getrocknet	0,6	1,0-1,5

[26] Vgl. Wagner, Hildebert / Bladt, Sabine / Zgainski, Eva Maria: Drogenanalyse. Berlin / Heidelberg / New York, 1983, S. 9-13

6. Vergleich eines selbst gewonnenen ätherischen Öls mit einem Handelsöl mittels Dünnschichtchromatographie

Um sicher zu sein, dass es sich bei den selbstgepflückten Kümmelfrüchten auch wirklich um echten Kümmel handelt, wurde die Identität durch eine **Dünnschichtchromatographie** (DC) bestimmt. Eine Dünnschichtchromatographie ist ein Verfahren zum Trennen von Stoffen. Damit kann man eine Identifizierung von Drogen vornehmen. Hierzu trägt man am unteren Rand einer mit Kieselgel oder Aluminiumoxid beschichteten Platte (oder Folie) die Lösung der zu untersuchenden Substanz punktförmig auf. Die Trägerplatte wird in eine dicht schließende Kammer, deren Boden mit einem Laufmittel bedeckt ist, gestellt. Durch das Laufmittel werden dabei die verschiedenen Bestandteile unterschiedlich weit transportiert. Nach dem Beenden der Trennung können die getrennten Substanzen durch Ansprühen mit speziellen Reagenzien oder durch UV-Bestrahlung als Flecken sichtbar gemacht werden. [27]

Die folgenden Vorgaben für die Durchführung der Dünnschichtchromatographie stammen aus J. Wolfs Buch „Mikro-Dünnschicht-Chromatographie: [28]

DC:	Micro-DC, Laufstrecke ca. 6cm, Laufzeit etwa 12 Minuten
Schicht:	DC-Platten Polygram Polyamid-6
Fließmittel:	9,7 ml Toluol und 0,3 ml Ethylacetat
Untersuchungslösung U:	3 Tropfen des zu untersuchenden Öls werden in 3ml Toluol gelöst, davon werden 1µl punktförmig aufgetragen
	R = Referenzlösung aus Oleum Carvi Ph.Eur.7.0
	K1 = Kümmelöl (Gartenkümmel)
	K2 = Kümmelöl (Wiesenkümmel?)
	K3 = Kümmelöl (Apothekenkümmel)
	K4 = Kümmelöl (Kümmelpulver aus dem Supermarkt)

[27] Vgl. Redaktion Schule und Lernen: Schülerduden Chemie. Mannheim, 6. Auflage, 2007, S. 120
[28] Vgl. Wolf, Jürgen: Mikro-Dünnschicht-Chromatographie. Eschborn, 3. Auflage, 2012, S. 162

Nachweis: die DC-Platte wird unter dem Abzug getrocknet (Fön), danach im UV-Licht bei 254nm ausgewertet

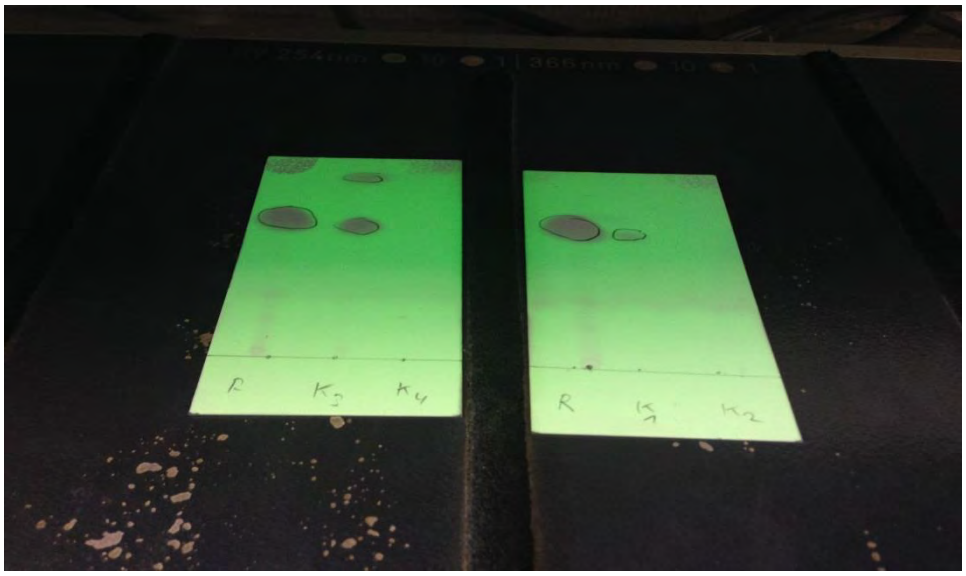


Abbildung 17: Die trockene DC-Platte wird unter UV-Licht mit 254nm betrachtet.

Anschließend wird die DC-Platte mit *Anisaldehydreagenz R* besprüht, erneut getrocknet und auf einer Heizplatte bei ca. 100°C erhitzt, bis alle Zonen farblich gut entwickelt sind.

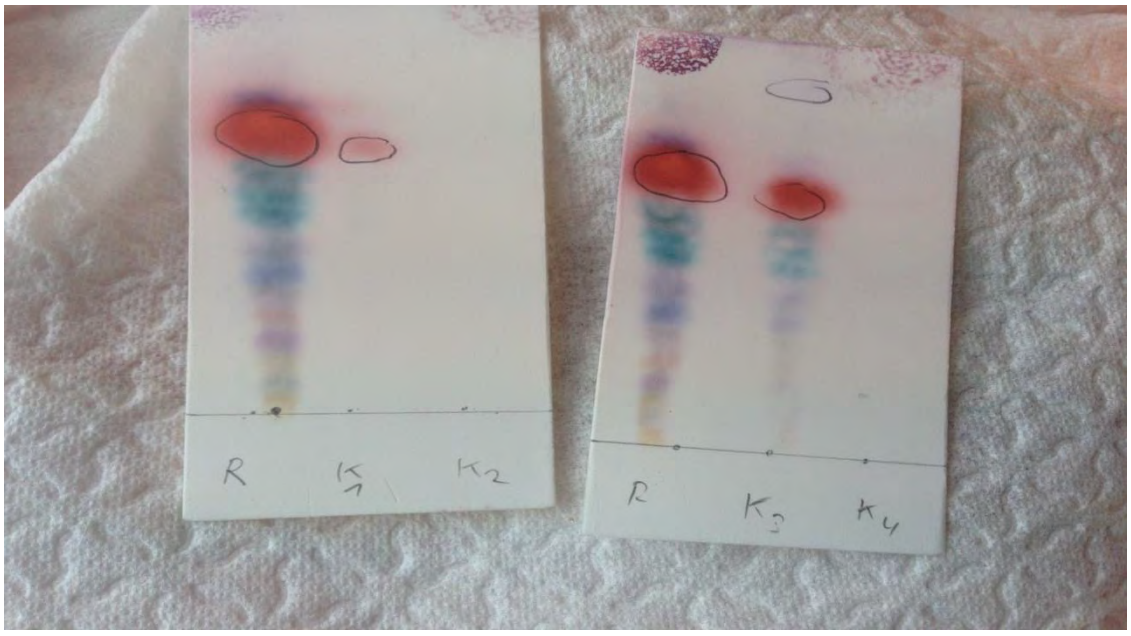


Abbildung 18: Nachdem die DC-Platte erwärmt wurde, sind die einzelnen Bestandteile des jeweiligen ätherischen Öls durch verschiedene farbliche Zonen erkennbar.

Auswertung:

Bei der Referenzlösung R zeigt sich im UV-Licht die fluoreszensmindernde Zone des Carvons (Hauptinhaltsstoff und Geruchsträger des ätherischen Kümmelöls). Nach Besprühen mit Anisaldehydreagenz und Erhitzen färbt sich diese rotbraun. Darunter erscheinen kleinere, rosa, blau oder violett gefärbte Zonen.

Untersuchungslösung K1: die für Kümmelöl charakteristische Carvon-Zone ist sowohl im UV-Licht, als auch nach Detektion deutlich sichtbar; die Identität ist eindeutig

Untersuchungslösung K2: hier erscheint überhaupt kein Fleck; wie schon vermutet, handelt es sich bei diesen Früchten nicht um Kümmel, sondern wahrscheinlich eher um Wilde Möhre

Untersuchungslösung K3: das ätherische Öl aus dem Apothekenkümmel zeigt im Chromatogramm fast identische Zonen wie die Referenzlösung, d.h. diese Kümmelfrüchte haben eine sehr gute Qualität

Untersuchungslösung K4: das Chromatogramm zeigt weder die Zone des Carvons, noch andere, d.h. aus dem Kümmelpulver aus dem Supermarkt konnte man kein ätherisches Öl gewinnen; offensichtlich hat das Pulver eine mindere Qualität

7. Schlussbemerkung

Die Wasserdampfdestillation ist ein relativ einfaches Verfahren zur Gewinnung ätherischer Öle. Man kann aus sehr vielen verschiedenen Pflanzen und Pflanzenteilen Öl destillieren. Die zur Verfügung gestellte Antonacopoulos Wasserdampf-Destillationsapparatur eignete sich bestens, um die Untersuchungen auch in der heimischen Küche durchzuführen.

Auch wenn die Ausbeute an ätherischem Öl teilweise zu gering war, um die Menge quantitativ zu erfassen, erhielt man nahezu immer ein aromatisches Hydrolat.
Die größte Ausbeute lieferte mit Abstand die Destillation von Nelkenblüten. Aber auch Anis-, Fenchel- und Kümmelfrüchte sind reich an ätherischem Öl.

Die durchgeführten Destillationen ergaben, dass die Ausbeute bei frischen Pflanzen höher liegt als bei getrockneten. Der Ätherisch-Öl-Gehalt einer Pflanze wird außerdem wesentlich von der Sonneneinstrahlung beeinflusst. Je nach eingesetzter Droge nimmt auch der Zerkleinerungsgrad Einfluss auf die Ausbeute an ätherischem Öl.

Obwohl die in 5.6 aufgelisteten theoretischen Werte höher sind als die selbständig ermittelten, ist die Ausbeute dennoch relativ hoch, vor allem wenn man bedenkt, dass die eingesetzten Pflanzen zum Großteil selbst gepflückt wurden und keine standardisierte Arzneiware darstellten. Demzufolge war die Identität der jeweiligen Drogen vor der Destillation nicht eindeutig geklärt. Am Beispiel von Kümmel wurde dessen Identität im Nachhinein mit Hilfe einer Dünnschicht-Chromatographie geklärt bzw. ausgeschlossen.

Mit dem Ergebnis meiner Destillationen bin ich sehr zufrieden, da ich so große Mengen an ätherischen Ölen bzw. Hydrolaten erhalten habe, dass ich damit genügend eigene Kosmetika mit wohlriechenden Düften herstellen kann.

8. Danksagung

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle zunächst einmal bei der Kooperation Phytopharmaka, die meiner Schule, dem Camerloher-Gymnasium Freising, die Bildungskiste zur Verfügung gestellt hat. Die darin enthaltene Antonacopoulos-Apparatur ermöglichte mir die problemlose Durchführung von Wasserdampf-destillationen.

Besonderer Dank gilt außerdem der PTA-Schule in München, die mir die Möglichkeit gab, ihr Labor und die benötigten Materialien für die Durchführung einer Dünnschichtchromatographie zu nutzen.

9. Literaturverzeichnis

- Al-Ambik: Ratgeber zum Destillieren. Verlag Editorial UNICO, Eiterfeld, 2004-2011
- Bauer, Kurt H. / Frömming, Karl-Heinz / Führer, Claus: Pharmazeutische Technologie. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, Stuttgart, 9. Auflage, 2012
- Bergland Pharma GmbH: Paradies der Düfte. Folgen Sie Ihrer Nase. Heimertingen / Allgäu, o. J.
- Bocksch, Manfred: Das praktische Buch der Heilpflanzen. BLV Verlagsgesellschaft, München, 4. Auflage, 2003
- Friedland, Jürgen: Arzneiformenlehre für pharmazeutisch-technische Assistenten. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 1987
- Apothekerin Kaiser, Ingrid: Interviewpartnerin
- Malle, Bettina / Schmickl, Helge: Ätherische Öle selbst herstellen. VERLAG DIE WERKSTATT, Göttingen, 4. Auflage, 2005
- Möller, Kai: Destillatio. Destillen & Destillieren. Verlag Editorial UNICO, Norderstedt, 2005
- Apotheker Pahlow, Manfred: Das grosse Buch der Heilpflanzen. Verlag Gräfe und Unzer, München, Neuauflage 1993
- Redaktion Schule und Lernen: Schülerduden Chemie. Dudenverlag, Mannheim, 6. Auflage, 2007
- Dr. Stumpf, Ursula: Unsere Heilkräuter. Bestimmen und anwenden. Verlag KOSMOS, Stuttgart, 2012
- Wagner, Hildebert / Bladt, Sabine / Zgainski, Eva Maria: Drogenanalyse. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg / New York, 1983
- Wagner, Hildebert: Pharmazeutische Biologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart / New York, 4. Auflage, 1988
- Wolf, Jürgen: Mikro-Dünnschicht-Chromatographie. Govi-Verlag, Eschborn, 3. Auflage, 2012

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entnommen aus: Paltrinieri, Sabine / Hammann, Marcus / Reichling, Jürgen: Von der Pflanze zum Arzneimittel. Projekt des Zentrums für Didaktik der Biologie. Münster	S. 13
Abbildung 2:	Eigene Aufnahme	S. 14
Abbildung 3:	Eigene Aufnahme	S. 16
Abbildung 4:	Eigene Aufnahme	S. 17
Abbildung 5:	Eigene Aufnahme	S. 18
Abbildung 6:	Eigene Aufnahme	S. 19
Abbildung 7:	Eigene Aufnahme	S. 20
Abbildung 8:	Eigene Aufnahme	S. 21
Abbildung 9:	Eigene Aufnahme	S. 21
Abbildung 10:	Eigene Aufnahme	S. 23
Abbildung 11:	Eigene Aufnahme	S. 24
Abbildung 12:	Eigene Aufnahme	S. 24
Abbildung 13:	Eigene Aufnahme	S. 26
Abbildung 14:	Eigene Aufnahme	S. 28
Abbildung 15:	Eigene Aufnahme	S. 28
Abbildung 16:	Eigene Tabelle	S. 30
Abbildung 17:	Eigene Aufnahme	S. 32
Abbildung 18:	Eigene Aufnahme	S. 32

11. Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

……, den ……. ……..