

Fabian Heussler,  
betreut von  
Christine Keller

Maturaarbeit  
Gymnasium Hofwil  
2012  
175 b  
3053 Münchenbuchsee

## SCHARFE ANGELEGENHEIT

Die Wirkung von Capsaicin und einem eigens hergestellten  
Chili-Extrakt auf Bakterien der menschlichen Körperflora

## Danksagung

Meinen grössten Dank möchte ich meiner Betreuerin Frau Christine Keller aussprechen. Für mich war es eine sehr angenehme Zusammenarbeit, da ich zum einen den praktischen Teil der Arbeit und das Verfassen des schriftlichen Teils weitgehend selbst bestimmen konnte, andererseits aber jederzeit bei Unsicherheiten und Fragen ganz spontan Rat einholen konnte.

Bei Herrn Streit bedanke ich mich für die Hilfe bei der Herstellung des Chili-Extrakts und die Einführung in das Soxhlett-Verfahren.

Des weiteren möchte ich mich ebenfalls sehr herzlich bei Herrn Dr. Torsten Ochsenreiter vom zellbiologischen Institut der Universität Bern dafür bedanken, dass ich fast den gesamten praktischen Teil unter seiner Aufsicht machen konnte.

Zudem möchte ich mich auch noch bei meinen Eltern für angeregte Diskussionen, moralische Unterstützung und Hilfestellungen zur Einhaltung des Zeitplans danken.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1 Persönlicher Bezug zum Thema	4
1.2 Ziel der Arbeit	5
<b>2 Chilis und Capsaicin</b>	<b>6</b>
2.1 Herkunft und Verbreitung der Chilis	6
2.2 Botanische Klassifizierung	8
2.3 Capsaicin, der Stoff der die Chilis scharf macht	10
2.4 Messung der Schärfe	11
2.5 Verschiedene Verwendungszwecke	15
2.5.1 Verwendung als Nahrungsmittel	15
2.5.2 Verwendung in der Medizin	16
2.5.3 Weitere Verwendungen	18
2.6 Einfluss des Capsaicins auf die Bakterienflora des Menschen	18
<b>3. Bakterienwachstum in Flüssigkulturen bei verschiedenen Capsaicin- und Chili-Extrakt-Konzentrationen</b>	<b>20</b>
3.1 Vorversuche und Versuchsvorbereitungen	20
3.1.1 Herstellung des Chili-Extrakts	20
3.1.2 Überführung des kommerziellen Capsaicins sowie des Chili-Extrakts in Lösung	22
3.1.3 Verwendete Bakterien	23
3.2 Testreihe	23
3.2.1 Erstellung einer Wachstumskurve	23
3.2.2 Versuchsaufbau	24
- Capsaicin-Konzentrationen	24
- Chili-Extrakt-Konzentrationen	24
3.3 Vorgehen	25

4	Resultate	26
4.1	Wirkung von Capsaicin auf das Bakterienwachstum	26
4.1.1	Bakterienisolat der Ohren	26
4.1.2	<i>E. coli</i> (Bl 21)	27
4.1.3	<i>B. subtilis</i>	28
4.2	Wirkung des Chili-Extrakts auf das Bakterienwachstum	29
4.2.1	<i>E. coli</i> (Bl 21)	29
4.2.2	<i>B. subtilis</i>	31
5	Diskussion	32
5.1	In der Praxis zu erwartende Effekte des Capsaicins auf die verschiedenen Bakterienstämme	32
5.1.1	Bakterienisolat aus den Ohren	33
5.1.2	<i>E. coli</i> (Bl 21)	34
5.1.3	<i>B. subtilis</i>	34
5.2	Berechnung der Schärfe und der Capsaicinkonzentration des Chili-Extrakts	35
5.2.1	<i>E. coli</i>	35
5.2.2	<i>B. subtilis</i>	35
5.3	Vergleich mit der Literatur	36
6	Zusammenfassung	38
7	Anhang	40
7.1	Literaturverzeichnis	40
7.1.1	Buchverzeichnis:	40
7.1.2	Internetverzeichnis	40
7.2	Bildverzeichnis	41
7.3	Tabellenverzeichnis	42

# 1 Einleitung

## 1.1 Persönlicher Bezug zum Thema

Ich züchte seit vier Jahren hobbymässig Chilipflanzen. Zum einen interessieren mich dabei die verschiedenen Chilisorten mit ihren unterschiedlichen Farb- und Geschmacksformen sowie den unterschiedlich hohen Schärfegraden der Früchte. Zum anderen sind viele der für mich interessanten Chilis im Handel nicht erhältlich, so dass es sich lohnt eigene Pflanzen zu kultivieren, auch wenn der Ertrag häufig nicht vergleichbar ist mit dem eines landwirtschaftlichen Produzenten. Die Samen für die Pflanzenzucht beziehe ich grösstenteils von Anbietern aus dem Internet, von Bekannten oder aus botanischen Gärten.

In diesem Jahr bin ich aufgrund vieler schulischer Verpflichtungen und neuer Interessen nicht dazu gekommen neue Pflanzen anzuziehen, so dass nur zwei mehrjährige Pflanzen vom letzten Jahr vorhanden sind. In den vorherigen Jahren hatte ich allerdings über 25 verschiedene Chilisorten und teilweise weit über 100 Pflanzen. Die Abbildung 1 soll einen kleinen Eindruck meiner Zucht von Chilipflanzen geben.

Zeitweise konnte ich mir sogar über den Verkauf von Pflanzen ein wenig zusätzliches Taschengeld verdienen.

Als Maturaarbeit erschien mir das Thema Chilis und Capsaicin am interessantesten, da ich so auch persönlich neue Informationen sammeln konnte und noch mehr zu diesem Bereich gelernt habe.



Abb.1: Chilipflanzen aus eigener Anzucht: oben links: mehrer Sorten, u.a. Kirsch-Chili; oben rechts: Red Habanero, welche u.a. für den Versuch verwendet wurden; unten links: Lemon Drop mit reifen Früchte, unten rechts; junge Orange Habanero und Bhut Jolokia Pflanzen

## 1.2 Ziel der Arbeit

Die Chili gehört zur Gattung der Paprika (*Capsicum*). Für den Menschen sind hauptsächlich die Früchte von Bedeutung. Dabei gibt es neben zahlreichen Arten hunderte von Sorten, welche sich in Größe, Geschmack, Farbe und Schärfegrad unterscheiden.

Ziel meiner Arbeit war es, neben einer umfangreichen Literaturrecherche zum Thema der Chilis genauer auf den Stoff Capsaicin einzugehen. Das Capsaicin ist ein Alkaloid und wird vom Menschen deshalb als scharf wahrgenommen, weil es sich auf bestimmte

Wärmerezeptoren setzt und somit eine Verbrennung simuliert<sup>1</sup>. Es ist belegt, dass Capsaicin eine antibakterielle und fungizide Wirkung besitzt<sup>2</sup>.

Im praktischen Teil dieser Arbeit sollte herausgefunden werden, ob Capsaicin eine hemmende oder abtötende Wirkung auf bestimmte Bakterien der menschlichen Körperflora hat. Dabei sollten zwei aus dem Labor stammende, schon bekannte Bakterienstämme sowie ein vom eigenen Körper isolierter und klonierter Stamm als Testobjekte verwendet werden.

Zudem sollte mit Chilis aus eigenem Anbau ein Chili-Extrakt mit möglichst hoher Capsaicin-Konzentration selbst hergestellt werden und ebenfalls auf eine antibiotische Wirkung hin untersucht werden. Durch einen Vergleich der Ergebnisse des Versuchs mit dem gekauften Capsaicin und dem selbst hergestellten Chili-Extrakt sollte eine ungefähre Schätzung des Capsaicingehalts des Chili-Extrakts gemacht werden.

Die Wirkungen beider Substanzen sollten in verschiedenen Konzentrationen auf das Wachstum von Bakterien in Flüssigkulturen getestet werden.

Um die Methoden und Arbeitstechniken für meine Versuche noch zu ergänzen und zu verbessern, habe ich vor dem Versuch einige Lektionen des Mikrobiologie I-Kurses von Herrn Dr. Ochsenreiter an der Universität Bern besucht.

## 2 Chilis und Capsaicin

### 2.1 Herkunft und Verbreitung der Chilis

Über den genauen Ursprungsort der Chilis scheint man sich nicht ganz im klaren zu sein, denn es werden in mehreren Quellen neben Mexico<sup>3</sup> auch Südbrasilien und Bolivien<sup>4</sup> als Herkunftsgebiete genannt.

Klar ist auf jeden Fall, dass sie aus einer mittel- bis südamerikanischen Region stammen.

---

<sup>1</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Capsaicin>

<sup>2</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Geschmackliche\\_Schärfe#Gr.C3.BCnde\\_f.C3.BCr\\_das\\_Essen\\_scharfer\\_Speisen](http://de.wikipedia.org/wiki/Geschmackliche_Schärfe#Gr.C3.BCnde_f.C3.BCr_das_Essen_scharfer_Speisen)

<sup>3</sup> Lust auf Chilis, S.6

<sup>4</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Paprika>



Es wird vermutet, dass die Chilis innerhalb Mittel- bis Südamerikas grösstenteils durch Vögel verbreitet wurden. Ausserdem ist belegt, dass schon vor 9000 Jahren die Urform der heutigen Chilis als Gewürz oder zu Heilungszwecken verwendet wurde<sup>5</sup>.

Die Chiltepin ist der heutige Nachfahre dieser Urform und wächst immer noch wild (siehe Abb. 2).



Abb.2: Chiltepin-Früchte, Nachzucht einer aus der Sonora-Wüste (Mexico) stammenden Pflanze mit Raupe eines Schwalbenschwanzes (ca. 4,5 cm) als Grössenvergleich.

Erst zur Zeit der Entdecker wurden die Chilis dann durch spanische und portugiesische Seefahrer (unter anderem auch durch Christoph Columbus) nach Europa, Afrika und Asien weiterverbreitet und in die Esskulturen der neuen Kontinente aufgenommen<sup>6</sup> (siehe heutige Verbreitung Abb.3). Dieser Fakt ist vielen Leuten nicht bekannt, da hierzulande viele die scharfe asiatische Küche kennen und deswegen fälschlicherweise denken, dass die Chilis ihren Ursprung in Asien haben.

---

<sup>5</sup> <http://www.kraeuter-oase.at/chili-paprika/botanik/>

<sup>6</sup> Lust auf Chilis, S.6



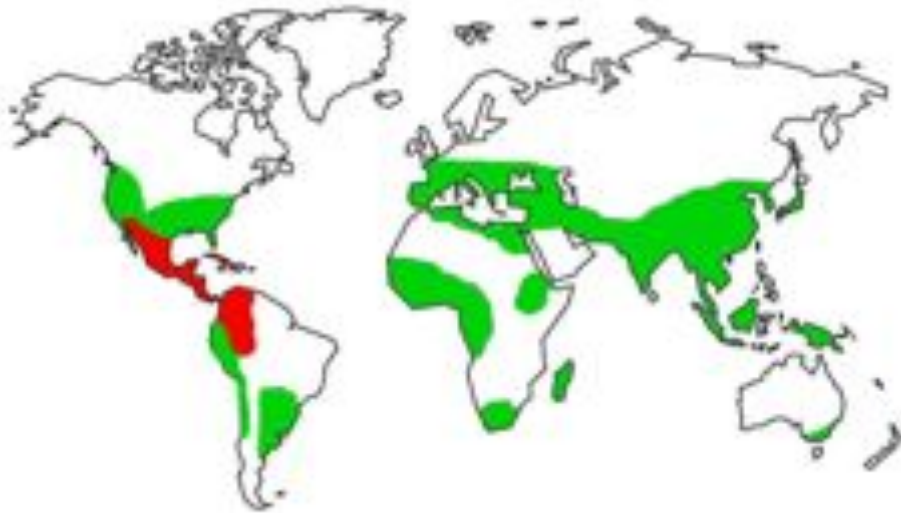


Abb.3: Weltkarte: Die rote Farbe zeigt die Ursprungsgebiete der Chilis, die grüne Farbe kennzeichnet ungefähr die heutigen Anbauggebiete<sup>7</sup>.

## 2.2 Botanische Klassifizierung

Die Chilipflanzen gehören zur Familie der Nachtschattengewächse (Solanaceae) und sind somit mit den Kartoffeln und Tomaten verwandt. Die Chilis gehören der Gattung *Capsicum* an. Entgegen der allgemein verbreiteten Bezeichnung als Schoten ist die Chilifrucht aus botanischer Sicht betrachtet eigentlich eine Beere<sup>8</sup>, da sie eine aus einem Fruchtknoten hervorgegangene Schliessfrucht ist.

Weltweit wurden bis heute 33 verschiedene Arten<sup>9</sup>, von welchen fünf vom Menschen kultiviert werden (Beispiele für vier dieser fünf Arten sind in Abb. 4 abgebildet). Von den fünf kultivierten Arten sind hunderte verschiedene Chilisorten bekannt<sup>10</sup>. Diese Zahl steigt allerdings immer weiter an, da zum einen ständig neue Chilisorten in der Natur entdeckt werden, zum anderen aber auch sehr viele neue ertragreichere, geschmacks- und schärfeintensivere Sorten gezüchtet werden, um die Nachfrage der Chililiebhaber zu decken.

---

<sup>7</sup> Abb.3: <http://www.gringokiller.de/chilis/index.php>

<sup>8</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/botanik/einfuehrung.php>

<sup>9</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Paprika#Externe\\_Systematik](http://de.wikipedia.org/wiki/Paprika#Externe_Systematik)

<sup>10</sup> Lust auf Chilis, S.6



Abb.4: Verschiedene Chiliarten und -sorten aus eigenem Ertrag: Oben links: Ecuador Purple, *Capsicum annum*; oben rechts: Red Habanero, *Capsicum chinense*; Mitte rechts: Cayenne Pfeffer, *Capsicum frutescens*; unten links: Bhut Jolokia, *Capsicum chinense*; unten rechts: Rocoto, *Capsicum pubescens*

Zu dieser systematischen Einteilung in die verschiedenen Arten soll allerdings noch angemerkt werden, dass sich viele der Arten in den Merkmalen sehr ähneln und so eine klare Artenabgrenzung schwierig ist. Zieht man nämlich die in der Schule gelernte Definition des Artenbegriffs als Argument heran, müssten mehrere der Arten eigentlich zusammen zu einer Art zusammengefasst werden. Nach Definition gehören alle Pflanzen die miteinander fortpflanzungsfähige Nachkommen bilden können einer Art an. Wenn sie sich dennoch durch bestimmte Merkmale wie Fruchtform, Farbe und Grösse unterscheiden, spricht man von Sorten. Da nun aber viele der benannten 33 Chili-Arten

untereinander gekreuzt und die Nachkommen weiter gezüchtet werden können, handelt es sich nach der Definition lediglich um verschiedene Sorten. Diese These wird ebenfalls von dem Fakt gestützt, dass einige Wissenschaftler ähnlicher Meinung sind und wie beschrieben einige der Arten als eine Art zusammenfassen wollen<sup>11</sup>.

Neben der klassischen Definition einer Art könnten auch genetische Untersuchungen angestellt werden. Doch auch mithilfe dieser Methoden ist nicht immer eine klare Abgrenzung von Arten möglich.

Doch auch wenn gewisse Unsicherheiten bei der genaueren Klassifizierung bleiben, sollte die Hauptaufmerksamkeit doch immer noch bei der prachtvollen Vielfalt der Chilis bleiben...

### 2.3 Capsaicin, der Stoff der die Chilis scharf macht

Im Allgemeinen werden mehrere mögliche Gründe angegeben, warum Chilis scharf sind und Capsaicin enthalten. Hierbei wird davon ausgegangen, dass das Capsaicin einen evolutionären Vorteil für Chilipflanzen darstellt<sup>12</sup>.

Eine Möglichkeit könnte der Schutz vor Fressfeinden sein. Die Chilifrüchte würden ohne Capsaicin für Säugetiere eigentlich eine qualitativ hochwertige Nahrungsquelle mit vielen Vitaminen darstellen. Doch da der Verdauungsapparat der Säugetiere die Samen zerstört, war für die Pflanzen das Capsaicin ein grundlegend wichtiger Abwehrstoff gegen diese Fressfeinde. Capsaicin bindet dabei an Wärmerezeptoren und löst das gleiche Empfinden aus wie es bei der Aufnahme von zu heisser Nahrung entsteht.

Im Gegensatz zu den Säugern zerstört der Verdauungsapparat von Vögeln die Samen im inneren der Früchte nicht, sondern liefert sogar durch den Kot eine Art Dünger und kann so durchaus bei der territorialen Verbreitung der verschiedenen Chili-Arten eine wichtige Rolle spielen.

---

<sup>11</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/botanik/einfuehrung.php>

<sup>12</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Capsaicin#Evolution.C3.A4re\\_Entwicklung\\_der\\_Capsaicinproduktion](http://de.wikipedia.org/wiki/Capsaicin#Evolution.C3.A4re_Entwicklung_der_Capsaicinproduktion)

Deshalb scheint es plausibel, dass Vögel kein Schmerzempfinden für Capsaicin zeigen. Zudem wird erklärbar, dass die Früchte vermutlich die meist auffällige rote oder orange Farbe als Erkennungszeichen für die Vögel haben.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Chilis mit dem Capsaicin im Laufe der Evolution einen Stoff gebildet haben, welcher zum einen Fressfeinde abschreckt, zum anderen aber Tiere, welche das weitere Überleben und die Verbreitung der Pflanzen begünstigen, aber nicht abschreckt<sup>13</sup>.

Der Forscher Joshua J. Tewksbury und seine Kollegen haben einen weiteren interessanten Zusammenhang entdeckt. Sie stellten fest, dass die Chilis in den Gebieten Boliviens am meisten Capsaicin enthalten, in denen bestimmte, für das Überleben der Pflanzen gefährliche, Pilze vorkommen. Je höher das Risiko eines Pilzbefalls war, desto höher stieg auch der Capsaicin Gehalt an.

Zudem wurde ein weiterer Zusammenhang mit Insekten der Ordnung der Schnabelkerfe (z.B.: Wanzen, Zikaden, Blattläuse) entdeckt. Durch mechanische Einwirkung an den Fruchtkörpern verstärken diese Tiere das Risiko eines Pilzbefalls. Deswegen war in Gebieten, in denen mehr Schnabelkerfen lebten, der Capsaicin-Anteil der Chilis signifikant erhöht<sup>14</sup>.

Fest steht auf jeden Fall, dass das Capsaicin einen zentralen Abwehrstoff sowohl gegen Fressfeinde, als auch gegen schädliche Mikroorganismen darstellt, auch wenn sich die Forschung noch nicht im Klaren darüber ist, welcher der beiden Faktoren der ausschlaggebende war.

## 2.4 Messung der Schärfe

Wie scharf eine Chili ist, hängt von der Menge an Capsaicin ab, welche sie enthält. Angegeben wird die Schärfe einer Chili entweder in Scoville-Einheiten oder in Schärfegraden. Beide Werte beziehen sich dabei jedoch in der Regel auf getrocknete

---

<sup>13</sup><http://www.pepperworld.com/cms/grundlagen/capsaicin.php#Warum%20Chilis%20scharf%20sind>

<sup>14</sup> <http://www.pnas.org/content/105/33/11808.full>

Früchte. Diese Werte liegen um etwa den Faktor 10 höher als bei frischen Früchten<sup>15</sup>, da das in den frischen Früchten enthaltene Wasser bei der Trocknung verloren geht und somit ein prozentualer Anstieg des Capsaicins entsteht.

Die Scoville-Skala reicht von 0 (nicht scharf) bis zu 16.000.000 (reines Capsaicin). Die absoluten Höchstwerte einer Chili wurden Anfang 2012 gemessen: die im Süden Trinidads neu gezüchtete Sorte Moruga Scorpion erreichte eine Scoville-Einheit von 2.009.231<sup>16</sup>.

Die im Alltag gebräuchlichere Variante der Schärfebeschreibung wird in Schärfegraden angegeben. Die Schärfegrade reichen von 0 (nicht scharf) bis 10++ (extrem scharf).

Im Allgemeinen ist aber zu beachten, dass auch innerhalb der gleichen Sorte die Schärfegrade sehr unterschiedlich sein können. Es kommt nämlich durchaus auf die Anbaubedingungen der Chilis an. Wenn man beispielsweise eine Pflanze bei starker Sonneneinstrahlung unter Wassermangel oder anderen Stressfaktoren leiden lässt, kann dies eine Erhöhung des Capsaicin-Anteils in den Früchten zur Folge haben<sup>17</sup>.

Ein Beispiel dafür ist, dass man häufig zu einer Chilisorte sehr unterschiedliche Angaben findet. So wird die Sorte Rocoto, welche auf der Internetseite <http://www.codeknacker.de/chili.htm> mit 50.000 bis 75.000 Scoville-Einheiten angegeben wird, auf den Seiten <http://www.hot-pain.de/schaerfeskala> und [http://www.ehow.com/list\\_7463869\\_top-10-hottest-chili-peppers.html](http://www.ehow.com/list_7463869_top-10-hottest-chili-peppers.html) hingegen mit einer Schärfe von bis zu 350.000 Scoville-Einheiten beschrieben, was mehr als das vierfache ist. Diese Unterschiede sind wahrscheinlich auf die oben beschriebenen verschiedenen Anbaubedingungen zurückzuführen.

In der Tabelle 1 sind viele der im Handel erhältlichen Chilis mit ihren durchschnittlichen Scoville-Einheiten sowie den dazugehörigen Schärfegraden angegeben.

---

<sup>15</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/grundlagen/brenn-o-meter.php>

<sup>16</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/posts/trinidad-scorpion-variante-knackt-die-2-millionen-shu-grenze-49.php>

<sup>17</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/grundlagen/brenn-o-meter.php>

Scoville -Einh.	Chili-Sorten	Hot Sauces etc.	Schärfe grad	Pepper world- Bewer- tung
mehr als 500.000	Bhut Jolokia, Naga, Bih Jolokia, Jolokia, Naga Morich, Trinidad Scorpion	Capsicum-Extrakt	<b>10+</b>	<b>extrem scharf</b>
100.000 - 500.000	Habanero, Scotch Bonnet, Caribbean Red, Red Savina, Hot Paper Lantern, Fatalii. Afrikanische Birdeye.	Vicious Vampire (Hot Sauce/Gewürz) Dave's Ghost Pepper Private Reserve Jolokia-Püree "90%" Lava Jolokia Sauce	<b>10</b>	
50.000 - 100.000	Chiltepin  Santaka, Rocoto, Tabasco, Malagueta, Lugalah	Dave's Total Insanity Sauce, Raw Heat, Pain 100%, Holy Sh*t!, Baboon Ass Gone Rabid, Crazy Jerry's Brain Damage, Pure Arson Hot Sauce	<b>9</b>	
30.000 - 50.000	Thai, Piquin, lange Cayenne- Schoten, scharfe kalabr. Peperoncini ("Diavolini")	Melinda's Red Savina, Dave's Insanity Salsa, Cremapic Extra scharfes Chili-Püree	<b>8</b>	<b>Sehr scharf</b>
15.000 - 30.000	Chile de Arbol, Hot Jalapeño, NuMex Barker, Hot Lemon	Lottie's Yellow, Hot Tar, Hottie's, Mad Anthony's, Dave's Hurtin' Habanero, Melinda's Scotch Bonnet Sauce	<b>7</b>	
5000 - 15.000	Frühe Jalapeño, Aji Amarillo, Serrano, Aleppo <u>Chipotle</u> , Las Cruces Cayenne	Brother Bru-Bru's, Pain is Good #37, Lethal Gator, Baboon Ass Habanero, Melinda's Chipotle	<b>6</b>	
2500 - 5000	TAM Mild Jalapeño, Mirasol; diverse große dicke	Tabasco® Soße (rot), Panola Gourmet Pepper Sauce, Ring of Fire X-Hot Habanero,	<b>5</b>	



	Cayenne-Schoten	Cholula, Joe Perry's Mango Peach Tango, Boneyard Brew, Pain is Good Sauce #218, Melinda's Garlic		
1500 - 2500	Pimenton de la Vera, (hot), Sandia, Cascabel, Yellow Wax Hot, Kashmir, Piment d'Espelette	Portugiesische Piri-Piri Garlic Hot Sauce, Crystal®, Lynchburg Habanero, Sugo Habanero, El Chipotle Smoked Tomato, Pepperworld's Bisige Bärchen	4	
1.000 - 1500	Ancho, Pasilla, Española Improved, Jalapeño <i>NuMex Primavera</i>	Melinda's Mango, Marie Sharp's, Pain is Good Sauce #164: Honey Cayenne, Quinta d'Avo Piri-Piri Lemon Hot Sauce, Vincotto al Peperoncino	3	Mild bis mittelsch harf
500 - 1000	NuMex Big Jim, NuMex 6-4, Piquillo	Caribbean Gold Apricot Ginger Glaze, viele milde New Mexican- Chilipulver-Sorten, Chill Bill Chili-Kakao	2	
100 - 500	NuMex R-Naky, Mexi-Bell, Cherry mild; grüne Chilis in der Dose, scharfe ungarische Paprika, Pimenton de la Vera, (dulce, mild)	Diverse Supermarkt "Hot" Sauces	1	
10 - 100	Blassgrüne Peperoncini (Italien, Türkei) Carmen, NuMex Suave Red/Orange	Diverse Supermarkt "Hot" Sauce		
0	Gemüsepaprika, Pimiento, Sweet Banana Chilis		0	Nicht scharf

Tabelle 1: Verschiedene Chilisorten geordnet nach ihrem Schärfegrad<sup>18</sup>

<sup>18</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/grundlagen/brenn-o-meter.php>

Die Frage war nun warum die Beschreibung der Schärfe durch Schärfegrade bei 10+ aufhört. Die Lösung dieses Rätsels findet man auf der Internetseite [www.pepperworld.de](http://www.pepperworld.de), wo erklärt wird, dass spätestens ab dem Schärfegrad 10+ das Schärfeempfinden in die Sättigung geht<sup>19</sup>, d.h. dass so gut wie alle Wärmerezeptoren besetzt sind. Als Vergleich kann man sich vorstellen, dass es vom Schmerzempfinden her kaum noch einen Unterschied macht, ob man den Finger in eine 300°C Kerzenflamme oder eine 800°C Gasflamme halten würde<sup>20</sup>.

## 2.5 Verschiedene Verwendungszwecke

### 2.5.1 Verwendung als Nahrungsmittel

Chilis werden mittlerweile fast überall auf der Welt als Nahrungsmittel gegessen. Das ist vor allem in den wärmeren Teilen unserer Erde der Fall. Der Grund dafür könnte sein, dass durch das Phänomen der Hitzetäuschung des Capsaicins vom menschlichen Körper Schweiß gebildet wird, welcher eine gesamthafte Abkühlung auf der Hautoberfläche zur Folge hat, was wiederum als angenehm empfunden wird<sup>21</sup>.

Als weiteren Grund für die häufige Verwendung von Chilis in tropischen Ländern wird allerdings auch angegeben, dass das Capsaicin aufgrund seiner antibakteriellen und fungiziden Wirkung die Speisen länger frisch hält<sup>22</sup>. Da gerade in diesen Ländern die Bakterienvielfalt sehr gross ist und durch die hohen Temperaturen die Bakterien noch schneller wachsen, sind Chilis eine gute Möglichkeit um die Haltbarkeitszeiten zu verlängern. Dazu existiert ein passendes Sprichwort, welches besagt „Je wärmer das Klima, desto schärfer das Essen“<sup>23</sup>.

---

<sup>19</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/grundlagen/brenn-o-meter.php>

<sup>20</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/grundlagen/brenn-o-meter.php>

<sup>21</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Paprika#Verwendung>

<sup>22</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Geschmackliche\\_Schärfe#Gr.C3.BCnde\\_f.C3.BCr\\_das\\_Essen\\_scharfer\\_Speisen](http://de.wikipedia.org/wiki/Geschmackliche_Schärfe#Gr.C3.BCnde_f.C3.BCr_das_Essen_scharfer_Speisen)

<sup>23</sup> <http://www.aschulze.net/chili/index.htm>



Abb.5: Frische Chilis, serviert zu Chili con Carne, ein typisches Gericht aus Südamerika

### 2.5.2 Verwendung in der Medizin

In der Medizin wird das Capsaicin aufgrund seiner besonderen chemischen Eigenschaften genutzt, um beispielsweise an bestimmten Körperstellen die Durchblutung zu fördern und so Schmerzen zu lindern. Es kann sowohl innerlich als auch äusserlich angewendet werden. So existieren Capsaicin-haltige Medikamente gegen „Nervenschmerzen (z.B. postherpetische oder diabetische Neuralgie), Gelenk- und Muskelschmerzen, Nackenverspannungen, rheumatischen Beschwerden, bei Brennen der Mundschleimhaut, bei Kopfschmerzen, bei Parästhesien, bei allergischen Schnupfen, bei Juckreiz und bei Schuppenflechte“<sup>24</sup>. Vielerorts bekannt sind Capsaicin-Cremes (siehe Abb. 6) und sogenannte „ABC-Pflaster“ bzw. „Wärmepflaster“ (siehe Abb. 7) welche – wie der Name schon zu verraten vermag - die entsprechende Körperstelle wärmen und die Schmerzen mässigen sollen<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> <http://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Capsaicin>

<sup>25</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/gesundheit/medizin.php>



Abb.6: Capsaicin-Creme mit 0,025% Capsaicin<sup>26</sup>



Abb.7: Capsaicin-Pflaster mit 8% Capsaicin<sup>27</sup>

<sup>26</sup> [http://www.valeopharma.com/customer\\_files/catalog/capsaicin25\\_big.jpg?=&=](http://www.valeopharma.com/customer_files/catalog/capsaicin25_big.jpg?=&=)

<sup>27</sup> <http://alexandra-lifewithdignity.blogspot.ch/2012/08/qutenza.html>

### 2.5.3 Weitere Verwendungen

Die durchblutungsfördernde Wirkung von Capsaicin findet nicht nur beim Menschen Verwendung. Im Pferdesport wird es unerlaubterweise nämlich unter anderem dazu genutzt, um eine Leistungssteigerung bei Wettkampf-Pferden zu erreichen. Der Zweck hierbei ist, dass die Pferde zum einen leistungsfähiger und zum anderen schmerzempfindlicher gemacht werden. Da das Capsaicin eine stärkere Durchblutung zur Folge hat, wird neben einem erhöhten Sauerstofftransport auch die Sensibilität/Empfindlichkeit der Pferde gesteigert. Dadurch wird hauptsächlich in der Disziplin des Springreitens eine Steigerung der Sprunghöhen erreicht, da die Pferde beim Berühren der Holzlatten grössere Schmerzen erleiden. Dieses sogenannte „Pferdedoping“ wurde beispielweise bei den Olympischen Spielen 2008 aufgedeckt, als mindestens bei vier Pferden Capsaicin als Dopingstoff nachgewiesen wurde<sup>28</sup>. Die Teilnehmer, die dies zu verantworten hatten, wurden dann von den Spielen ausgeschlossen.

## 2.6 Einfluss des Capsaicins auf die Bakterienflora des Menschen

Eine interessante Überlegung war nun die Frage, ob medizinisch eingesetzte Medikamente mit Capsaicin eine Auswirkung (sozusagen eine Nebenwirkung) auf die Bakterienflora des menschlichen Körpers hätten. Diese Idee verbindet zum einen den Fakt, dass Capsaicin bei Speisen antibakteriell wirkt und zum anderen, dass im und am Menschen Capsaicin-Produkte angewendet werden.

Der Mensch trägt mehr als zwei Kilogramm Bakterien auf und in sich. Die Zahl der Bakterien ist damit um ein Zehnfaches höher als die Zahl der Zellen des eigenen Körpers<sup>29</sup>. Allein diese Angaben genügen um zu erraten, dass die Bakterien nicht umsonst auf dem menschlichen Körper leben. Ohne diese Bakterien wäre der Mensch möglicherweise nicht einmal auf die gleiche Art und Weise lebensfähig.

Deshalb sind Substanzen, welche antibakteriell wirken, potentiell schlecht für den Menschen, es sei denn sie dienen der Bekämpfung von pathogenen Bakterien.

---

<sup>28</sup> <http://www.scienceblogs.de/neurons/2008/08/coster-liebt-es-scharf-springreiter-christian-ahlemann-nach-capsaicin-befund-von-olympia-suspendiert.php>

<sup>29</sup> <http://www.artikelmagazin.de/gesundheit/der-mensch-und-seine-bakterien.html>

Zu den obenstehenden Überlegung wurden zwar keine direkten schon bestehenden wissenschaftlichen Dokumentationen gefunden, allerdings wurden sowohl Studien über eine verlängerte Haltbarkeit von Lebensmitteln durch Capsaicin, bei welchen die Haltbarkeit von Rindfleisch-Plätzchen von 4 auf 16 Tage durch Cayenne-Pulver erhöht werden konnte<sup>30</sup>, als auch Publikationen über die Wirkung von Capsaicin auf einige den Menschen besiedelnden Bakterien gefunden.

Die Publikation der türkischen Forscher Fadile Yildiz Zeyrek und Elif Oguz über die Wirkung von Capsaicin auf das im menschlichen Verdauungstrakt vorkommende Bakterium *Helicobacter pylori* wurde genutzt um Rückschlüsse für den Aufbau des praktischen Teils dieser Arbeit zu erhalten. Die Versuche der beschriebenen Arbeit waren so aufgebaut, dass 16 verschiedene Bakterienstämme von *H. pylori* in Flüssigkulturen auf sechs Capsaicin Konzentrationen (25 µg/ml, 50 µg/ml, 100 µg/ml, 150 µg/ml, 200 µg/ml) sowie eine Kontrolle ohne Zusatz und eine Kontrolle für das in seinem Fall verwendete Lösungsmittel DMSO getestet wurden. Das Wachstum der Bakterien wurde an vier verschiedenen Zeitpunkten (0 h, 2 h, 4 h, 6 h) gemessen<sup>31</sup>.

Für die Versuche meiner Arbeit habe ich mich deswegen an dieser Publikation orientiert. Da in der Publikation die erste erkennbare Wirkung auf das Bakterienwachstum bei 25 µg/ml (welche auch gleichzeitig die kleinste verwendete Konzentration darstellte) und die maximale Wirkung bei 50 µg/ml auftrat, habe ich mich, nach Absprache mit Dr. Ochsenreiter an der Universität Bern dafür entschieden folgende Konzentrationen zu verwenden:

5 µg/ml, 25 µg/ml, 40 µg/ml, 50 µg/ml, 250 µg/ml

So wurde der Bereich, in dem eine Hemmungswirkung erwartet wurde, am besten abgedeckt. Zwischen 50 und 250 µg/ml wurden keine weiteren Konzentrationen gewählt, weil die Menge an verfügbaren Capsaicin begrenzt war. Zum Vergleich zum Bakterienwachstum unter Capsaicin-Einfluss sollte eine Negativkontrolle (Bakterienmedium ohne Zusatz) und eine Kontrolle mit der maximal verwendeten Menge des Lösungsmittels mitgeführt werden.

---

<sup>30</sup> <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.1298/abstract>

<sup>31</sup> [http://www.annmicro.unimi.it/full/55/zeyrek\\_55\\_125-127.pdf](http://www.annmicro.unimi.it/full/55/zeyrek_55_125-127.pdf)



## 3 Bakterienwachstum in Flüssigkulturen bei verschiedenen Capsaicin- und Chili-Extrakt-Konzentrationen

### 3.1 Vorversuche und Versuchsvorbereitungen

#### 3.1.1 Herstellung des Chili-Extrakts

Bei der Herstellung des Chili-Extrakts ging es darum, mit überschaubarem Aufwand eine Substanz mit möglichst hohem Capsaicin-Anteil zu erhalten (Ausgangsstoff des Versuchs, siehe Abb.9; Produkt des Versuchs, siehe Abb. 10). Da dieser Teil als Vorbereitung und nicht als eigentlicher Versuch der praktischen Arbeit anzusehen ist, wurde er nur grob beschrieben und nicht in den Resultate-Teil aufgenommen.

Ziel des Versuchs war es, das Capsaicin aus den selbst gezüchteten und getrockneten Chilis zu lösen. Es wurden hauptsächlich sehr scharfe Chilis verwendet (Unter anderem ca. 50% Bhut Jolokia, welche zu diesem Zeitpunkt noch als die schärfste Chili der Welt galt).

Da Capsaicin nicht wasserlöslich ist, wurde als Lösungsmittel Ethanol verwendet. Es wurde in Kauf genommen, dass neben dem Capsaicin auch andere in Ethanol lösliche Stoffe in das Produkt mit einfließen würden.

Das Prinzip des Versuch war es, zuerst das Capsaicin mittels Ethanol aus den Chilis zu lösen, um dann anschliessend das Ethanol wieder zu verdampfen, so dass man eine Steigerung der Capsaicin-Konzentration erhalten würde. Als Basis des Versuchs kann die Anleitung für ein Chili-Extrakt auf der Internetseite [www.pepperworld.com](http://www.pepperworld.com) angesehen werden<sup>32</sup>. Jedoch wurde ziemlich stark von dieser Anleitung abgewichen, da als besondere Methode das Soxhlett-Verfahren angewandt wurde (Aufbau siehe Abb. 8). Dieses Verfahren erlaubt es besonders gut lösliche Stoffe aus Feststoffen zu extrahieren. Das Prinzip beruht darauf, dass dem Chili-Extrakt ständig erhitztes Ethanol zugeführt

---

<sup>32</sup> <http://www.pepperworld.com/cms/kulinarisch2/chili-extrakt.php>



Abb. 8: Soxhlett-Apperatur mit Chili-Ethanol-Gemisch



Abb.9: Ausgangsstoff: Gemahlene Chilis



Abb.10: Produkt: zähflüssiger Chili-Extrakt

wird. Darin löst sich das Capsaicin und fließt in den Kolben zurück. Durch eine ständige Wiederholung des Vorganges kann so das Capsaicin fast quantitativ aus den Chilis gewonnen werden. Anschliessend muss dann der Kolben vom Soxhlett-Aufsatz getrennt werden und es erfolgt das Eindampfen des Ethanol, um die Konzentration des Capsaicins zu erhöhen.

### 3.1.2 Überführung des kommerziellen Capsaicins sowie des Chili-Extrakts in Lösung

Um die Tests mit den verschiedenen Capsaicin Konzentrationen in den Flüssigkulturen machen zu können, musste das Capsaicin vorher in einem geeigneten Lösungsmittel gelöst werden. Capsaicin ist nicht wasserlöslich, deshalb musste es entweder wie im erwähnten Versuch in DMSO oder in Ethanol gelöst werden, da dies die beiden naheliegendsten organischen Lösungsmittel waren. Nach Absprache mit Herrn Dr. Ochsenreiter wurde bei dem Versuch Ethanol verwendet, da dieser bis zu einer Konzentration von ungefähr 1% keinen grossen Effekt auf das Bakterienwachstum hat und somit geeignet für den Versuch war. Sowohl das kommerziell erworbene Capsaicin (von der Firma Sigma) als auch das Chili-Extrakt waren gut darin löslich.

### 3.1.3 Verwendete Bakterien

Für den Versuch sollten verschiedene Bakterienstämme verwendet werden. Die Stämme *Bacillus subtilis* und *Escherichia coli* Bl 21 stammten aus dem Laborbestand der Uni Bern. Zusätzlich wurden einige Bakterien der eigenen Körperflora verschiedener Körperpartien isoliert und aufgereinigt. Die Isolierung und Aufreinigung wurde an der Universität Bern unter Anleitung von Herrn Dr. Ochsenreiter durchgeführt.

Alle Bakterien-Wachstumsversuche sollten mit Flüssigkulturen durchgeführt werden. Da sich aber alle Stämme auf Nährböden befanden, musste zunächst geprüft werden, ob die einzelnen Stämme überhaupt in Flüssigmedien wachsen konnten. Hierfür wurden die Bakterien mit einer Impföse von den Nährböden in die Flüssigkultur enthaltenden Röhrchen gegeben. Als Flüssigkultur-Medium wurde LB (lysogeny broth) verwendet. Alle Kulturen wurden bei 37°C und 200 Umdrehungen pro Minute in einen Laborschüttler gestellt. Da alle Bakterienstämme ein gutes Wachstum im Flüssigmedium zeigten, konnten sie für den Capsaicin-Versuch eingesetzt werden. Bei den eigenständig isolierten und klonierten Bakterienstämmen wurde sich für das Bakterienisolat der Ohren entschieden, da dort das beste Wachstum stattgefunden hatte. Dem Namen Bakterienisolat der Ohren sei noch zweierlei beizufügen. Der Name beschreibt zwar den ursprünglichen Abstammungsort, was allerdings nicht bedeutet, dass dieser Bakterienstamm nur in der Nähe der Ohren vorkommt, sondern möglicherweise auch über weitere Teile des Körpers verbreitet ist.

## 3.2 Testreihe

### 3.2.1 Erstellung einer Wachstumskurve

Die Messungen der OD (optische Dichte) der Bakterienkulturen wurde mithilfe eines Photometers gemacht. So konnte das Wachstum der zu untersuchenden Bakterien in Abhängigkeit der Zeit gemessen werden.

Da ein linearer Zusammenhang von Bakterienwachstum und gemessener optischer Dichte (OD) nur für die OD-Werte 0,01 bis 0,8 besteht, musste die Menge an jeweiliger

Flüssigkultur, welche man in die Röhren mit den verschiedenen Capsaicin-konzentrationen gab, möglichst nah an einem OD-Wert von 0.01 liegen.

Dafür wurde zuerst die OD des reinen Nährmediums LB ohne Bakterienkulturen auf Null tariert, dann jeweils die OD der einzelnen Bakterienstämme gemessen und anschliessend berechnet welche Menge der Bakterienkulturen ungefähr angeimpft werden musste, damit der OD-Wert möglichst bei 0,01 läge.

Vorweg soll hier schon erwähnt sein, dass wenn bei der Ergebnismessung ein OD-Wert über 0,8 erreicht wurde, die Probe zuerst verdünnt, erneut gemessen und anschliessend wieder entsprechend hochgerechnet wurde. So wurde vermieden, dass vom linearen Verhältnis von OD und Bakterienwachstum zwischen 0,01 und 0,8 abgewichen wurde.

### 3.2.2 Versuchsaufbau

#### Capsaicin-Konzentrationen

In der folgenden Tabelle 2 ist noch einmal kurz verdeutlicht, welche Capsaicin-Konzentrationen auf die drei Bakterienstämme getestet wurden:

<b>Bakterienstamm</b>	c(Capsaicin)					Ethanol-Kontrolle (µl/ml)
	(µg/ml)	(µg/ml)	(µg/ml)	(µg/ml)	(µg/ml)	
BI-Ohren	250	50	40	25	5	50
<i>E. coli</i> BI 21	250	50	40	25	5	50
<i>B. subtilis</i>	250	50	40	25	5	50

Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Capsaicin-Konzentrationen bei den drei Bakterienstämmen; BI-Ohren: Bakterienisolat aus den Ohren. Die Ethanol-Kontrolle wurde falsch berechnet: 50µl/ml entsprechen einer Verdünnung von 1:20, es hätte aber eine Verdünnung von 1:200 sein müssen (5µl/ml).

#### Chili-Extrakt-Konzentrationen

Folgende Chili-Extrakt-Konzentrationen wurden auf folgende zwei Bakterienstämme getestet. Aufgrund der beschränkten Zeit, die für die Durchführung der Experimente zur Verfügung stand, wurde auf das Bakterienisolat der Ohren verzichtet.

<b>Bakterienstamm</b>	c(Chili-Extrakt)	c(Chili-Extrakt)	c(Chili-Extrakt)	Ethanolkontrolle
<i>E. coli</i> BI 21	1:100	1:1000	1:10000	1:100
<i>B. subtilis</i>	1:100	1:1000	1:10000	1:100

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Chili-Extrakt-Konzentrationen bei den zwei Bakterienstämmen

### 3.3 Vorgehen

Den 6ml Flüssigkultur enthaltenden Versuchsröhrchen wurde jeweils 1 ml Flüssigkeit entnommen und im Photometer die optische Dichte bestimmt. Da nur eine begrenzte Zahl an Küvetten vorhanden war, musste jede Küvette nach dem Gebrauch mit destilliertem Wasser abgewaschen, ausgeschüttelt und zur Trocknung an der Luft aufgestellt werden. Um die Zeit der Beschriftung jeder einzelnen Küvette jeweils vor dem Messen zu sparen, wurden die Röhrchen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit immer jeweils neben die Küvette gestellt, welche anschließend mit 1 ml der Flüssigkeit des benachbarten Röhrchens gefüllt wurde (Abb. 11). Damit wurde allerdings in Kauf genommen, dass sich die Röhrchen für einen kurzen Zeitraum außerhalb des Laborschüttlers befanden.



Die Röhrchen wurden dann bei 37°C und 200 Umdrehungen pro Minute für 1,16 Stunden in den Laborschüttler gestellt. Nach dieser Zeit wurden die Röhrchen wieder aus dem Laborschüttler geholt. Dann wurde der oben beschriebene Vorgang wiederholt. Dies wurde insgesamt vier mal gemacht, so dass am Ende fünf Messpunkte vorhanden waren.

Abb.11: Küvetten und Röhrchen mit Bakterienkulturen vorbereitet für die Messung im Photometer



## 4. Resultate

### 4.1 Die Wirkung von Capsaicin auf das Bakterienwachstum

#### 4.1.1 Bakterienisolat aus den Ohren

Insgesamt zeigt sich hier tendenziell eine Dosis-abhängige Hemmung des Bakterienwachstums durch Capsaicin. Allerdings ist nur bei der stärksten Konzentration (250 µg/ml) eine durchgängig deutliche Hemmung zu beobachten. Bis zum 4ten Messpunkt wurde aber auch bei den mittleren Konzentrationen (50, 40, 25 µg/ml) ein geringeres Wachstum als bei einer Konzentration von 5 µg/ml beobachtet. Die Ethanol-Kontrolle kann nicht als Vergleich dienen, da die Konzentration falsch (10-fach zu hoch) berechnet wurde. Dieser Fehler wurde auch bei den anderen beiden Testreihen mit Capsaicin gemacht. Allerdings hätte sich die Interpretation des Ergebnisses durch eine korrekte Ethanol-Kontrolle nicht wesentlich geändert, da eine Dosis-abhängige Wachstumshemmung zu sehen ist. Wahrscheinlich würde eine Bakterienkultur mit korrekter Ethanol-Kontrolle ähnlich verlaufen wie bei der 5µg/ml Capsaicin-Konzentration. Festzuhalten bleibt also die Tendenz, dass Capsaicin das Wachstum des Bakterienisolates aus den Ohren hemmen kann. Warum bei der fünften Messung für 5 µg/ml ein sehr tiefer OD Wert gemessen wurde, ist nicht klar. Sehr wahrscheinlich handelt es sich hier um einen Messfehler, denn bei keiner anderen Konzentration tritt dieser Effekt ein.

<u>c(Capsaicin)</u>	<u>0 h</u>	<u>1.16 h</u>	<u>2.32 h</u>	<u>3.48 h</u>	<u>4.64 h</u>
5 µg/ml	0.017	0.082	0.965	1.372	0.482
25 µg/ml	0.007	0.057	0.625	0.985	1.82
40 µg/ml	0.007	0.035	0.492	0.757	1.9
50 µg/ml	0.01	0.077	0.598	0.923	2
250 µg/ml	0.163	0.123	0.218	0.415	0.8
Ethanol Kontrolle	0.001	0.033	0.168	0.555	1.14

Tabelle 4: Messwerte der OD zu verschiedenen Zeitpunkten (h) beim Bakterienisolat der Ohren. Eine Vorkultur der Bakterien wurde zu den 5 angegebenen Capsaicin-Konzentrationen gegeben und zu 5 verschiedenen Zeitpunkten wurde die optische Dichte der Bakterienkulturen gemessen. Zwischen den Messungen wurden die Bakterienkulturen bei 37° C im Laborschüttler kultiviert. Wenn die Messwerte über OD: 0.8 lagen, wurden die Bakterienkulturen verdünnt und noch einmal gemessen. Die Werte wurden dann entsprechend berechnet und in die Tabelle eingefügt. So konnten auch Werte über 0.8 aufgeführt werden.

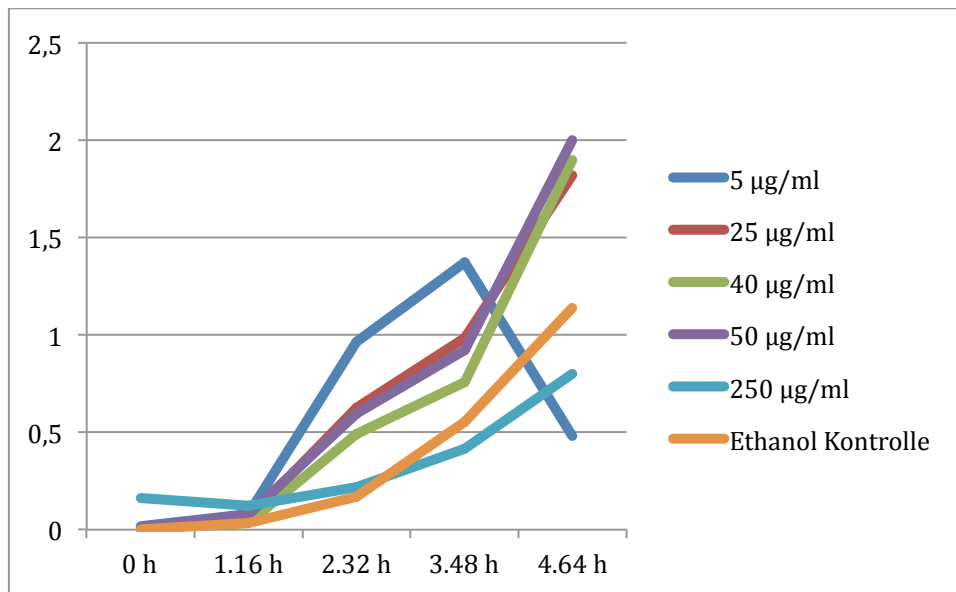


Abb.12: Wachstumskurven vom Bakterienisolat der Ohren bei verschiedenen Capsaicin-Konzentrationen. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 4 beschriebenen Vorgehen. Auf der x-Achse ist der Zeitverlauf angegeben, auf der y-Achse die OD.

#### 4.1.2 *E. coli* (Bl 21)

Den Laborstamm *E. coli* (*BL 21*) scheinen dagegen selbst hohe Capsaicin-Konzentration nicht im Wachstum zu beeinträchtigen. Alle Wachstumskurven zeigen einen ähnlichen, fast exponentiellen Verlauf. Lediglich bei der 10-fach zu hohen Ethanol-Konzentration zeigt sich eine gewisse Hemmwirkung auf das Bakterienwachstum. Aber auch bei diesem Versuch spielt der Ausfall der Ethanol-Kontrolle keine wesentliche Rolle. Es bestätigt sich hier sogar, dass selbst eine 1:200 Verdünnung von Ethanol, wie sie bei der 250ug/ml Capsaicin-Konzentration herrscht, keinen Einfluss auf das Bakterienwachstum hat. Deshalb kann angenommen werden, dass bei einer korrekten Ethanol-Kontrolle ein ähnlicher Verlauf des Bakterienwachstums eingetreten wäre, wie bei allen Capsaicin-Konzentrationen.

<b>c(Capsaicin)</b>	<b>0 h</b>	<b>1.16 h</b>	<b>2.32 h</b>	<b>3.48 h</b>	<b>4.64 h</b>
5 µg/ml	0.002	0.042	0.562	0.821	1.5
25 µg/ml	0.001	0.037	0.545	0.877	1.52
40 µg/ml	0	0.051	0.514	0.885	1.682
50 µg/ml	0	0.053	0.643	0.977	1.82
250 µg/ml	0.127	0.061	0.414	0.75	1.68
Ethanol Kontrolle	0.001	0.015	0.1	0.405	1.2

Tabelle 5: Messwerte der OD zu verschiedenen Zeitpunkten (h) bei *E. coli* (Bl 21). Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 4 beschriebenen Vorgehen.

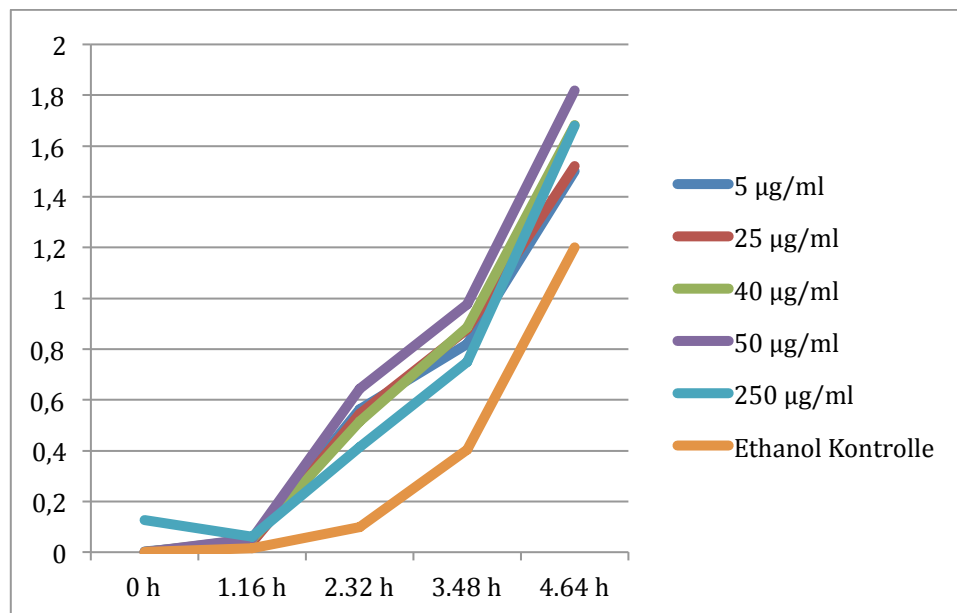


Abb.13: Wachstumskurve von *E. coli* (Bl 21) bei verschiedenen Capsaicin-Konzentrationen. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 4 beschriebenen Vorgehen. Auf der x-Achse ist der Zeitverlauf angegeben, auf der y-Achse die OD.

#### 4.1.3 *B. subtilis*

Die Wachstumskurven von *B. subtilis* weisen einen sehr interessanten Verlauf auf. Während die niedrigen und mittleren Konzentrationen von Capsaicin keinen Effekt auf das Wachstum der Bakterien haben, führt die höchste Capsaicin-Konzentration zu einem vollständigen Block des Bakterienwachstums. Die Ethanol-Kontrolle ist wieder 10-fach zu hoch.

<b>c(Capsaicin)</b>	<b>0 h</b>	<b>1.16 h</b>	<b>2.32 h</b>	<b>3.48 h</b>	<b>4.64 h</b>
5 µg/ml	0.012	0.05	0.533	0.859	1.408
25 µg/ml	0.011	0.049	0.501	0.656	1.18
40 µg/ml	0.009	0.027	0.443	0.758	1.32
50 µg/ml	0.01	0.028	0.356	0.663	1.34
250 µg/ml	0.127	0.023	0.008	0.008	0.004
Ethanol					
Kontrolle	0.002	0.012	0.107	0.468	1.12

Tabelle 6: Messwerte der OD zu verschiedenen Zeitpunkten (h) bei *B. subtilis*. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 4 beschriebenen Vorgehen.

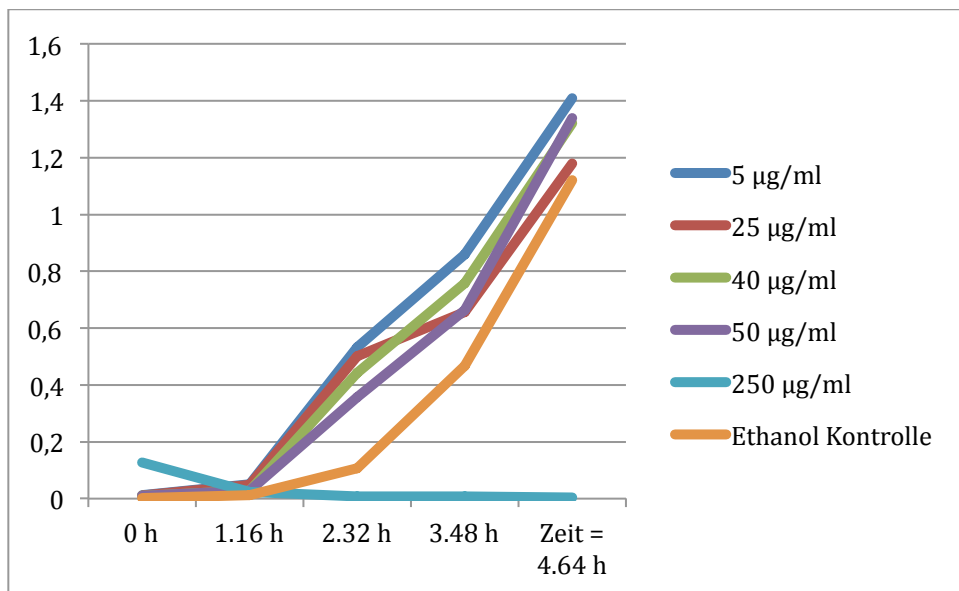


Abb.14: Wachstumskurve von *B. subtilis* bei verschiedenen Capsaicin-Konzentrationen. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 4 beschriebenen Vorgehen. Auf der x-Achse ist der Zeitverlauf angegeben, auf der y-Achse die OD.

## 4.2 Die Wirkung des Chili-Extrakts auf das Bakterienwachstum

### 4.2.1 *E. coli* (Bl 21)

Bei *E. coli* (Bl 21) ist eine durch das Chili-Extrakt verursachte Dosis-abhängige Wirkung auf das Bakterienwachstum erkennbar. Allerdings hat höchste Capsaicin-Konzentration in etwa den gleichen Effekt wie die Ethanol-Kontrolle, die in diesem Experiment richtig

berechnet wurde (1:100). Das bedeutet, dass die Wirkung wahrscheinlich nicht vom Chili-Extrakt stammt, sondern vom Ethanol. Dagegen spricht, dass auch die niedrigen Capsaicin-Konzentrationen einen Dosis-abhängigen Effekt zeigen und bei diesen Konzentrationen kein Ethanol-Effekt mehr zu erwarten ist, wie ganz klar in Abbildung 13 gezeigt wurde, wo selbst eine 1:200 Verdünnung von Ethanol keinen Einfluss auf das Bakterienwachstum hatte. Zusammengefasst wird die Grafik so gedeutet, dass es sich bei den 1:1000 und 1:10000 Verdünnungen wahrscheinlich um Messfehler handelt oder andere Stoffe im Extrakt für die Hemmung verantwortlich waren. Diese Vermutung wird durch den Fakt gestützt, dass beim Capsaicin-Versuch bei *E. coli* (Bl 21) keine wachstumshemmende Wirkung erkennbar war.

c(Chili-Extrakt)	0h	2.3 h	4.6 h
1:100	0.256	0.831	1.42
1:1000	0.071	0.933	2.2
1:10000	0.13	1.374	3.4
EtOH-Kontrolle	0.027	0.628	1.44

Tabelle 7: Messwerte der OD zu verschiedenen Zeitpunkten bei *E. coli*. Eine Vorkultur der Bakterien wurde zu den 3 angegebenen Verdünnungen des Chili-Extrakts gegeben und zu 3 verschiedenen Zeitpunkten wurde die optische Dichte der Bakterienkulturen gemessen. Zwischen den Messungen wurden die Bakterienkulturen bei 37° C im Laborschüttler kultiviert. Wenn die Messwerte über OD: 0.8 lagen, wurden die Bakterienkulturen verdünnt und noch einmal gemessen. Die Werte wurden dann entsprechend berechnet und in die Tabelle eingefügt. So konnten auch Werte über 0.8 aufgeführt werden.

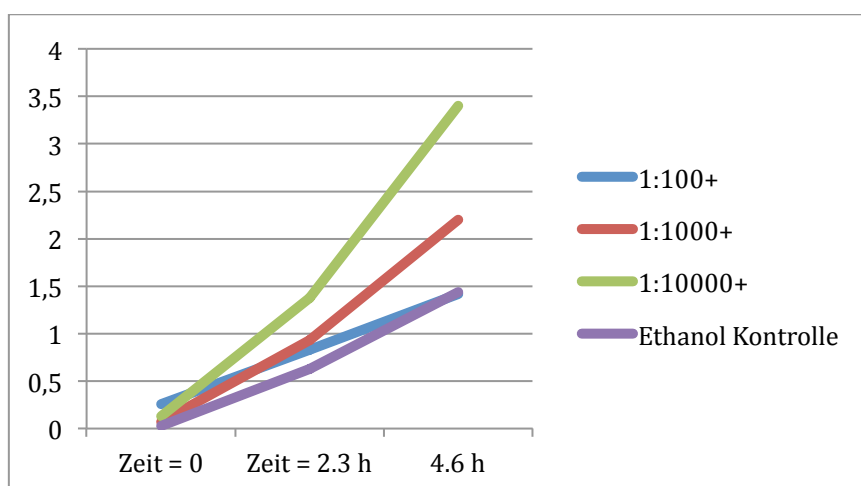


Abb.15: Wachstumskurven von *E. coli* (Bl 21) bei verschiedenen Chili-Extrakt-Konzentrationen. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 7 beschriebenen Vorgehen. Auf der x-Achse ist der Zeitverlauf angegeben, auf der y-Achse die OD.

#### 4.2.2 *B. subtilis*

Bei diesem Versuch sind interessante Kurvenverläufe feststellbar. Auffällig ist, dass die Linie der stärksten Konzentration einen sehr hohen Startpunkt hat, was vermutlich an der Eigenabsorption des gelösten Chili-Extrakts liegt, das eine dunkle rot-braune Färbung besass. Trotzdem ist bei der stärksten Konzentration eine deutliche Hemmung des Bakterienwachstums erkennbar, denn verglichen mit den anderen Kurven ist sie deutlich flacher. Auffällig ist ebenfalls, dass der Messpunkt der Verdünnung 1:1000 bei 2,3 h auf kein Bakterienwachstum hinweist. Da danach allerdings die Kurve stark ansteigt, ist dies vermutlich auf einem Messfehler zurückzuführen.

c(Chili-Extrakt)	0 h	2.3 h	4.6 h
1:100	0.227	0.333	0.52
1:1000	0.029	0.031	0.8
1:10000	0.028	0.26	1.2
Ethanol Kontrolle	0.013	0.185	0.8

Tabelle 7: Messwerte der OD zu verschiedenen Zeitpunkten bei *B. subtilis*. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 7 beschriebenen Vorgehen.

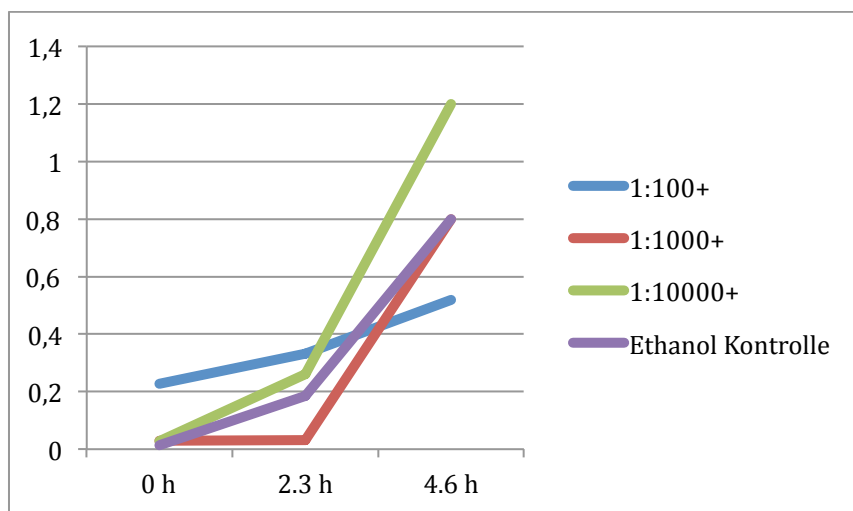


Abb.16: Wachstumskurven von *B. subtilis* bei verschiedenen Chili-Extrakt-Konzentrationen. Der Versuchsaufbau entspricht dem in Tabelle 7 beschriebenen Vorgehen. Auf der x-Achse ist der Zeitverlauf angegeben, auf der y-Achse die OD.



## 5 Diskussion

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen, dass Capsaicin ab einer bestimmten Konzentration eine antibiotische Wirkung auf Bakterien haben kann. Allerdings scheinen *E. coli* Bakterien weniger empfindlich zu sein als *B. subtilis* oder das Bakterienisolat aus den Ohren. Zunächst stellt sich nun die Frage, ob die verwendeten Capsaicin-Konzentrationen überhaupt relevant sind, oder vielleicht viel zu hoch angesetzt wurden. Deswegen sollten zunächst die im Versuch verwendeten Konzentrationen mit den Mengenangaben der medizinisch eingesetzten Capsaicin-Produkten verglichen werden.

### 5.1 In der Praxis zu erwartende Effekte des Capsaicins auf die verschiedenen Bakterienstämme

Als Capsaicin-Produkte wurden exemplarisch einige Beispiele für die Vergleiche ausgewählt und mit der entsprechenden Capsaicin-Anteil-Angabe in Prozent aufgelistet:

Crème: [http: Hot Thermo dura C](http://HotThermoDuraC.com), von Merck dura GmbH, 0,053% Capsaicin<sup>33</sup>

Pflaster: Qutenza®, von Astellas Pharma AG: 8% Capsaicin<sup>34</sup>

Getrocknete Habanero Chilis: zwischen 0,625% - 3,125% Capsaicin

Chilli-Extrakt, aus der Aromenindustrie: ca. 6,6% Capsaicin<sup>35</sup> bis 44,33% Capsaicin<sup>36</sup>  
(entspricht 1 Mio. – 7,1 Mio. Scoville-Einheiten)

Rechnet man nun die bei den Versuchen verwendeten Konzentrationen ebenfalls in prozentuale Angaben um, so erhält man folgende Werte:

5 µg/ml = 0,0005 %

25 µg/ml = 0,0025 %

40 µg/ml = 0,004 %

50 µg/ml = 0,005 %

250 µg/ml = 0,025 %

---

<sup>33</sup> <http://medikamente.onmeda.de/Medikament/hot+Thermo+dura+C.html>

<sup>34</sup> <http://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Capsaicin-Pflaster&search=Capsaicin%20Pflaster#bottom>

<sup>35</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Capsaicin>

<sup>36</sup> <http://www.hotsaucen.ch/exklusivitaeten/the-source.htm>

Man sieht nun, dass die Capsaicin-Produkte alle höhere Capsaicin-Anteile haben als die verwendeten Konzentrationen beim Versuch.

Die Capsaicin-Produkte besitzen eine 2-fach bis 320-fach stärkere Konzentrationen als die höchste, beim Versuch verwendete Konzentration. Die Chili-Extrakte sind sogar um ein 260- bis 1700-faches stärker konzentriert.

Es ist allerdings noch gesamthaft zu bedenken, dass die Versuche *in vitro* mit Flüssigkulturen gemacht wurden und auf der Haut folglich ganz andere Versuchsbedingungen bestehen könnten. Bei dieser Diskussion wird jedoch angenommen, dass diese Unterschiede das Ergebnis nicht entscheidend beeinflussen.

Im Folgenden sollen die möglichen Effekte von Capsaicin-Produkten auf die im Versuch verwendeten Bakterienstämme diskutiert werden.

#### 5.1.1 Bakterienisolat aus den Ohren:

Wie bei den Resultaten beschrieben, ist beim Bakterienisolat der Ohren gesamthaft eine dosisabhängige Wirkung erkennbar.

Das bedeutet konkret, dass für die Anwendung von Capsaicin-Produkten lokal eine Dezimierung dieses Bakterienstammes anzunehmen ist, insbesondere weil die Medikamente stärkere Konzentrationen enthalten. Nimmt man beispielsweise an, dass eine Person ihre am Ohr vorkommende Gürtelrose mit dem Capsaicin-Pflaster Qutenza® bekämpft, so würde dort eine Konzentration von 8% auf die dort lebenden Bakterien treffen, was eine 320-fach stärkere Konzentration als die maximal im Versuch verwendete Konzentration bedeuten würde. Dies würde vermutlich nicht nur zu einem Rückgang, sondern, sofern über einen längeren Zeitraum angewendet, lokal zu einer kompletten Auslöschung dieses Stamms führen. Falls es sich um pathogene Bakterien handelt, ist dies ein durchaus gewünschter Effekt, aber wenn die normale Bakterienflora der Haut angegriffen wird, kann das später zu negativen Effekten führen.

### 5.1.2 *E. coli* (Bl 21):

Das Darmbakterium *E. coli* (Bl 21) wird durch die im Versuch verwendeten Capsaicin-Konzentrationen nicht signifikant im Wachstum gehemmt. Dies lässt darauf schliessen, dass der Verzehr von Chilis oder Chiliprodukten vermutlich keine besondere Wirkung beim Menschen auf diesen Stamm haben würde.

Doch auch wenn keine Wirkung gefunden wurde, ist folgend ist als Beispiel trotzdem eine kurze Rechnung beschrieben, mit welcher ungefähr berechnet werden kann in welchem Verhältnis die in der Praxis tatsächlich vorkommenden Konzentrationen mit denen des Versuchs stehen.

Nimmt man als Beispiel getrocknete Habaneros und nimmt an, dass eine Person eine Habanero mit 1g Gewicht (entspricht 0,00625g – 0,03125g Capsaicin) beim Essen zu sich nimmt, könnte man über das ungefähre Volumen des Magens annähernd die Konzentration berechnen, welche in seinem Magen entsteht. Ein menschlicher Magen besitzt ein Volumen von ungefähr 1,5 L<sup>37</sup>. Somit ergibt sich eine Konzentration von  $0,00625\text{g} : 1500\text{ ml} = 0,00000417\text{ g/ml} = 4,17\mu\text{g/ml}$  bis  $0,03125\text{g} : 1500\text{ml} = 0,0000208\text{g/ml} = 0,02\text{mg/ml} = 20\mu\text{g/ml}$ . Da nicht einmal bei einer Konzentration von 250 $\mu\text{g/ml}$  eine Wirkung gefunden wurde, ist diese Konzentration von 4,1  $\mu\text{g/ml}$  bis 20 $\mu\text{g/ml}$  also deutlich zu klein um *E. coli* im Wachstum zu beeinträchtigen. Selbst wenn der Magen nur zu einem zehntel gefüllt ist, kommt man mit 41 bis 200  $\mu\text{g/ml}$  gerade in den Bereich der getesteten Konzentrationen. Da diese Konzentrationen keine Wirkung auf das Bakterienwachstum von *E. coli* (BL 21) zeigten, kann man davon ausgehen, dass sie auch keine Wirkung auf im Darm lebende *E. coli* Stämme hat.

### 5.1.3 *B. subtilis*:

Beim Versuch mit *B. subtilis* wurde die stärkste Wirkung des Capsaicins festgestellt. Bei der höchsten Konzentration wurde sogar jegliches Wachstum verhindert.

Da *B. subtilis* im menschlichen Darm vorkommt, kommen als wirkende Substanzen nur oral eingenommene Chilis oder Chiliprodukte in Frage.

Die berechnete Capsaicin-Konzentration von 4,1  $\mu\text{g/ml}$  bis maximal 200  $\mu\text{g/ml}$ , welche im Verdauungssystem eines Schärfe-liebenden Menschen vorherrschen könnte

---

<sup>37</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Magen>

(Rechnung siehe oben), könnte bei *B. subtilis* Bakterien tatsächlich eine Wachstumshemmung bewirken. Eine Konzentration von 200 µg/ml wird aber wahrscheinlich nur in extremen Fällen erreicht, wie etwa bei einem Chili-Wettessen oder einem extrem scharf essenden tropischen Menschenstamm.

## 5.2 Berechnung der Schärfe und der Capsaicinkonzentration des Chili-Extrakts

5.2.1 *E. coli*: Da wie auch bei allen Capsaicin-Konzentrationen keine Wirkung des Chili-Extrakts erkennbar ist, kann aufgrund dieser Ergebnisse kein richtiger Vergleich angestellt werden.

### 5.2.2 *B. subtilis*:

Der Vergleich des Versuchs mit den verschiedenen Capsaicin-Konzentrationen zeigt, dass die höchste Konzentration des Chili-Extrakts zwar nicht so stark wirkt wie die 250 µg/ml-Kurve des Capsaicins, aber doch eine deutlich stärkere Wirkung besitzt als die 50 µg/ml-Kurve des Capsaicins. Dies bedeutet konkret, dass sich die stärkste Konzentration des Chili-Extrakts vermutlich etwa in der Mitte des Bereichs zwischen 50 µg/ml und 250 µg/ml Capsaicins einzuordnen ist. Da die Konzentration an reinem Chili-Extrakt 113mg/ml betrug und diese mit 1:100 verdünnt wurde, lässt sich errechnen, dass ein Teil Chili-Extrakt zwischen  $1130\mu\text{g/ml} : 50\mu\text{g/ml} = 22,6\text{-fach}$  und  $1130\mu\text{g/ml} : 250\mu\text{g/ml} = 4,5\text{-fach}$  schwächer wirkt als ein Teil Capsaicin. Da die Scoville-Skala linear ansteigt, kann nun einfach durch dividieren der zwei Faktoren das Minimum und das Maximum in Scoville-Einheitenausgerechnet werden. Die Berechnung der Schärfe des Chili-Extrakts geschieht in diesem Falle allerdings unter der Annahme, dass das Capsaicin als einziger Stoff des Extrakts eine Wirkung auf das Bakterienwachstum hat und keine andere Substanz dabei eine Rolle spielte. Tatsächlich könnten sich im Extrakt noch andere Substanzen wie ätherische Öle befinden, welche durchaus eine antibakterielle Wirkung auf das Bakterienwachstum besitzen könnten. Unter der idealisierten Annahme, dass Capsaicin der einzige antibakteriell wirkende Stoff im Extrakt ist, kann eine sehr grobe Rechnung angestellt werden, um die Capsaicin-Konzentration zu errechnen. Da das gekaufte, fast reine Capsaicin annähernd 16.000.000 Scoville-Einheiten scharf ist, liegt das Ergebnis des Chili-Extrakts zwischen 707'964 Scoville-Einheiten und 3'555'555 Scoville-Einheiten. Umgerechnet in Prozent

erhält man eine Ergebnisspalte von 4,42% und 22,22%. Dieses Ergebnis liegt erstaunlicherweise sogar recht nahe beim Literaturwert für verschiedene Chili-Extrakte, welche zwischen 6,6%<sup>38</sup> und 44,33%<sup>39</sup> Capsaicin liegen.

### 5.3 Vergleich mit der Literatur

Vergleicht man nun die Ergebnisse dieser Arbeit mit denen der publizierten Arbeit<sup>40</sup> welche zuvor als Grundlage für die Wahl der Versuchsbedingungen (Konzentrationen, Messzeiten usw.) genutzt worden war, werden deutliche Unterschiede erkennbar. Bei der eigenen Arbeit wurden einmal keine Hemmung, einmal eine leichte Hemmung ab 250 µg/ml und einmal eine komplette Hemmung ab 250 µg/ml gefunden. Bei der Referenzarbeit wurde hingegen schon ab 50 µg/ml eine komplette Hemmung auf das Wachstum von *H. pylori* gefunden. Dieser Vergleich zeigt deutlich, dass verschiedene Bakterienstämme unterschiedlich stark auf Capsaicin reagieren. Bei dem Vergleich ist auch zu bedenken, dass die Bakterienstämme von verschiedenen Körperstellen stammen: *E. coli* und *B. subtilis* sind Darmbakterien, *H. pylori* ist ein Magenbakterium, beim Bakterienisolat aus den Ohren handelt es sich wahrscheinlich um ein Bakterium der Hautflora. Da die stärkste Wirkung auf die Magenbakterien und nun durch die vorliegende Arbeit auf die Hautbakterien gefunden wurden, kann nicht abgeleitet werden, dass bestimmte Körperpartien besonders betroffen sind.

Da die Wirkung von Capsaicin auf molekularer Ebene bei Bakterien noch nicht genauer in der Literatur beschrieben ist, lassen sich darüber nur Vermutungen anstellen. Eine Möglichkeit wäre, dass die unterschiedliche Komposition der Zellwand von grampositiven und gramnegativen Bakterien einen unterschiedlich guten Schutz gegen das Capsaicin vermitteln könnte. Dies lässt sich jedoch widerlegen, da sowohl das Wachstum von *H. pylori* als gramnegatives<sup>41</sup> Bakterium, als auch *B. subtilis* als grampositives<sup>42</sup> Bakterium durch Capsaicin gehemmt werden.

---

<sup>38</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Capsaicin>

<sup>39</sup> <http://www.hotsaucen.ch/exklusivitaeten/the-source.htm>

<sup>40</sup> [http://www.anmicro.unimi.it/full/55/zeyrek\\_55\\_125-127.pdf](http://www.anmicro.unimi.it/full/55/zeyrek_55_125-127.pdf)

<sup>41</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Helicobacter\\_pylori](http://de.wikipedia.org/wiki/Helicobacter_pylori)

<sup>42</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Bacillus\\_subtilis](http://de.wikipedia.org/wiki/Bacillus_subtilis)

Abschliessend gibt es eine interessante Überlegung, denn da beim Isolat der Ohren eine sehr starke Wirkung bei der Verwendung von Capsaicin-Produkten errechnet wurde, stellt sich die Frage, ob die Capsaicin-Produkte vor dem öffentlichen Verkauf entsprechend gut auf Nebenwirkungen getestet wurden. Da in der Literatur solche Versuche nicht zu finden waren, ist durchaus möglich, dass diese eher Langzeit-Nebenwirkungen nicht getestet wurden. Für Patienten, die über längere Zeit grossflächig Capsaicin-Produkte auf die Haut auftragen, könnten die Ergebnisse dieser Arbeit also durchaus relevant sein. Das Stören des Gleichgewichts der Bakterienflora der Haut könnte unter Umständen das Ansiedeln pathogener Keime, die nicht von Capsaicin gehemmt werden, ermöglichen und zu den oben erwähnten Langzeit-Nebenwirkungen führen. Bei der lokalen Verwendung sind dagegen keine grossen Nebenwirkungen zu erwarten, da sich der Bestand der Bakterien der behandelten Körperstelle einige Zeit nach dem Gebrauch vermutlich wieder erholt.

## 6 Zusammenfassung

Die Chili ist bei den Nachtschattengewächsen (*Solanaceae*) einzuordnen und gehört der Gattung der Paprika (*Capsicum*) an. Sie wird in 33 verschiedenen Arten aufgliedert, von welchen allerdings nur fünf für den Menschen von Bedeutung für Kultivierungszwecke sind. Chilis sind heute fast überall auf der Welt verbreitet. Sie werden schon seit über 9000 Jahren vom Menschen angepflanzt. Vergleichsweise jung dazu ist ihre Verbreitung aus Süd- und Mittelamerika auf die Kontinente Europa, Afrika und Asien, welche erst vor etwa 500 Jahren durch Eroberer und Entdecker wie Christoph Columbus eingeleitet wurde.

Heutzutage werden Chilis vom Menschen vielseitig und in sehr unterschiedlichen Lebensbereichen eingesetzt. Grösstenteils wird sie als Geschmacks- und Nahrungsmittel in den wärmeren Teilen der Welt gegessen, wo sie sich für den Menschen aufgrund der antibakteriellen und Körpertemperatur senkenden Wirkung des Stoffs Capsaicin als nützliches natürliches Mittel bewährt.

Neben der typischen Verwendung als Nahrungsmittel werden Chilis auch aufgrund ihres Wirkstoffs Capsaicin zu medizinischen Zwecken genutzt. Dabei werden sie meist auf der Haut in Form von Pflastern oder Cremes eingesetzt. Ziel dieser Produkte ist es die entsprechende Körperstelle zu wärmen und damit Schmerzen zu lindern.

Im praktischen Teil dieser Arbeit ging es darum herauszufinden, ob das Capsaicin der besagten Produkte oder der als Nahrungsmittel verwendeten Chilis eine Wirkung auf das Wachstum von Bakterien der menschlichen Körperflora haben kann.

Dazu wurden exemplarisch die Wirkung von Capsaicin auf das Wachstum von drei Bakterienstämmen (*Escherichia coli* (Bl 21), *Bacillus subtilis* und ein selbst isoliertes Hautbakterium aus den Ohren) untersucht. Flüssigkulturen mit verschiedenen Capsaicin-Konzentrationen wurden mit Bakterien angeimpft und es wurden über die Messung der optischen Dichte Wachstumskurven erstellt. Es zeigte sich, dass das Wachstum des Bakterienisolates der Ohren und bei *B. subtilis* signifikant gehemmt wird.

Ein deutlicher Effekt war aber nur bei der jeweils höchsten Konzentration (250 µg/ml) zu erkennen.

Dann wurde grob berechnet, dass ein Chili-Konsum von gängigem Ausmass nicht ausreicht, um eine genügend hohe Capsaicin-Konzentration im Magen-Darm-Trakt zu erreichen, die das Wachstum von *B. subtilis* hemmen würde.

Für das Bakterienisolat der Ohren ergab sich, dass eine sehr starke Dezimierung des Bakterienstammes bei Anwendung eines Chili-Produkts wahrscheinlich ist, da die Konzentrationen der Capsaicin-Produkte um ein Vielfaches grösser sind als die beim Versuch verwendeten Konzentrationen.

Unabhängig von der vorliegenden Arbeit wurde publiziert, dass das Wachstum von *H. pylori* schon bei niedrigeren Konzentrationen von 25µg/ml beeinträchtigt wird<sup>43</sup>. Deshalb lässt sich gesamthaft darauf schliessen, dass die Wirkung von Capsaicin abhängig von der Bakterienspezies ist.

Neben den Versuchen mit dem Capsaicin wurde noch ein selbst hergestellter Chili-Extrakt auf die Bakterienstämme *E. coli* (Bl 21) und *B. subtilis* getestet. Dabei wurde über den direkten Vergleich der wachstumshemmenden Wirkung des Capsaicin-Versuchs mit der wachstumshemmenden Wirkung des Chili-Extrakts eine ungefähre Angabe zur Schärfe des eigenen Chili-Extrakts gemacht. Es zeigte sich, dass das Chili-Extrakt eine recht starke wachstumshemmende Wirkung aufweist. Unter der Annahme, dass beim Chili-Extrakt lediglich das Capsaicin als wachstumshemmende Substanz fungiert, besitzt der Extrakt laut Berechnung eine ungefähre Schärfe zwischen 707'964 Scoville-Einheiten und 3'555'000 Scoville-Einheiten, was einem Anteil von 4,4% bis 22,2% entspricht. Dieses Ergebnis liegt durchaus im Bereich des Literaturwerts für den Capsaicin Gehalt von Chili-Extrakten, welcher zwischen 6,6%<sup>44</sup> und 44,3%<sup>45</sup> liegt.

---

<sup>43</sup> [http://www.annmicro.unimi.it/full/55/zeyrek\\_55\\_125-127.pdf](http://www.annmicro.unimi.it/full/55/zeyrek_55_125-127.pdf)

<sup>44</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Capsaicin>

<sup>45</sup> <http://www.hotsaucen.ch/exklusivitaeten/the-source.htm>



## 7 Anhang

### 7.1 Literaturverzeichnis

#### 7.1.1 Buchverzeichnis:

Gordon-Smith, Clare: Lust auf Chilis, Verlag W. Hölker GmbH, 2009

#### 7.1.2 Internetverzeichnis

Redaktion „ArtikelMagazin“: Der Mensch und seine Bakterien,

<http://www.artikelmagazin.de/gesundheit/der-mensch-und-seine-bakterien.html>,

17.8.12

Sánchez-Escalante, Armida; Torrescano, Gastón; Djamel Djenane; Roncalés, José Antonio

Beltrán· Pedro: Stabilisation of colour and odour of beef patties by using lycopene-rich

tomato and peppers as a source of antioxidants,

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.1298/abstract>, 22.8.12

Scheloske, Marc: "Cöster" liebt es scharf: Springreiter Christian Ahlmann nach Capsaicin-Befund

von Olympia suspendiert, [http://www.scienceblogs.de/neurons/2008/08/coster-liebt-es-](http://www.scienceblogs.de/neurons/2008/08/coster-liebt-es-scharf-springreiter-christian-ahlemann-nach-capsaicin-befund-von-olympia-suspendiert.php)

[scharf-springreiter-christian-ahlemann-nach-capsaicin-befund-von-olympia-suspendiert.php](http://www.scienceblogs.de/neurons/2008/08/coster-liebt-es-scharf-springreiter-christian-ahlemann-nach-capsaicin-befund-von-olympia-suspendiert.php),

22.8.12

Tewksbury, Joshua J.; Reagan, Karen M.; Machnicki, Noelle J.; Carlo, Tomás A.; Haak,

David C.; Calderón Peñaloza, Alejandra Lorena; Levey, Douglas J.: Evolutionary ecology

of pungency in wild chilies, <http://www.pnas.org/content/105/33/11808.full>, 17.8.12

Yildiz Zeyrek, Fadile; Oguz, Elif: In vitro activity of capsaicin against *H. pylori*,

[http://www.annmicro.unimi.it/full/55/zeyrek\\_55\\_125-127.pdf](http://www.annmicro.unimi.it/full/55/zeyrek_55_125-127.pdf), 18.8.12

Zoschke, Harald; Suncoast Peppers GmbH: <http://www.pepperworld.com>, 17.8.12

Internetquellen ohne Angaben zum Verfasser sind mit O.A.z.V. abgekürzt:

O.A.z.V.: Capsaicin, <http://de.wikipedia.org/wiki/Capsaicin>, 17.8.12

O.A.z.V.: Bacillus subtilis, [http://de.wikipedia.org/wiki/Bacillus\\_subtilis](http://de.wikipedia.org/wiki/Bacillus_subtilis), 18.8.12

O.A.z.V.: H. pylori, [http://de.wikipedia.org/wiki/Helicobacter\\_pylori](http://de.wikipedia.org/wiki/Helicobacter_pylori), 18.8.12

O.A.z.V.: Geschmackliche Schärfe, [http://de.wikipedia.org/wiki/Geschmackliche\\_Schärfe](http://de.wikipedia.org/wiki/Geschmackliche_Schärfe), 17.8.12

O.A.z.V.: Magen, <http://de.wikipedia.org/wiki/Magen>, 18.8.12

O.A.z.V.: Paprika, <http://de.wikipedia.org/wiki/Paprika>, 17.8.12

O.A.z.V.: Interessante Informationen zum Thema Chilis, <http://www.aschulze.net/chili/index.htm>, 17.8.12

O.A.z.V.: The source, <http://www.hotsaucen.ch/exklusivitaeten/the-source.htm>, 18.8.12

O.A.z.V.: Der Ur-Chili, <http://www.kraeuter-oase.at/chili-paprika/botanik/>, 17.8.12

O.A.z.V.: Capsaicin, <http://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Capsaicin>, 17.8.12

O.A.z.V.: Hot Thermo dura C, <http://medikamente.onmeda.de/Medikament/hot+Thermo+dura+C.html>, 18.8.12

## 7.2 Bildverzeichnis

Abb.1, Fabian Heussler

Abb.2, Fabian Heussler

Abb.3, <http://www.gringokiller.de/chilis/index.php>, 17.8.12

Abb.4 Fabian Heussler

Abb.5, <http://www.chili-con-carne.com/Chili-con-Carne-Rezept/>, 17.8.12

Abb.6, [http://www.valeopharma.com/customer\\_files/catalog/capsaicin25\\_big.jpg?=&=](http://www.valeopharma.com/customer_files/catalog/capsaicin25_big.jpg?=&=)

Abb.7, <http://alexandra-lifewithdignity.blogspot.ch/2012/08/qutenza.html>

Abb.8, Fabian Heussler

Abb.9, Fabian Heussler

Abb.10, Fabian Heussler

Abb.11, Fabian Heussler

Abb.12, Fabian Heussler

Abb.13, Fabian Heussler

Abb.14, Fabian Heussler

Abb.15, Fabian Heussler

Abb.16, Fabian Heussler

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1, <http://www.pepperworld.com/cms/grundlagen/brenn-o-meter.php>, 17.8.12

Tabellen 2 bis 7, Fabian Heussler