



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

**Fachbereich Agrarwirtschaft und
Lebensmitteltechnologie**

Studiengang Lebensmittel- und Bioprodukttechnologie

WS 2020/2021

MASTERARBEIT

**Behandlung von Getreide mit Kaltem Plasma
zur Verlängerung der Haltbarkeit**

Verfasser: Hussein Almadhoun

Betreuer: Prof. Dr. Leif-Alexander Garbe

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Heralt Schöne

Neubrandenburg, den 01.04.2021

URN: urn: nbn:de: gbv:519-thesis2020 -0161-7

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	4
Abstrakt	5
1 Einleitung.....	6
2 Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1 Allgemeines zu Getreide.....	7
2.2 Getreidearten	9
2.2.1 Weizen und Dinkel.....	9
2.2.2 Roggen und Triticale	10
2.2.3 Gerste	10
2.2.4 Hafer	11
2.2.5 Reis.....	12
2.2.6 Mais	12
2.2.7 Hirse.....	13
2.2.8 Pseudocerealien	13
2.3 Aufbau und Inhaltstoffe des Getreidekornes.....	14
2.4 Mikroorganismen	15
2.4.1 Lebensbedingungen.....	15
2.4.2 Mykotoxin.....	17
2.4.3 Schimmelpilze	18
2.4.3.1 Morphologische und Physiologische Eigenschaften.....	19
2.4.4 Bakterien.....	19
2.4.4.1 Morphologische und Physiologische Eigenschaften.....	19
2.4.5 Hefen	21
2.4.5.1 Morphologische und Physiologische Eigenschaften.....	21
2.5 Kaltplasma im Lebensmittelbereich	23
2.5.1 Definition	23
2.5.2 Arten des Kaltplasmas im Lebensmittelbereich	24
2.5.3 Mechanismen der Inaktivierung von Lebensmitteln.....	26
2.5.4 Einfluss auf Lebensmittel.....	27
2.5.6 Anwendung im Lebensmittelbereich.....	28
3 Materialien und Methoden	30
3.1 Aufbau des T- Jet Plasmageräts.....	31
3.2 Aufbau des T-Spot Plasmageräts	32
3.3 Aufbau des DBE Plasmageräts.....	34
4 Durchführung	35

4.1 Vorbereitung der Agar-Medien	35
4.2 Herstellung der flüssigen Medien.....	35
4.3 Herstellung der Verdünnungsreihe	35
4.4 Auswertung und Berechnung der Gesamtkeimzahl.....	37
4.5 Messung durch optische Dichte	37
4.6 Vorbereitung der Probe.....	38
4.7 Die Behandlung von Gerste mit T-Spot Plasma.....	38
4.8 Die Behandlung von Gerste mit T-Jet Plasma.....	39
4.9 Die Behandlung von Gerste mit DBE Plasma.....	39
5 Ergebnisse.....	40
5.1 Die Behandlung von Gerste mit T-Spot Plasma.....	40
5.2 Die Behandlung von Gerste mit T-Jet Plasma.....	41
5.3 Messung durch Photometer	42
6 Diskussion und weitere Vorgehensweise.....	44
7 Zusammenfassung.....	45
8 Abkürzungen- und Symbolverzeichnis	46
9 Abbildungsverzeichnis.....	47
10 Tabellenverzeichnis	48
11 Literaturverzeichnis	49
12 Anhängen	52

Danksagung

An diesem Zeitpunkt möchte Ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Zuerst möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Leif-Alexander Garbe und Herrn Prof. Dr.-Ing. Schöne Heralt für die Bereitstellung des interessanten Themas und gute Betreuung bedanken.

Anschließend möchte ich mich bei Frau Dr. Carle Tatiana, Herrn Florian Wald und Herrn Lukas Hoffmann für die Unterstützung und den Ablauf der Physikalischen mikrobiologischen Labore bedanken.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinen Freunden für ihre Geduld und dauernde Unterstützung.

Nicht zuletzt gilt mein herzlicher, besonderer und tiefer Dank an meinen Eltern, die mich während der Masterarbeit und auch während meines gesamten Studiums unvergessen und kräftig unterstützt, und viel bemüht haben.

Abstrakt

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Haltbarkeit von Gerste mithilfe eines atmosphärischen Kaltplasma zu verlängern. Da ein Kaltplasma nicht-thermisches Plasma ist, wird es in der Nähe der Raumtemperatur erzeugt. Demnach kommen an Lebensmitteln keine thermischen Schäden vor. Aus diesem Grund könnte es als angemessenes alternatives Verfahren für die wärmeempfindlichen Lebensmittel zum Einsatz kommen. Es wurden verschiedenen Methoden des Kaltplasmas untersucht, T-Spot-, T-Jet- und DBE-Plasma. Es wurden Sowohl flüssige Nährmedien als auch feste Nährmedien zur Kultivierung der behandelten Proben verwendet. Dabei zeigen die Ergebnisse eine inaktivierende Wirkung je nachdem welche Plasmaanlage verwendet wurde. Die Biomasse und Koloniebildende Einheiten wurde durch das Photometer und die mikrobiologische Kultivierung gemessen. Einige Abweichungen der Ergebnisse wegen der vermutlich unpassende verwendete Plasmaanlage werden als Ausnahmen betrachtet und auf Messfehler zurückgeführt.

1 Einleitung

Getreideprodukte enthalten viele Nährstoffe, die als Stimulatoren für das Wachstum der Mikroorganismen. Die Mikroorganismen können als Auslöser von Verderbprozessen, Infektionserreger und Toxin Produzenten zu gefährlichen Ertragseinbußen führen. Da Getreide ein Keimspektrum erhalten, lassen sie sich aus diesem Grund mögliche Mykotoxin-Belastungen, Infektionsgefahren und Futterwert-Vermeidungen abschätzen. Deswegen könnte ein Risiko des Lagerverderbs oder einer Herkunft einer mikrobiologischen Kontamination entstehen (Medianer,2018).

Getreidelagerung hat nicht allein in Europa, sondern auf der ganzen Welt Gleichmaßen eine ausführliche, wirtschaftliche Dimension. Laut Schätzungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) betragen die globalen Lagerverluste zwischen 10 % und 30 %. Verantwortlich für rund 80% der Verluste sind Insekten wie Kornkäfer, Mehlkäfer, Getreideplattkäfer, Mehlmotten oder Milben. Die Übrigen 20% gehen auf das Konto von Vögeln, Nagetieren und Pilzen. In Deutschland sollen ca. 40 Mio. Euro Verluste in landwirtschaftlichen Getreidelagern durch Ratten und Mäuse verursacht sein (Gegenbach, 2013).

Gerste ist eines der Hauptgetreide, das als Tierfutter zur Herstellung von Produkten auf Getreidebasis verwendet wird, und in der Bauindustrie sehr verbreitet.

Es wurden viele Strategien zur Unterdrückung des Pilzwachstums und zur Verringerung des Mykotoxins vorgeschlagen, wie zum Beispiel Vorerntemethoden, physikalische Verfahren chemische Methoden, enzymatische Verfahren, biologische Methoden und das mikrobakterielles Dekontaminationsverfahren (Misra, 2018). Trotz der Fortschritte, die mit diesen Methoden erzielt wurden, weisen sie mehrere Nachteile auf: einschließlich geringerer Wirksamkeit, Bedarfs an teuren Chemikalien und einer anspruchsvolleren Ausrüstung. Darüber hinaus können einige dieser Methoden chemische Rückstände hinterlassen, die sich nachteilig auf das behandelte Produkt auswirken können, was für die Verbraucher gesundheitsschädlich ist. Infolgedessen werden einige Methoden davon normalerweise als unpraktisch, kostspielig, nicht vollständig effektiv und zeitaufwändig angesehen. insbesondere für die großtechnische Behandlung von Lebens- oder Futtermitteln (Misra, 2018). Daher besteht die Notwendigkeit, eine wirksame Methode zur Kontrolle von Mikroorganismen in Lebens- und Futtermitteln zu finden.

Die atmosphärische Kaltplasma (ACP)-Technologie ist als eine neuartige Technologie mit dem Potenzial zur Reduzierung der Konzentration von Pilzen und Mykotoxinen zu betrachten

(Misra, 2016). Plasmen sind ionisierte Gase, die letale Schädigungen bei Mikroorganismen hervorrufen können. Durch den Einsatz von Kaltplasma werden Lebensmittel schonend behandelt, da das kalte Plasma in der Nähe der Raumtemperatur erzeugt werden kann.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Haltbarkeit von Gerste mithilfe von Kaltplasma zu verlängern. Es sollte untersucht werden, ob Dekontaminationseffekte des Kaltplasmas auf Gerste nachweisbar sind. Welche Entladungsform besser ist und wie andere Methoden verbessern können.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Allgemeines zu Getreide

Als „Getreide“ wird das Korn diverser Grasarten bezeichnet. Dieses wird für die menschliche Ernährung kultiviert. Es gibt unterschiedliche Grundgetreidearten, die im Folgenden aufgezählt werden: Weizen, Roggen, Gerste, Hafer, Reis, Mais sowie Hirse (Rimbach, 2010). Des Weiteren werden etliche Male auch das stärkereiche Korn-Gut alternativer Pflanzenarten zum Getreide gerechnet. Hierzu zählen etwa Buchweizen, Quinoa sowie Amaranth. Oftmals werden sie als „Pseudogetreidearten“ geführt und es erfolgt eine Abgrenzung von den „echten Getreidearten“ (Aufhammer, 2003).

Die Menschen begannen vor etwa 11 000 Jahren damit, Getreide zu kultivieren. Zu diesem Zeitpunkt begann die Sesshaftigkeit und der Ackerbau stand in den Startlöchern. Das erste Getreide wurde in Vorderasien sowie im Nahen Osten angebaut, im so genannten „Fruchtbaren Halbmond“. Um 8 500 v. Chr. wurden die ersten Flächen landwirtschaftlich genutzt [Aufhammer, 2000]. Als erste Getreideart wird Gerste angenommen. Diese wurde auf genanntem Gebiet des „Fruchtbaren Halbmonds“ angesät. Daneben wurden die Wildformen des heutigen Weizens verwendet: Einkorn sowie Emmer (Belitz, 2008).

Mit dem Anbau von Reis und Mais wurde vor etwa 5000 Jahren begonnen. Die Wurzeln dieser Getreidesorten liegen in Südostasien sowie in Mittel- und Südamerika. Zur selben Zeit war auch Hirse bereits bekannt – in den tropischen und subtropischen Gegenden Afrikas sowie Asiens. Roggen und Hafer gelten als sekundäre Kulturpflanzen. Das bedeutet, dass sie zunächst neben anderen Kulturpflanzen auftauchten und erst viel später von den Menschen als gewinnbringend eingestuft wurden. Mit dem Anbau dieser Getreidearten wurde erst vor einem Jahrtausend

begonnen. Da sie im Gegensatz zu Weizen und Gerste toleranter gegenüber dem Standort und dem Klima sind, erfuhren sie große Beliebtheit in den nördlichen Klimazonen (Belitz, 2008).

Man kann die Süßgräser (*Poaceae* bzw. *Gramineae*) in vier Familien einteilen, wie in Abbildung 1 ersichtlich wird. So gibt es die Unterfamilie der *Pooideae*. Ihr entstammen sowohl Weizen- (*Triticeae*) als auch Hafergräser (*Aveneae*). Des Weiteren existiert die Unterfamilie der reisähnlichen Gräser (*Oryzoideae*) und jene der hirseähnlichen Gräser (*Panicoideae*). Zuletzt gibt es noch die Unterfamilie der Bartgrasgewächse (*Andropogonoideae*). Aus ihr stammt der Mais (Rimbach, 2010).

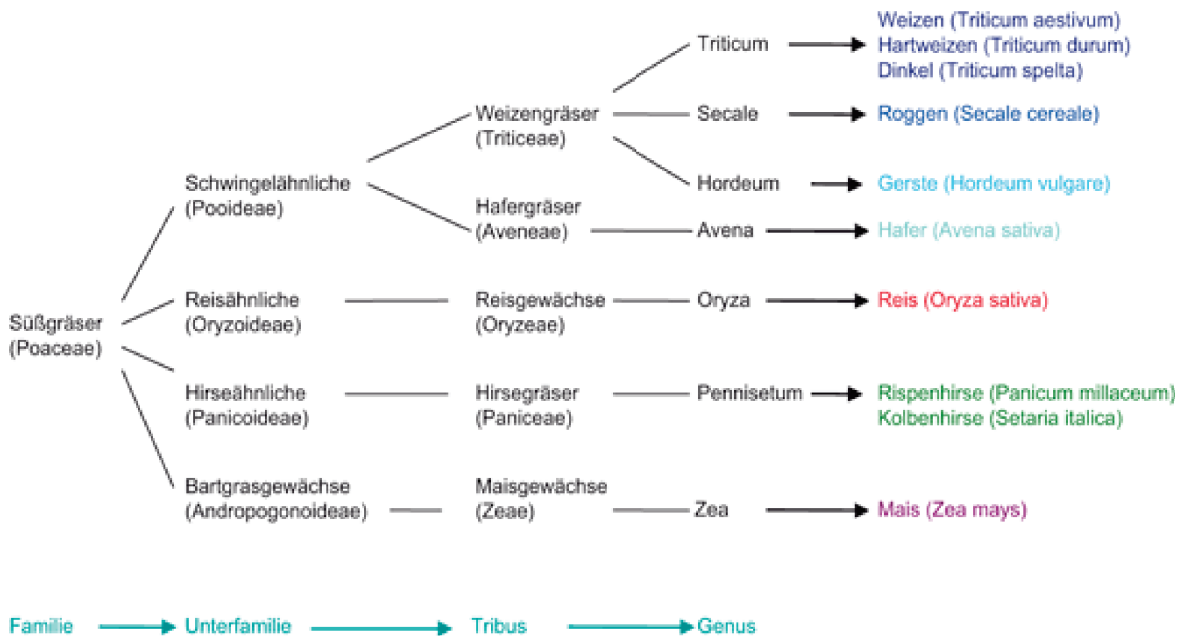


Abbildung 1: Phylogenese der Getreidearten und botanische Bezeichnung [Rimbach, 2010]

2.2 Getreidearten

2.2.1 Weizen und Dinkel

Als älteste Weizenart gilt das Einkorn. Sein lateinischer Name lautet *T. monococcum* und es verfügt über einen diploiden Chromosomensatz. Sein Ursprung geht wahrscheinlich auf die Gegend um Klein- und Vorderasien zurück. Indem das Einkorn mit einer unbekanntem Grasart gekreuzt wurde, entstanden die tetraploiden Arten Emmer-Weizen (*T. dicoccon*) sowie Hartweizen (*T. durum*). Infolge weiterer Züchtungen entwickelten sich die hexaploide Arten Dinkel (*T. spelta*) sowie der Weich-, Saat- oder Brotweizen (*T. aestivum*) (Matissek, 2016).

Unter die Gruppe der *Triticum sp.* fallen heutzutage vor allem zwei kultivierte Weizenarten. Es sind der Weich- oder Saatweizen sowie der Hart- bzw. Durumweizen. Mehr als 90 % des angebauten Getreides betrifft *T. aestivum*. Es stellt das Grundnahrungsmittel für einen Großteil der Weltbevölkerung dar. Dabei galt bis etwa 1900 der Dinkel als dominierende Getreideart in Mitteleuropa. Da sich der Saatweizen jedoch als profitabler erwies, setzte sich dieser durch (Aufhammer, 2003).

Der Grünkern entstammt der Getreideart des Dinkels. Wenn dieser milchreif ist, wird das Getreide geerntet und gedarrt. Grünkern verfügt über einen charakteristischen Geschmack [Rimbach et al., 2010]. Die alten Weizenarten Einkorn und Emmer sind heutzutage ökonomisch gesehen nicht mehr haltbar. Dennoch kommt es zur Wiederentdeckung dieser Sorten, die als gesund gelten (Aufhammer, 2003).

Weizen verfügt über gelblich-weiße bis rotbraune Körner. Ihre Form ist länglich gedrungen. In einer Furche befindet sich ein Gefäßbündelstrang. Durch diesen erhält das Korn seine Nährstoffe. An seinem apikalen Ende ist das Korn behaart. Die Fruchtstände lassen sich in Ähren zusammenfassen. Heute angebaute Weizensorten ergeben pro Ähre im Durchschnitt 40 Körner. Man unterscheidet zwischen begrannten und unbegrannten Formen. Der Durum- sowie der Weichweizen zählen zu den freidreschenden Sorten. Dinkel und andere alte Sorten haben Spelzen (Seibel, 2005).

Wegen seiner vorteilhaften eiweißhaltigen Konsistenz kann man Weizen gut zum Backen verwenden. Aus diesem Grund bildet er die Basis bei Brot und Backwaren. Er wird weiters gerne als Futtermittel sowie in der Produktion alkoholhaltiger Getränke verwendet. Mit Hartweizen werden Teigwaren hergestellt. Auch der Dinkel eignet sich sehr gut zum Backen.

Grünkern ist hingegen kein ideales Back-Getreide. Man nimmt ihn für Suppen oder Bratlinge her (Rimbach, 2010).

2.2.2 Roggen und Triticale

Der heutige Roggen geht vermutlich auf eine anatolische Wildroggenart zurück. Sämtliche Kulturformen des Roggens lassen sich dem diploiden *Secale cereale* (Rimbach, 2010) zuordnen. Noch im 19. Jahrhundert wurde in Deutschland vorwiegend Roggen verwendet. Nach und nach kam dieser Status jedoch durch den Weizen abhanden. Der Roggen ist eine robuste Getreideart, der auch in strengen klimatischen Verhältnissen überlebt. Auch gegen Krankheiten ist er gut gewappnet. Eine Gefahr stellt allerdings der Mutterkornpilz (*Claviceps purpurea*) dar (Seibel, 2005).

Die Form des Roggens ist langgezogen und schmal. Ein Ende ist platt und weist eine bläulich-grüne bis gelbe Färbung auf. Des Weiteren ist an diesem Ende ein schmaler Spalt zu finden. Der Roggen hat begrannte Ähren, die etwa 50 Körner entwickeln [Seibel, 2005]. Roggen findet vor allem als Brotgetreide sowie als Tierfutter Verwendung (Rimbach, 2010).

Bei Triticale handelt es sich um eine Kreuzung zwischen Weizen und Roggen. Man wollte dabei die robuste Eigenschaft des Roggens mit der Rentabilität des Weizens verbinden. Obwohl sich Triticale für die Backwarenerzeugung eignen würde, findet er auf diesem Gebiet kaum Anwendung. Vielmehr wird er zur Tierfütterung und für die Herstellung von Bioethanol verwendet (Seibel, 2005).

2.2.3 Gerste

Bei der Gerste (*Hordeum vulgare*) handelt es sich um ein Uralt-Getreide. Es kommt ursprünglich aus Südasien und wurde gemeinsam mit dem Emmer in Vorderasien kultiviert. Die beiden Sorten waren die ersten, die auf diesem Gebiet angebaut wurden (Reetz, 2004). Die Gerste ist nicht sehr empfindlich klimatischen Bedingungen gegenüber. Man kann sie sowohl in den Tropen als auch am Polarkreis züchten. In der Gerste sind, ebenso wie im Hafer, große Mengen des löslichen Ballaststoffes β -Glucan enthalten. Dieser trägt zu einem niedrigeren Risiko einer Herz-Kreislauf-Erkrankung bei (Seibel, 2005).

Ein Gerstenkorn verfügt über Spelzen. Seine Farbe liegt, sortenvariabel, zwischen hellgelb und dunkelbraun. Die Ähren sind eine lange Zeit mit Grannen besetzt. Je nachdem, wie sich die Körner verteilen, spricht man von zwei-, vier- sowie sechszeiligen Gersten (Seibel, 2005). Gerste wird vorwiegend für Tierfutter verwendet. Weitere Abnehmer sind Brauereien sowie Brennereien. Beim Tierfutter wird darauf geachtet, Gersten mit einem hohen Proteinanteil auszuwählen. Wird Gerste für die Malzherstellung bezogen, sollte man auf einen niedrigen Anteil an Eiweiß in der Gerste achten. Ansonsten sinkt die Qualität. Ein kleiner Teil der Gerste-Erzeugung fließt auch in die menschliche Ernährung mit ein – so kann man Gerste für Graupen, Grützen, Flocken, als Malz-Mehl oder als Ersatz für Kaffee anwenden (Seibel, 2005).

2.2.4 Hafer

Unter Hafer fasst man sämtliche Rispengräser zusammen, die zur Gattung *Avena* gehören. Insgesamt zählt man etwa 30 Arten, von denen der hierzulande verwendete *Avena sativa*, der hexaploide Saathafer, eine ist [Rimbach, 2010]. Der Hafer bevorzugt feuchte Anbauflächen. Er ist eine pflegeleichte Sorte und für die menschliche Ernährung sehr wertvoll. So enthält er die β -Glucane, die auch in der Gerste zu finden sind. Diese sind gut für die menschliche Gesundheit und haben mehr Fett und Protein als vergleichbares Getreide. Hafer verfügt über den höchsten Lysin-Gehalt unter den Getreiden. Das bedeutet, dass seine biologische Wertigkeit am höchsten ist. Durch die Züchtung wird stets darauf geachtet, die gesundheitsförderlichen Aspekte des Hafers zu vermehren (Seibel, 2005).

Beim Hafer befinden sich die Blüten- und die Fruchtstände in einer Rispe. Sortenabhängig verfügen die Haferkörner über 20 – 45 % an Spelzen. Daneben existiert der so genannte Nackthafer, der gänzlich unbespelzt ist. Die Spelzenfarbe ist zugleich auch namensgebend. So unterscheidet man zwischen Weiß-, Gelb-, Schwarz- und Braunhafer (Seibel, 2005). Da Hafer nur über sehr wenig Kleber verfügt, eignet er sich schlecht zum Backen. Vor allem findet er als Getreidenährmittel (in Form von Flocken, Grieß oder Mehl) Verwendung. Auch in der Whiskyherstellung kommt Hafer zum Tragen. Der Großteil des heute angebauten Hafers fließt jedoch in die Futtermittelherstellung (Rimbach, 2010).

2.2.5 Reis

Der Reis benötigt ein warmes, sumpfiges Anbaugebiet. Er entstammt den tropischen Gebieten des östlichen Asiens. Auf dem Weltmarkt dominiert der asiatische Saatreis (*Oryza sativa*), der sich in unterschiedliche Sorten einteilen lässt [Seibel, 2005]. Ähnlich dem Hafer entwickelt der Fruchtstand der Reispflanze eine Rispe. Bei kulturellem Anbau produziert eine Pflanze bis zu 30 Halme. Diese erreichen eine Länge von 0,5 bis 1,6 Metern. Eine Pflanze ist in der Lage, eine schmale, überhängende Rispe zu tragen, die 80 – 100 Reiskörner enthält (Seibel, 2005).

Ein Reiskorn verfügt über Spelzen. Diese gilt es, nach dem Trocknen zu entfernen. Die Farbe des Reiskorns changiert zwischen hellbraun und braun. Daneben existieren auch rote Körner. Sind die Körner poliert, so ist die Färbung weiß bis gelblich. Da viele verschiedenen Sorten existieren, variieren auch die Kornformen dementsprechend (Seibel, 2005). Reis wird zu 92 % für die menschliche Ernährung angepflanzt. Vier Prozent des Ertrags fließen in die Tierfütterung und zwei Prozent dienen der Industrie. Beinahe 50 % der Weltbevölkerung hat Reis als Grundnahrungsmittel. In etliche Regionen auf der Erde stellt Reis 80 % der Ernährung (Seibel, 2005).

2.2.6 Mais

Der Mais (*Zea mays*) wird in den tropischen und subtropischen Gebieten dieser Erde angebaut. Die Kulturgrasart kommt ursprünglich aus dem Süden Mexikos (Aufhammer, 2003; Seibel, 2005). Mais benötigt im Anbau wenig Wasser. Dennoch benötigt er eine gewisse Nässe. Der Mais gilt als C4-Pflanze, die aufgrund von Züchtung auch in gemäßigteren klimatischen Gebieten angebaut werden kann (Aufhammer, 2003).

Eine Maispflanze entwickelt zwei Kolben. In diesen befinden sich acht bis 16 Körner-Längsreihen. Der Mais ist extrem sortenreich – es gibt etwa 50 000 unterschiedliche Sorten, deren Körner stark variieren. So kann man Mais in Hart-, Weich-, Zahn-, Spitz-, Wachs- und Zuckermais unterteilen. Auch Züchtungen, die über viel Lysin und Tryptophan verfügen, existieren. Letztere zählen zu den essenziellen Aminosäuren (Rimbach, 2010).

Die Körner können vom Kolben getrennt oder dicket vom Kolben in roher, gekochter oder gegrillter form gegessen werden. Mais wird auch zu Maiskörnern (Polenta), Cornflakes, Popcorn, Maisstärke und anderen Produkten verarbeitet. Da Mais Gluten frei ist, ist er

besonders für Personen mit Glutenunverträglichkeit geeignet. Zukermais wird roh als Gemüse verzehrt. Darüber hinaus wird Mais als Futtermittel verwendet.

2.2.7 Hirse

Hirse ist Sammelbezeichnung für verschiedene Grasarten, die ursprünglich vermutlich aus Ostafrika stammt. Hirse werden in zwei Gruppen unterteilt: echte Hirse (klein- oder Millet-Hirse), zu der eine Vielzahl von Arten gehören, wie z.B. Panicum-Arten (Rispenhirse = *Panicum millaceum*) und Setaria-Arten (Kolbenhirse = *Setaria italica*). Sorghum-Hirse (*Sorghum bicolor*), die auch als Mohrenhirse bezeichnet wird. Sorghum ist wirtschaftlich die wichtigste Hirse Art (Aufhammer, 2003).

Hirsepflanzen können eine Höhe von 1,5 m erreichen, und in heißen und trockenen Gebieten gedeihen. Hirse ist das Grundnahrungsmittel für vieler Afrikaner. In den USA und in Europa wird Hirse vorwiegend als Futtermittel oder zur Stärkeherstellung verwendet. Hirse ist glutenfrei und kann daher nicht allein gebacken werden. Vollkornprodukte können gekocht und gegessen, oder zu Mehl, Grieß, Schalen oder Flocken verarbeitet werden (Rimbach, 2010).

2.2.8 Pseudocerealien

Körnerfrüchte werden Pseudogetreide oder Pseudocerealien genannt, weil ihre Zusammensetzung viele Ähnlichkeiten mit der von Körnern haben, Aber aus botanischer Sicht können sie nicht in Getreide zu gezählt werden, da sie keine Gräser sind (Siebel, 2005). Die Pseudogetreide umfasst drei Arten: Buchweizen, Quinoa und Amaranth.

Buchweizen (*Fagopyrium esculentum*) ist Knöterich. Es wird eine stärkehaltige Nussfrucht mit einer Länge von vier bis sechs mm, und einer Form ähnlich der Bucheckern ausgebildet, das aus dem Mehl gewonnen werden kann. Buchweizen ist in Europa seit dem Mittelalter weiterhin bekannt und stammt ursprünglich aus der asiatischen Region Amur. Buchweizen ist sehr wertvoll in der Ernährung Amaranth hat 60 verschiedene Arten, von denen drei Getreide produzieren (nämlich: *Amaranthus hypochondriacus*, *A. cruentus* und *A. caudatus*). Amaranth gehört zu den Fuchsschwanzgewächsen und stammt aus Zentralamerika. Amaranthkörner sind sehr kleinkörnig und es gibt von ihnen hell- und dunkelkörnige Arten (Matissek ,2016).

2.3 Aufbau und Inhaltstoffe des Getreidekornes

Obwohl die Größe und das Aussehen der Körner der einzelnen Getreidearten sehr unterschiedlich sind, ist ihr Morphologie und Strukturaufbau sehr ähnlich (siehe Abbildung 2). Das Korn besteht aus drei Komponenten: Keimling, Mehlkörper (Endosperm) und Schale. Die Schale enthält mehrere Schichten: die äußeren Schichten des Kornes (Oberhaut, Frucht und Samenschale) und die innere Aleuronschicht. Als die äußeren Schichten des Kornes an Ballaststoffen und Mineralien reich sind, enthält die Aleuronschicht Spurenelemente, Proteine und fast alle B-Vitamine (Medianer, Rimbach).

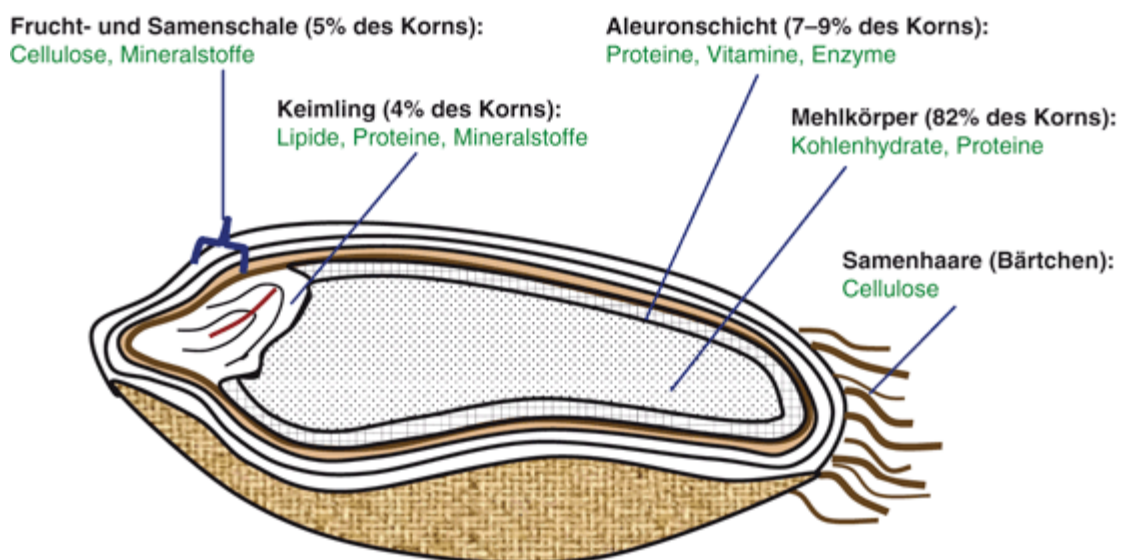


Abbildung 2: Aufbau und Bestandteile eines Getreidekornes [Rimbach, 2010]

Der ernährungsphysiologisch wertvolle Keimling enthält neben Mineralstoffen, B-Vitaminen und Vitamin E auch das meiste Fett. Der Mehlkörper enthält nur einen Bruchteil der im Keimling vorhandenen Vitamine und Mineralien. In der Regel macht der Keimling etwa 3% der Masse des Getreidekornes aus, lediglich bei Mais entspricht sein Anteil 12 %. Schließlich macht das Endosperm den größten Teil des Kornes aus und stellt dessen Energiespeicher dar. Er enthält Stärke, Proteine und wenig Fett. Die Stärke, also hochverkettete Kohlenhydrate stellt für den Keimling die notwendigen Reservestoffe dar (Medianer, 2018).

Die Inhaltsstoffe der Körner hängen auch von der Art des Getreides, dem Wetter und der Düngung ab. Mais hat besonders geringe und Weizen hohe Eiweißgehalte. Hafer hingegen enthält aber viel Fette und Mineralstoffe (Medianer, 2018).

2.4 Mikroorganismen

Mikroorganismen werden sowohl Mikroben als umgangssprachlich auch Keime bezeichnet. Mikroorganismen sind so winzig kleine Lebewesen, die mit bloßem Auge nicht gesehen werden können. Sie sind lediglich unter Mikroskop sichtbar. Mikroben sind überall in der Umwelt verbreitet: in der Luft, im Abwasser und Wasser, in der Erde und Staub, auf Pflanzen, in und auf Tieren und Menschen, außerdem sind im Trinkwasser und Lebensmitteln. Daher sind sie auch in oder auf den meisten Lebensmitteln erwünscht oder erwünscht vorhanden. Sie sind erwünscht, wenn sie zur Herstellung oder Verbesserung von Lebensmitteln, als Lebensmittel für selbst oder für die Biotechnologie verwendet werden. Wenn sie Lebensmittel oder pathogene Mikroorganismen zerstören oder ihre Toxine in Lebensmittel verbreiten, sind sie jedoch unerwünscht (Keweloh, 2016).

Mikroorganismen bilden somit einzelne Gruppe. Sie sind der allgemeine Begriff für kleine Lebewesen und bestehen aus einer Zelle. Sie unterscheiden sich in den Merkmalen und Zellstrukturen. Mikroorganismen werden in fünf Gruppen unterteilt: Bakterien, Pilze, Archaeen, Protozoen und mikroskopische Algen (Keweloh, 2016).

2.4.1 Lebensbedingungen

Unterschiedliche Kriterien beeinflussen die Existenz und die Fortpflanzung von Mikroorganismen. Zum einen bedingt die Zufuhr von Nährstoffen die Lebensbedingungen. Diese können in Mikroelemente wie Zink, Molybdän, Mangan, Cobalt, Bor, Selen, Silicium, Chlor, Iod, Wolfram, Nickel und Vanadium eingeteilt. Sie können jedoch auch die Gruppe der Makroelemente darstellen, zu denen Schwefel, Wasserstoff, Phosphor, Calcium, Kohlenstoff, Kalium, Sauerstoff, Magnesium, Natrium und Stickstoff gezählt werden. Demnach sind neben Vitaminen für ein gesundes Wachstum auch Mineralien und Quellen anderer Elemente für die Lebenserhaltung der Mikroorganismen von Nöten. Schließlich tragen sie beim Stoffwechsel sowie bei der Generation von Zellsubstanzen und Enzymen erheblich bei (Weber, 2010). Dabei

reichen beispielsweise schon einige Milligramm an Verbindungen auf Stickstoffbasis (Dittrich, 1993). Sowohl für Milchsäurebakterien als auch für Mikroorganismen tragen Vitamine eine entscheidende Rolle, während Schimmelpilze und Hefe zu großen Teilen selbst synthetisieren (Dittrich, 1993). Zu den Umweltfaktoren zählt auch der sogenannte aw-Wert, der über die Wasserverfügbarkeit Aufschluss geben kann. Für Mikroorganismen stellt das Wasser nicht nur ein Transportmittel der oben erwähnten Nährstoffe dar, sondern auch ein Partner einer Reaktion. Sobald der aw-Wert nach unten fällt, können immer weniger Spezien der Mikroorganismen wachsen oder nur mit Verzögerung Wachstum betreiben, sodass sich die Generationszeit verlängert (Weber, 2010). Neben den Nährstoffen und der Wasserzufuhr umfassen die Lebensbedingungen auch den pH-Wert, die Temperatur sowie der Sauerstoffgehalt.

Der pH-Wert bestimmt die Anzahl der Wasserstoffionen. Neutrophile Mikroorganismen benötigen idealerweise einen pH-Wert von 7, genau dann, wenn Wasserstoffionen und Hydroxidionen zu selben Anteilen auftreten. Bakterien hingegen bevorzugen ein Milieu, welches zwischen den Werten 8 und 9 leicht alkalisch ist. Damit werden sie als „alkaliphil“ bezeichnet und stehen den Acidophilen gegenüber, die ein Milieu eines geringen pH-Wertes vorziehen, wie es vorrangig bei Pilzen der Fall ist. Andere Mikroorganismen wie die Acetobacter und die Lactobacili verzeichnen nur eine geringe Säuretoleranz. Betrachtet man sich die Temperaturverhältnisse der Organismen, stellt man fest, dass sie mesophil sind. Damit liegt ihre bevorzugte Temperatur zwischen 20 und 42°C, um die besten Voraussetzungen für ihr Wachstum zu erlangen. Einige von diesen Vertretern gedeihen sogar bis Einflüsse von 50°C. Im Gegensatz zu diesen thermotoleranten Spezien sind thermophile Arten in der Lage, bei einer Temperatur zwischen 40 und 70°C ihr Wachstumspotenzial völlig auszuschöpfen. Die wenigsten dieser Organismen werden zu den Extrem-Thermophilen gezählt, die eine Temperatur zwischen 65 und 90°C bevorzugen oder zu den Hyperthermophilen, die am besten zwischen 90 und 110°C wachsen können. Als Gegenbeispiel zeigen psychrophile Spezien die höchste Wachstumsrate bei unter 20°C (Schlegel, 1992). Allerdings spielt auch der Sauerstoffgehalt eine entscheidende Rolle innerhalb der Lebensumstände. Drei Gruppierungen lassen sich unter den Mikroorganismen entdecken. Die Aerobier benötigen unbedingt Sauerstoff zum Leben. Er dient als Elektronenakzeptor der Zellatmung, indem er organisches Material oxidieren lässt, wodurch der Organismus Energie erhält. Bei diesen Reaktionen wird Glucose benötigt und Wasser und Kohlenstoff ausgeschieden. Anaerobier hingegen sind nicht auf Sauerstoff angewiesen, denn sie erhalten ihre Energie aus Gärungsprozessen oder der anaeroben Atmung. Für die obligat anaeroben Organismen ist molekularer Sauerstoff gar giftig.

Sie benutzen anorganisches Material als Elektronenakzeptor der Zellatmung und die abfallenden Produkte sind Wasser, Ethanol, Kohlenstoffdioxid, Methan und organische Säuren. Der fakultative Anaerobier wiederum kombiniert beide Modelle miteinander. Die eine Hälfte wechselt seinen Stoffwechsel je nach äußeren Gegebenheiten zwischen Gärung und Atmung, während die andere Hälfte aerotolerant genannt wird. Der Sauerstoff kann von dieser Art nicht verwertet werden, ist jedoch auch nicht toxisch für sie (Weber, 2010).

2.4.2 Mykotoxin

Der Begriff Mykotoxin bezieht sich auf den griechischen Ursprung Myko, der sich aus dem lateinischen ableitet und so viel wie Pilz oder Gift bedeutet. Sie sind sekundäre Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen. Die Tatsache, dass diese Metabolite nicht in allen Organismen gefunden werden, macht sie zu Sekundären Stoffwechselprodukten. Neben den Antibiotika sind Mykotoxine die zweite große Wirkstoffgruppe. Es wurden mehr als 300 Mykotoxine beschrieben. Sie werden von ca. 200 bis 300 Pilzarten gebildet. Die Mykotoxine sind gegenüber Säuren, Alkalien und Hitze äußerst stabil. Dadurch stellen sie auf dem Nahrungsmittelsektor wie auch in der Landwirtschaft eine außerordentliche Gefahr dar (Eckhardt, 2010).

In Deutschland nimmt die Bedeutung der Mykotoxine deutlich zu. Eine Ursache dafür sind Lebensmittelimporte aus Gebieten mit feucht-warmem Klima. Außerdem bauen sich Toxin bildende Schimmelpilze auf, vor allem Fusarien in unseren Breiten. Begründet wird dies häufig durch eine Veränderung des Klimas, insbesondere zur Blütezeit des Getreides (Weiß, 2005).

Es gibt mehrere Gründe, die die Anwesenheit von Mykotoxinen in Nahrungsmitteln nach sich ziehen. Erstens kann die Primärkontamination von Mykotoxin auf dem Feld auftreten, sowie durch Schimmelpilzbefall oder beim Verderb der Lebensmittel durch diese verursacht werden. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, dass Toxin-haltige Roh- und Zwischenprodukte im Herstellungsprozess verarbeitet werden. Drittens die, die bei der Fütterung von gifthaltigen Futtermitteln an Tiere und Mykotoxine in das daraus hergestellte Fleisch oder die daraus hergestellte Milch gelangen. (Mücke).

2.4.3 Schimmelpilze

Der umgangssprachliche Begriff Schimmel bezieht sich auf einen Weißen bis kräftig gefärbten pilzigen Belag, mit dem einigen Pilze ihre Substrate beschichten. Somit ist Schimmel kein systematischer Begriff, sondern ein Sammelbegriff für jene Arten von Pilzen, die hauptsächlich durch die Bildung von asexuellen Sporen gekennzeichnet sind, und die saprophytisch wachsen, d.h. die tote organische Substanz als Nahrungsquelle verwenden. Andere Kriterien können die zusammen den Begriff Schimmel definieren, umfassen ihre allgegenwärtige Anwesenheit, das Filament Wachstum der Myzelien, den ausgedehnten Metabolismus und den Sekundärmetabolismus, der für einen bestimmten Pilz – typ spezifisch ist [Kück].

Das Pilzwachstum ist darüber hinaus von verschiedenartigen physikalischen Faktoren abhängig, im Wesentlichen von der Temperatur, dem Wassergehalt und dem pH-Wert. Einerseits gibt es die Pilze, die Pflanzen besiedeln, während sie auf dem Feld wachsen, beispielweise Fusarium-Arten, Andererseits kommen die sogenannten Lagerpilze, die nach der Ernte unter ungünstigen Lagerbedingungen wie Aspergillus und Penicillium-Arten auftreten und Mykotoxine freisetzen.

Die Hauptformen in Lebensmitteln und ihre Toxine sind in Tabelle (1) zusammengefasst. Die Haupttoxinproduzenten sind Aspergille, Penicillium und Fusarium (Gisela).

Tabelle 1: Wichtige Toxinbildende Lagerpilze und ihre Umweltansprüche

Pilze	Toxin	Temperaturanspruch (°C)	Feuchtigkeitsanspruch	Vorkommen
Aspergillus	Aflatoxin, Ochratoxin, u.a.	25 – 35	hoch	Häufig
Fusarium Sterigmatocysin u.a.	Sterigmatocysin u.a.	-	niedrig	Häufig
Monascus	Citrinin u.a.	15 – 45	-	Selten
Penicillium	Ochratoxin, Citrinin u.a.	20 – 25	niedrig	Häufig

2.4.3.1 Morphologische und Physiologische Eigenschaften

Auch in Bezug auf die Schimmelpilze kann man von höheren Pilzen und von Eukaryoten sprechen. Daher entsprechen die Zellstruktur und die Zusammensetzung der Zellwand der Hefen. Der entscheidende Unterschied ist, dass Schimmelpilze keine Einzeller sind (Cybionka, 2010). Sie kommen überall vor, sowohl am Boden als auch auf Nährböden – am liebsten jedoch an organischen Standorten mit gebundenem Kohlenstoff. Als Pilze können sie das Kohlenstoffdioxid aus der Luft nicht verwerten und oxidieren für die Energiegewinnung organisches Material wie Glucose. Sie zählen zu den Aerobiern und den heterotrophen Arten (Cybionka, 2010; Reiß, 1998). Die Schimmelpilze durchleben zwei grundlegende Phasen: die vegetative Wachstumsphase und die generative Fortpflanzungsphase.

Während des ersten Zeitraumes können Keime und Sporen derart zu einem Mycel heranwachsen, dass die nun als Zellfäden, den sogenannten Hyphen, sich fortlaufend verbinden können. Mithilfe der Konidio- bzw. der Sporangiosporen vermehren sich die Schimmelpilze ungeschlechtlich fort (Reiß, 1992). Die Sporen werden in den dafür vorgesehenen Ausbreitungsorganen gewonnen und werden von einer Hülle, dem Sporangium, umgeben (Alexander; Strete, 2006). Aneinandergereiht in Reih und Glied nimmt die Geschwindigkeit des Wachstums nun stetig zu. Die Dauer der beiden Phasen von Keim bis Sporenbildung beträgt nur wenige Tage, denn zeitlich aufwändige Phasen der sexuellen Fortpflanzung werden auch aus Gründen der Energieeffizienz vernachlässigt. Somit kommt es zu keiner Ausbildung von Asco- und Zygosporen, jedoch zu einer gehäuften Menge an primären und sekundären Metaboliten als Stoffwechselabfallprodukte.

2.4.4 Bakterien

2.4.4.1 Morphologische und Physiologische Eigenschaften

Als Prokaryoten gehört die Gruppe der Bakterien ebenfalls zu den einzelligen Mikroorganismen. Dabei besitzen sie weder Kernhülle noch Zellkern. Die Erbinformation sind einfach im Zellmaterial enthalten, was auf weniger Struktur als bei dem Zellaufbau der Eukaryoten schließen lässt. Ihr gesamter Organismus ist etwas nur ein Zehntel so groß wie das der Eukaryoten. Allerdings besitzt eine prokaryotische Zelle eine innere Membran und den Merein-Sacchulus (Zellwand), der aus einer (gramnegative Bakterien) oder mehreren (grampositive Organismen) Schichten bestehen kann (Dittrich, 1993) (Siehe Abbildung 3).

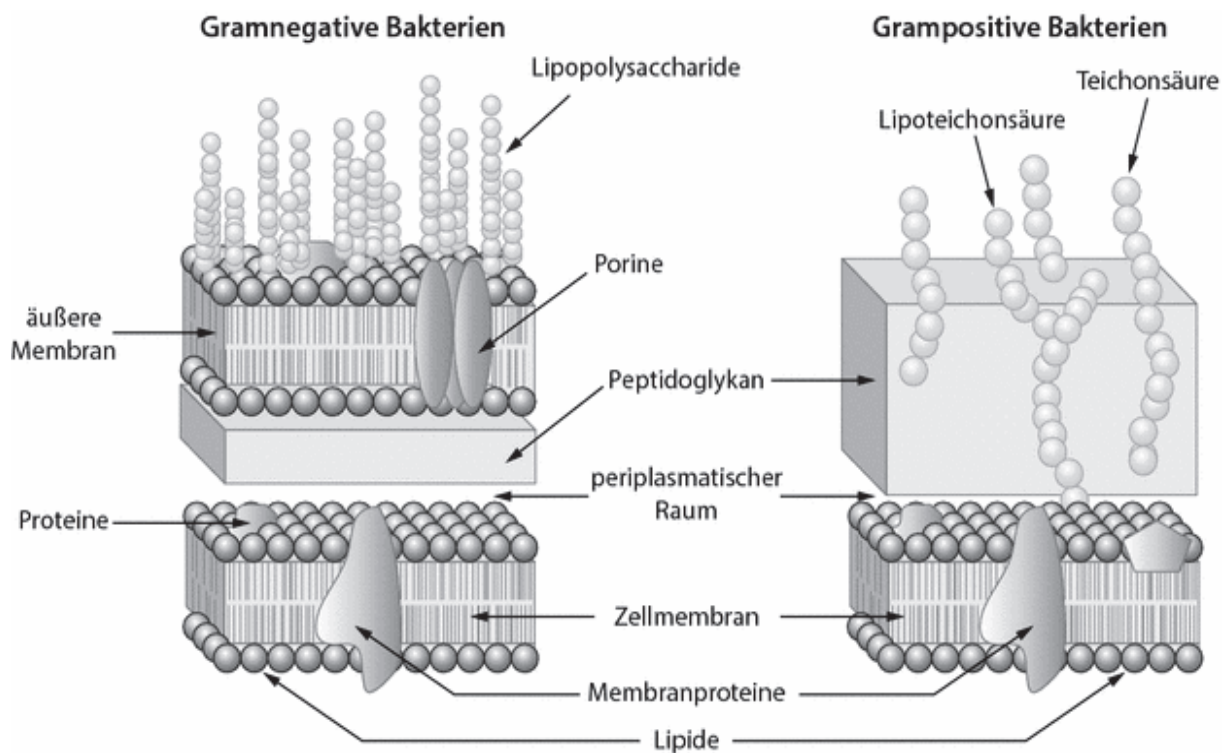


Abbildung 3: Vergleich der Zellwandstruktur von gramnegativen und grampositiven Mikroorganismen [Amelung, 2018]

Als Peptidoglycan ist das Murein eine β -1,4-glykosidische Verbindung aus N-Acetylglucosamin und N-Acetylmuraminsäure. Diese zweite Komponente zeigt durch Peptidverbindungen basierende Aminosäuren. Der Mureoin-Sacchulus ist ein riesiges Molekül in Sackform. Die Außenmembran dieses Gebildes besteht bei gramnegativen Bakterienkulturen aus Lipoproteinen, Phospholipiden, Lipopolysacchariden und anderen Lipiden. Damit reagieren sie zwangsläufig durch ihren Aufbau unterschiedlich als die grampositiven Bakterien (Schlegel, 1992). Die Bakterien verfolgen bei ihrer Vermehrung das Prinzip der Zellspaltung, sodass aus einem Muttertier zwei Tochterbakterien entstehen können. Hierbei gleichen die Phasen denen der Hefeteilung. Diese vegetative Fortpflanzung findet vier- bis achtmal kürzer statt als bei eukaryotischen Zellen und daraus resultiert eine Generationszeit von etwa einer Viertelstunde bis Stunde. Sexuelle Fortpflanzung findet man bei Bakterien kaum. Dafür können manche Arten aber Sporen ausbilden, die dann wiederum nicht der Vermehrung dienen sollen, sondern bei schlechten Lebensbedingungen das Überleben ermöglichen (Weber, 2010).

2.4.5 Hefen

2.4.5.1 Morphologische und Physiologische Eigenschaften

Hefearten werden grundsätzlich der Gruppe der höheren Pilze und somit auch der der Eukaryoten zugeordnet. Meist treten sie mit einer 3-8 µm-langen, ovalen und einzigen Zelle auf (Cypionka, 2010). Da sich der Vegetationskörper nicht in Spross und Wurzel unterteilen lässt, spricht man hier von einem Thallus. Außerdem kann man die Zelle in Kern, Organellen, Cytoplasma und Zellwand einteilen, wodurch die morphologische Differenzierung sehr niedrig ausfällt (Schlegel, 1992; Reiß, 1998). Die Zellwand wiederum besteht aus Zellmembran (der Phospholipide), den Glycolysierungsresten Mannan und Glucan sowie angelagerte Schichten von Proteinen, Trehalose und Enzymen (Kunze, 1998) (Siehe Abbildung 4). Sie ist verantwortlich für den Proteintransport sowie deren Austausch.

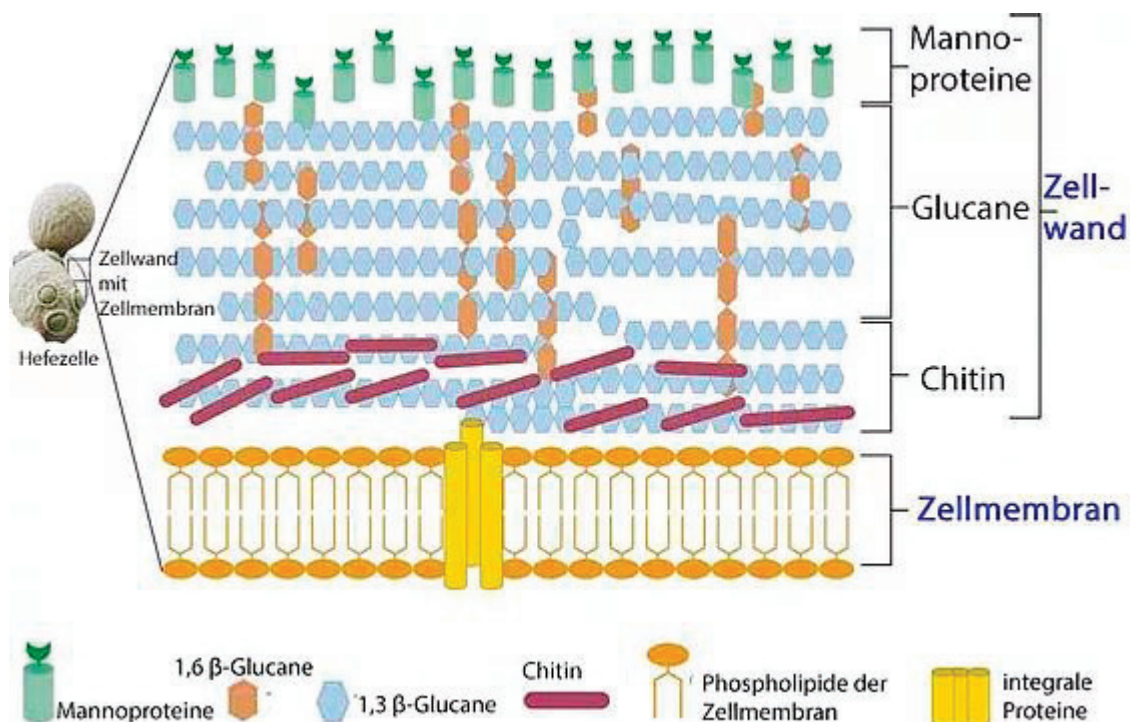


Abbildung 4: Bau der Hefe Zellwand und Zellmembran [MUG-MIKROBRAUERIE]

Die Gruppe der N-Acetylglucosamine, welche β 1,4-glykosidisch aneinandergelknüpft sind. Damit repräsentieren die Glucane und das Protein das Polymer-Chitin (Schlegel, 1992). Hefen gehören zu den Spross- und Spaltpilzen (Dermoumi, 2008), sind größtenteils nicht beweglich und kommen besonders an Orten mit hohem Wasser- und Zuckergehalt vor (Schlegel, 1992; Cypionka, 2010). In der Regel pflanzt sich die Hefe ungeschlechtlich (oder vegetativ) fort, das heißt, dass ein Spross oder eine Knospe des Mutterorganismus abgetrennt wird und daraus die Tochter gedeihen kann. Bei den Spaltheften jedoch teilt sich der bestehende Organismus in der Mitte. Es gibt jedoch auch geschlechtliche Fortpflanzung innerhalb der Hefearten – wenn auch sehr selten (Jählig; Schade, 1993), die mithilfe von Ascosporen durchgeführt wird (Fuchs, 2007). Ein sogenannter Sporenschlauch (auch als Ascus bezeichnet) besitzt einen zweifachen Chromosomensatz und besteht aus ein bis vier Ascosporen. Diese bilden nun zwei Zellen zu einer Zygote heraus, was in sechs Phasen der Latenz zusammengefasst wird: In der Latenzphase (oder Lagphase) werden Stoffwechselprozesse vorbereitet. In der Beschleunigungsphase tritt die erste neue Zelle mit sich erhöhender Geschwindigkeit auf. In der Log Phase (oder exponentielle Phase) erfolgt die Zellteilung nun konsistent und exponentiell. Hier lässt sich auch die maximale Generationszeit bestimmen, die bei Hefen bei 90-120 Minuten liegt. Außerdem verarmt das Substrat und die Abfallprodukte werden zunehmend toxisch. Die Verzögerungsphase läutet nun die Gegenbewegung ein, das Wachstum fällt nun wieder. Die stationäre Phase umfasst beschreibt den Zeitpunkt, in dem eine Balance zwischen neuen Zellen und sterbender Zellen herrscht. Die Keimzahl verändert hierbei nicht ihr Niveau. In der Absterbephase (oder latente Phase) sterben mehr alte Zellen, als dass Neue nachgebildet werden können (Weber, 2010).

2.5 Kaltplasma im Lebensmittelbereich

2.5.1 Definition

Unter Plasma werden ionisierte oder teilweise ionisierte leitende Gase verstanden. Mit zunehmendem Energieeintrag bewegt sich die Materie durch die Aggregatzustände von fest, über flüssig zu gasförmig, bis die neutralen Atome und Moleküle in frei ladende Träger wie Ionen, Elektronen, angeregte Atome und freie Radikale zerfallen. Daher werden Plasmen auch als vierter physikalischer Zustand bezeichnet. Plasmen werden basierend auf ihrer Temperatur in Hoch- und Niedertemperaturplasmen bezeichnet (Misra, 2016). Langmuir (1928) war der Erste, der dieses ionisierte Gas als Plasma bezeichnet. Zum Beispiel für Plasma in unserem täglichen Leben sind Neonlichter und Nordlichter und Blitz im Gewitter.

Einfache Moleküle wie Luft, Stickstoff oder Gemische verschiedener Komponenten wie beispielsweise Inertgas (Helium, Argon, Neon) werden zusammen mit Sauerstoff oder Dergleichen angewendet. Die Abbildung (5) stellt die Entstehung und Zusammenfassung eines Plasmas dar.

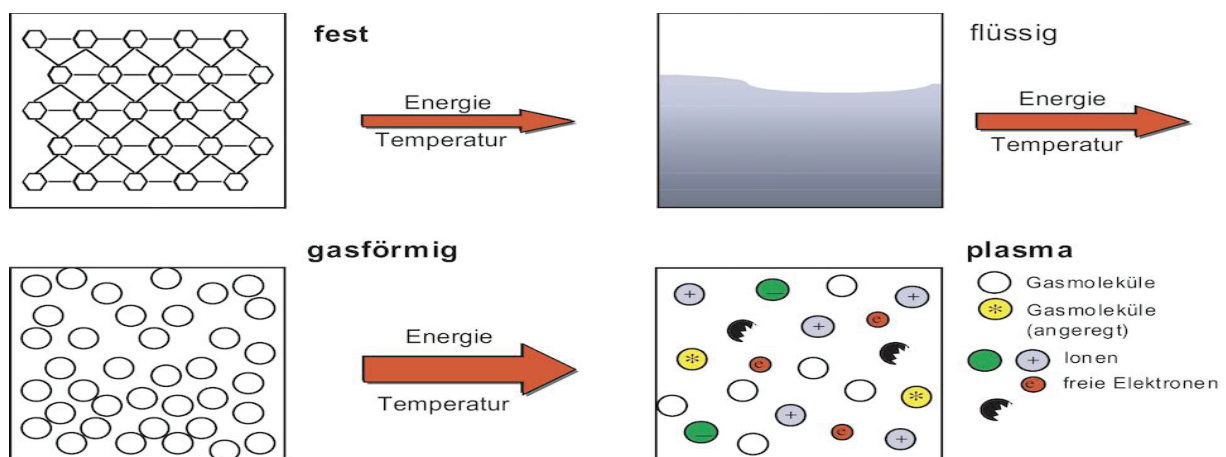


Abbildung 5: Entstehung und Zusammensetzung des Plasmas [Plasmatreat GmbH]

Plasma kann in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Eine Möglichkeit der Klassifizierung basiert auf der Art des Temperaturzustands. Die Fachbegriffe sind jedoch wegen der neuen Technologie unterschiedlich. Von daher wird in thermisches und nicht thermisches Plasma unterschieden (Niemera, 2012). Das thermische Plasma setzt hunderte oder tausende Grade

Celsius über die Raumtemperatur voraus, deswegen können alle Partikel des Plasmas als reaktiv betrachtet. Auf diese Weise befinden sich alle Partikel wegen der hohen Energie im Gleichgewicht schließlich findet kein Energieaustausch zwischen ihnen statt. Thermisches Plasma wird beispielweise zum Lichtbogenschweißen und bei Zündkerzen angewendet. Auf der anderen Seite ist mit nicht thermischem Plasma gemeint, dass das Plasma eine deutlich ungleichmäßige Energieverteilung (kein Gleichgewicht) unter den Bestandteilen aufweist. Elektronen übertragen Energie über Kollisionen mit schweren Partikeln. Wenn die Partikel miteinander wechselwirken, geben sie Energie ab, was durch visuelle Strahlung und UV-Strahlung sichtbar wird. Die vom Plasma übertragene Energie hängt von der chemischen Zusammensetzung, der Dichte und der Temperatur ab (Niamera, 2012). Die Elektronen- und Gastemperatur zeigen einen deutlichen Unterschied. Während die Temperatur der Elektronen unter der Annahme von 10.000K erreichen kann, ist Gastemperatur viel niedriger (in der Nähe der Raumtemperatur). Die durchschnittliche kinetische Energie ist größer als 1 eV, das heißt, dass die Energiemenge der Elektronen durch die Beschleunigungsspannung steigt. (DFG, 2012). Leuchtstoffröhren und Plasmabildschirme sind Beispiele für die Anwendung von nicht-thermischem Plasma.

2.5.2 Arten des Kaltplasmas im Lebensmittelbereich

Kaltplasmageräte werden in drei Gruppen unterteilt, je nach der Anordnung des Lebensmittels: Mit Abstand zur Erzeugung des Plasmas, in relativer Nähe zur Plasmaentstehung und unmittelbar innerhalb der Quelle. Auf Grundlage der entscheidenden chemischen Eigenschaften der Gase sowie dieser unterschiedlichen Positionierungen kommt es zu unterschiedlichen Reaktivitäten und Wirksamkeiten des Verfahrens.

In der Praxis wird das Lebensmittel selten entfernt von der Plasmageneration angeordnet. Nach seiner Erzeugung wird das Plasma auf das Lebensmittel geleitet, um dieses zu behandeln. Hierfür werden entweder ein Transportgas oder Magnetfelder genutzt, was aber weniger häufig geschieht. Die räumliche Trennung von Plasmaerzeugung und Lebensmittel hat den Vorteil, dass man verschieden große und unterschiedlich geformte Objekte behandeln kann.

Bei der zweiten Methode wird das Produkt direkt mit dem Kaltplasma behandelt. Das aktive Plasma wird in diesem System direkt zur Lebensmittelbehandlung bereitgestellt. Für den Transport des Plasmas werden wieder ähnliche Mittel wie etwa ein Transportgas eingesetzt. Bei dieser Methode ist die Konzentration der aktiven Teilchen höher, da die Entfernung zwischen Produkt und Plasmaerzeugung geringer ist. Ein weiterer Grund dafür ist der frühere

Kontakt des Plasmas mit dem Lebensmittel, bevor die Teilchen miteinander interagieren und ihre Aktivität verlieren. Darüber hinaus arbeitet das System hier mit hohen Frequenzen von mehr als 100 bis zu Tausenden Hertz. Die auf die behandelte Fläche auftreffende UV-Strahlung, die zwischen der Erzeugung des Plasmas und dem Zielbereich entsteht, ist relativ intensiv, da sich dort nur wenig oder unerheblich viel normale Atmosphäre befindet. Bei der Leitung der Elektrizität in genügend hoher Spannung kommt es vor allem auf den Feuchtigkeitsgehalt des Lebensmittels und den aw-Wert an. Die Elektrizität kann pflanzliches oder tierisches Gewebe jedoch örtlich begrenzt erhitzen, wenn sie darauf geleitet wird. Dieses Erhitzen kann bewirken, dass sich das Aussehen, die Textur oder das Aroma verändert, oder dass Schäden wie Proteinkoagulationen oder Verbrennungen entstehen. Hitzeschäden entstehen durch eine Konzentration des Stromflusses infolge einer punktuellen Entladung. Man muss daher eine direkte Leitung durch das Lebensmittel, das behandelt wird, nach Möglichkeit vermeiden. Dazu muss das Plasmagerät präzise angepasst werden. Der Bau von Systemen mit Plasmaquellen, die in größerem Abstand zum Objekt liegen, ist im Prinzip jedoch einfacher. Die Systeme sind, was Form und Größe des behandelten Lebensmittels betrifft, abhängig von der Bauweise des Emitters flexibel. Aufgrund der elektrischen Leitung durch das Produkt und ihrer Folgen hat diese Art des Plasmasystems allerdings ihre Grenzen.

Bei den Elektrodenkontaktsystemen schließlich, der dritten Bauart, liegt die Oberfläche, welche sterilisiert werden soll, entweder zwischen einer Elektrode und einem neutralen Material oder zwischen zwei Elektroden. Das Lebensmittel befindet sich somit innerhalb des Feldes der Kaltplasmageneration. Bei dieser Bauart wirkt das Plasma am stärksten antimikrobiell auf das Produkt ein, da UV-Strahlung, Elektronen, Ionen und Radikale am intensivsten sind. Hierbei müssen jedoch die Hitzekonzentrationen durch punktuelle Entladungen sorgfältig vermieden werden, weshalb eine Überwachung der Anordnung der Elektroden zum Lebensmittel außerordentlich wichtig ist. Nicht jedes Produkt kann mit diesem System behandelt werden, sondern nur bestimmte Gruppen von Lebensmitteln eignen sich dafür. Wegen des begrenzten Raums zwischen den Elektroden eignen sich nur kleinere oder flache Objekte für die Behandlung, wenngleich die Anordnung der Elektrode oder der Elektroden und unterschiedliche Zusammensetzungen der verwendeten Gase ihr eine gewisse Flexibilität einräumen. Als Beispiele für kleine Produkte seien hier Beeren, Getreide oder Nüsse genannt, oder Hühnerbrüste für solche, die abgeflacht werden können, um unter die Elektrode oder zwischen die Elektroden zu passen. Die technische Bauweise dieses Systems ist daher begrenzt. (Niemira, 2012).

2.5.3 Mechanismen der Inaktivierung von Lebensmitteln

Das Plasma wird angewendet, um Mikroorganismen zu reduzieren. In erster Linie zeigt sich diese antimikrobielle Wirkung auf der Oberfläche. (DFG, 2012) Es sind drei unterschiedliche Mechanismen an der Inaktivierung der Mikroorganismen beteiligt. Erstens interagiert die Zellwand der Organismen mit den reaktiven Teilchen, Radikalen oder geladenen Partikeln wie Ozon, Singulett-Sauerstoff, Superoxid, Hydroxyradikalen und Hydrogenperoxid. (Niemira, 2012; DFG, 2012) Kovalente Bindungen in organischen Molekülen können dadurch gespalten werden. Es werden dabei für Einfachbindungen 1,5 bis 6,2 eV, für Doppelbindungen 4,4 bis 7,4 eV und für Dreifachbindungen 8,5 bis 11,2 eV an Energie benötigt. Zweitens werden die Membranen und Zellbestandteile durch photochemische Reaktionen durch die auftretende UV-Strahlung (100 – 380 nm) beschädigt. Aus Sauerstoff und/oder Stickstoff gebildete Radikale führen zu Spaltungs-, Polymerisations- oder Oxidationsreaktionen. Darüber hinaus werden die DNA-Stränge zum Teil zerstört. Es sind also die Akkumulation geladener Teilchen an der Zelloberfläche, der sinkende pH-Wert ohne Regulation desselben, das zusammenbrechende Membranpotential, die Gewinnung von Energie und oxidierende Zellbestandteile, die schließlich zur (letalen) Schädigung führen. Diese Inaktivierungsmechanismen wirken abhängig von der Plasmamethode, dem Lebensmittel und dem Mikroorganismus unterschiedlich. Während die hauptsächliche Inaktivierungsursache bei atmosphärischem Plasma das Ätzen mit Radikalen ist, lässt sich die abtötende Wirkung auch durch weitere antimikrobielle Methoden unterstützen. (DFG, 2012)

Die Oberflächenstruktur des zu behandelnden Produkts wirkt sich entscheidend auf die Effektivität der Inhibierung durch die Plasmabehandlung aus. Mögliche Faktoren, welche die Wirksamkeit beeinflussen, sind Kapillaröffnungen, Poren, Pufferkapazität und ein hoher Wassergehalt. Aufgrund dessen ist die Effektivität von einer Lebensmitteloberfläche zu anderen sehr unterschiedlich. Experimente mit Modellsystemen sind daher nur eingeschränkt auf andere komplexe Oberflächen übertragbar. Auch ganz spezifische Eigenschaften der Lebensmittel beeinflussen das Ergebnis. Diese Eigenschaften sind unter anderem Materialeigenschaften, Zusammensetzung und Geometrie sowie Produkterwärmung, Temperaturverteilung und der spezifische Energieertrag. Auch macht es einen Unterschied, ob die behandelten Lebensmittel Flüssigkeiten, Schüttgüter, stückig oder gleichmäßig geformt sind. (DFG, 2012).

2.5.4 Einfluss auf Lebensmittel

Während der Plasmabehandlung wirkt das Plasma sowohl auf die Mikroorganismen als auch auf Lebensmittel oder Lebensmitteloberfläche. Dabei ist das Ziel, die Mikroorganismen durch die Entkeimung größtmöglich zu reduzieren, ohne aber die Lebensmittelqualität zu übersehen. Die Ionen des Plasmas wird Oxidation -und Peroxide verfahren innerhalb der Zellmembranen von Mikroorganismen katalysiert, somit diese Oxidation durch Plasmaspezies auch bei jedem Produkt auftreten kann. Eine unterschiedliche Konzentration von Proteinen, Fetten, Kohlenhydraten und Wasser in Lebensmitteln, führt in Wechselwirkung mit dem Plasmaspezies zu komplexen Reaktionen.

Die Lipide der Oxidation basieren auf Plasma, das in der Lebensmittel wegen der Reaktion unerwünscht ist, denn sie können zu sekundären Oxidationsprodukten wie Aldehyden und kurzkettigem Fettacyl führen. Die Studie von (Durme, 2014) hat gezeigt, dass eine Kurzzeit mit nicht- Thermischem Plasma zu mehreren flüchtigen Lipidproduktionsprodukten an Gemüse führen kann, diese sind in beschädigten Ölen enthalten und ist daher als Plasmaexposition eine realistische Methode der Beschleunigung der Lipidoxidation.

Einige Studien haben Veränderungen bei bestimmten lebensmittelbezogenen Verbindungen aufgeklärt. Zum Beispiel wies ein Feldsalat einen unerklärlichen Anstieg des Flavonoid-Gehalts nach der Plasmabehandlung auf (DFG, 2012). In anderen Fällen wurde die Wechselwirkung der Pflanzenoberflächen durch das Kaltplasma beobachtet, bei denen ein Materialverlust auch festgestellt wurde. Mithilfe einem Rasterelektronenmikroskop wurde eine veränderte obere Epidermis durch das sogenannten Erosionsphänomen gezeigt. Weiterhin sind einige Verfärbungen bei behandelten Spinatblättern vorgekommen, die dann abgekühlt gelagert wurden. Bei anderen Versuchen, die Gewürze näher betrachtet haben, wurde gezeigt, dass sich die Produktfarbe nicht geändert hat. Weitere sensorische Einflüsse wurden bisher nicht viel untersucht. Von daher ist auszugehen, dass es keine Forschungseinschränkungen gibt, und die Verwendung von Plasma auf Lebensmittel immer noch zu untersuchen ist. Es kann nämlich nicht festgestellt werden, dass bei der Plasmabehandlung schädliche Substanzen für die Gesundheit entstehen (DFG, 2012).

Kaltplasma könnte sich physiochemische und rheologische Eigenschaften (feste und flüssige Eigenschaften) von Mehl verändern, damit es die Teigfestigkeit und das Mischen verbessert werden. Diese sind wichtig für Herstellung von Brot, Nudeln, Keksen und Gebäck. Außerdem könnte es das Kochen der Eigenschaften verbessern. Die Exposition des Kaltplasmas wird

Permeabilität des Wassers von braunem Reis durch Ätzen der Samenschale erhöht. Diese reduziert die Samenhärte und die jeweilige Kochzeit. Die Plasmabehandlung wird durch eine längere Exposition Getreidequalität beeinträchtigt die Getreidequalität, indem sich die Lipidoxidation, negativ auf die Nährstoffqualität auswirkt. Somit kann festgelegt werden, dass je sorgfältiger die Auswahl der behandelnden Lebensmittelproben mit geringem Fettgehalt ist, desto erheblicher werden die Risiken minimiert (Kaur, 2020).

2.5.6 Anwendung im Lebensmittelbereich

Kaltplasma wird seit Langem industriell in einer Vielzahl von Bereichen wie Medizintechnik, Materialherstellung und Lichttechnik eingesetzt. Seit mehreren Jahren wird es auch in der Lebensmittelindustrie dahingehend geforscht. Die Mehrzahl der Studien bezog sich hauptsächlich auf die Inaktivierung unerwünschter Mikroorganismen mit Kaltplasma in hitzeempfindlichen Lebensmitteln. Das Kaltplasma wurde auf verschiedene Produkte und Mikroorganismen aufgebracht, Beispielsweise wurden verschiedene Arten von Plasmaquellen aufgrund ihrer antimikrobiellen Wirkungen in tierischen Lebensmitteln wie Fleischsorte, Eier, Käse, Rindfleisch und Speck getestet. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass die Plasmabehandlung eine mögliche antimikrobielle Technik zur Inaktivierung von Lebensmittel übertragenen Krankheitserregern ist. Die Behandlung der Qualität von tierischen Lebensmitteln ist noch sehr begrenzt (DFG,2012, Misra,2016).

Strukturelle Veränderung lassen sich in Lebensmitteln, wegen der Oxidation von Protein feststellen, wenn sie Kontakt mit reaktiven Sauerstoffspezies und reaktiven Stickstoffspezies haben. DBD-Plasma mit Luft als Gasquelle kann die potentielle Morphologie, Kristalline, molekulare Strukturen und rheologische Eigenschaften von Maisstärke modifiziert werden. Es gibt verschiedene Studien, die an verschiedenen Stärkequelle durchgeführt wurden. Kartoffeln, Mais, Maniok, Weizen und Tapioka führten je nach Plasmabehandlungsbedingungen zu unterschiedlichen Veränderungen der Stärkeparameter. Die beobachteten Veränderungen in der Oberfläche von Stärkekörner, die Kristallisationsgrad und die Viskosität wurden ermittelt außerdem wurde Stärkekonzentration nach des Kaltplasmas der Behandlung erhöht (Thirmudas, 2017).

Kaltplasmasysteme haben das Potenzial zur Verbesserung von Konzentration der Fruchtsäfte gezeigt. Außerdem wurde in der Studie bewiesen, dass DBD Plasma die Haltbarkeit von frischen geschnittenen Kiwis verlängern kann, die die Bräunung ohne nachteilige

Auswirkungen auf Textur, Antioxidanziengehalt und antioxidative Aktivität während der Lagerung reduziert (Ramazzina, 2017).

Studien zur Wirkung von atmosphärischem Plasma auf Sporen von *Bacillus-Subtilis* haben gezeigt, dass die Gaszusammensetzung eine entscheidende Rolle spielt. Bei einer Dauer von 60 Minuten wurden die 2-Tages-Einheiten mit Helium und Sauerstoff reduziert. Im Gegensatz dazu wurde mit Helium und Stickstoff gezeigt, dass 180 Sekunden ausreichen, um eine Reduktion von 1 bis 2 Log - Einheiten und für 20 Minuten um 5 bis 6 Log - Einheiten zu erreichen (DFG, 2012).

Andere Studien haben gezeigt, dass infizierte Lupinenkörner hauptsächlich mit *Fusarium* und *Alternaria*, Felderbsenkörner mit *Fusarium*, *Alternaria* und *Stemphilium*, Gerstenkörner mit *Fusarium* versetzt waren. Sowohl das Plasma als auch die Behandlungen mit Radiowellen führten zu einer Verringerung der Körnerinfektion mit pathogenen Pilzen. Die wirksamsten Ergebnisse für alle getesteten Spezies wurden nach 10 und 15-minütiger Behandlung beobachtet. Die Exposition der Felderbsenkörner gegenüber Plasma für 10 Minuten führte zu einer Abnahme von *Fusarium*. *Alternaria* und *Stemphilium*- Infektionen ergaben um 4 %, 24 % und 3 %. Das *Fusarium* Infektionsniveau in Lupinenkörner verringerte sich um 9 % nach 15 min Plasmabehandlung (Misra, 2016).

Die Behandlung mit Kaltplasma ist ein flexibles, antimikrobielles Verfahren, das auf eine Vielzahl von Lebensmitteln angewendet werden kann. Untersuchungen haben gezeigt, dass Kataplasma krankheitserreger für Menschen reduziert, hat z.B. wie *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *S. Aureus* und *Shigella* spp. Die meisten nichtthermischen Plasmen verwendet man bei niedrigen Temperaturen, daher sind keine wesentlichen thermischen Effekte auf Bakterienzellen zu erwarten. Wärme ist kein wesentlicher Faktor für die Effizienz der Plasmaaktivierung (Misra, 2016).

Die Studie berichtete über eine vollständige Inaktivierung von *Staphylokokkus aureus*, die nach dem sie mit Plasma für 16 Minuten behandelt wurde, zu einer wässrig suspendierten Lösung wurde durch kalten Atmosphärendruck -luft Plasma Mikro-jet inaktivieren konnte. Mit zunehmender Behandlungszeit von 10 Minuten auf 16 Minuten würde pH-Wert abgenommen und bei pH-Wert 4,5 konstant blieben. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Inaktivierungsrate schnell angestiegen. Diese Studie hat bewiesen, dass der Säuregehalt der flüssigen Lösung und die Wechselwirkung plasmaaktivierter Spezies (Radikalen) zur Peroxidation der Fettsäure in der Zelle führen. Die Membran war zudem für die Inaktivierung von *S. Aureus* in wässriger Suspension verantwortlich (Liu, 2010).

3 Materialien und Methoden

Die in der Arbeit verwendeten Materialien und Geräte sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 2: Verwendete Materialien

Material	Hersteller	Charge-Nr.
Yeast Glucose Agar (YGC)	Carl Roth GmbH + Co. KG, Deutschland	140295341
Kartoffel Extrakt Glucose- Bouillon (PDA)	Carl Roth GmbH + Co. KG, Deutschland	220296605
Casein- Soja- Pepton- Agar Bouillon (CASO)	Carl Roth GmbH + Co. KG, Deutschland	190296352
Agar- Agar, Bioscience	Carl Roth GmbH + Co. KG, Deutschland	090294058
UV-Küvette- 12,5*12,5*45mm	Brand GmbH + CO KG, Deutschland	-
Glasgefäß	-	-
Petrischalen	-	-
Drigalski – Spatel	-	-
Pipettenspitzen 10 µl,100 µl,1000 µl	-	-
Pipette 100-1000 µl	-	-
Sterilisiertes Wasser	-	-
Gerste, ungespelzt	Ernte 2019	-

Tabelle 3: Verwendete Geräte

Gerät	Hersteller
Brutschrank	Thermo Scientific
Phometer	
Autoklav	Certoclav Sterilizer GmbH, Austria
Waage	-
Generator	Tigers GmbH, Deutschland
T-Spot Plasma	
T-Jet Plasma	
DBE Plasma	
Vortexer	-

3.1 Aufbau des T- Jet Plasmageräts

Die drei Grundkomponenten eines Plasmageräts sind normalerweise Generator, Transformator und Werkzeug, wie in der Abbildung (6) zu erkennen ist. Es arbeitet unter Atmosphärendruck. Nichtleitende Materialien werden mithilfe der Behandlungswerkzeuge des T-Jets durch eine Koronaentladung behandelt. Diese wird aus dem Werkzeug heraus durch ein Gasgemisch zwischen zwei Elektroden gezündet. Die Elektroden müssen unbedingt so montiert werden, dass keinerlei Berührung stattfinden kann. Durch eine reproduzierbare Geschwindigkeit und gleichbleibenden Abstand zur Elektrode, mit denen das Substrat unter der Öffnung des Werkzeugs vorbeiläuft, wird eine gleichmäßige Behandlung gewährleistet. Empfohlen wird bei der Behandlung ein Abstand von ca. 10-25 mm. Er kann, abhängig von der Geschwindigkeit der Behandlung und der Situation, vergrößert werden. Das Gerät ist aus zwei Köpfen zusammengesetzt.



Abbildung 6: verwendete T-Jet-Plasmaanlagen in den Versuchen

Die beiden Elektroden liegen 6,5 mm weit auseinander. Wenn der Behandlungskopf im Laufe der Zeit durch Abbrennen der Blattelektrode größer geworden ist, kann zu einem bestimmten Zeitpunkt kein Zündvorgang mehr erfolgen.

Die Ausgangsleistung, die für das Vorbehandlungswerkzeug erforderlich ist, wird bei einer maximalen Ausgangsleistung von 2.000 Watt vom Generator der Typenbezeichnung W20 geliefert, einem Generator der Serie W. Die benötigte Spannung wird zwischen dem Generator und dem Werkzeug vom Transformator umgewandelt.

3.2 Aufbau des T-Spot Plasmageräts

Mit den Behandlungswerkzeugen der T-Spot-Plasmageräte werden Metalle mithilfe eines atmosphärischen Luft-Plasmas und Kunststoffe mithilfe von quasineutralem Plasma behandelt. Auch dieses Gerät arbeitet unter Atmosphärendruck. Die Entladung des Primärplasmas wird im Inneren der Düse gezündet. Die Abbildung (7) zeigt, wie Primärplasma (Stromfäden) zusammen mit Sekundärplasma, das durch Entladung in einen angeregten Zustand gebrachte verwendete Gasgemisch, aus der Öffnung austritt. Das Plasma ist innerhalb des ausreichenden Sekundärplasmas ohne Stromfäden bei etwa gleich vielen positiv wie negativ geladenen Teilchen praktisch potentialfrei.

Durch eine reproduzierbare Geschwindigkeit und gleichbleibenden Abstand zur Elektrode, mit denen das Substrat unter der Öffnung des Werkzeugs vorbeiläuft, wird eine gleichmäßige Behandlung gewährleistet. Der optimale Behandlungsabstand beträgt ungefähr 5-7 mm. Auf keinen Fall darf hierbei das potentialbehaftete Primärplasma mit den sichtbaren lila Stromfäden berührt werden oder Kontakt haben. Der Abstand zum behandelten Produkt kann bei Bedarf abhängig vom Material, der Behandlungsgeschwindigkeit und der örtlichen Situation vergrößert werden.



Abbildung 7: T-Spot Plasma, Entladung

Die Ausgangsleistung, die für das Vorbehandlungswerkzeug erforderlich ist, wird bei einer maximalen Ausgangsleistung von 800 Watt vom Generator der Typenbezeichnung V08 geliefert, einem Generator der Serie V.

3.3 Aufbau des DBE Plasmageräts

Plasmaanwendungen sind Direktbehandlungen, bei denen dielektrisch behinderte Entladungen (DBE) zum Einsatz kommen. Das verwendete Gasgemisch ist Luft, und das Gerät arbeitet unter Atmosphärendruck. Verschiedene Elemente sind Bestandteil des Plasmageräts, darunter in erster Linie der Funktionsgenerator, das Steuergerät, ein Spannungswandler, die Hochspannungsversorgung und mehrere Elektroden zum Wechseln. Hinzu kommt ein Glasdeckel mit dreifacher Bohrung und das Verbindungskabel vom Steuergerät zum Funktionsgenerator. Nachdem alle Elemente miteinander verbunden worden sind, wurde der Funktionsgenerator auf eine Frequenz von ca. 611 MHz eingestellt. Über dem Aufbau befindet sich, nur der Funktionsgenerator stand außerhalb davon. (Siehe Abbildung 4)



Abbildung 8 : Verwendete DBE- Plasmaanlage in den Versuchen

Da der Spannungswandler bis zu 50 kV generieren kann, muss die Plasmaanlage auf einem elektrisch isolierten Untergrund platziert werden.

Nachdem die Elektrode etwa 30 Minuten lang im Einsatz war, wurde sie gegen eine andere ausgetauscht. Im Anschluss an die Plasmabehandlung werden die Elektroden neu vorbereitet. Dazu wird jede Elektrode einzeln für etwa drei Minuten in ein Becherglas mit Aceton gelegt,

um verbleibende Lackbestandteile zu beseitigen, und anschließend wieder herausgenommen. Danach werden sie in einem Gestell aus Styropor stehend mit Plastik70-Lack besprüht. Die Elektroden können bis zu 45 Minuten lang wiederverwendet werden, nachdem sie mindestens zwei Stunden lang getrocknet sind. Anschließend müssen sie erneut mit Lack besprüht werden.

4 Durchführung

4.1 Vorbereitung der Agar-Medien

Durch die Untersuchung wird die Gesamtkeimzahl von Bakterien, Hefen und Schimmel an Getreide quantitativ bestimmt. Für die Versuche gilt es unterschiedliche Medien (Caso-Bouillon, PDA-Bouillon und YGC-Bouillon) nach ihren Anwendungskriterien vorzubereiten. Letztere sind auf den dazugehörigen ihren Verpackungen geklärt. Der erste Schritt besteht darin, Caso-Bouillon und PDA-Bouillon Jeweils separat mit Agar-Agar (18g/L) zu mischen. Danach ist jede Media in einem Glasgefäß mit Wasser bis auf 1L aufzufüllen. Anschließend wird das Gemisch im Autoklav für 20 Minuten bei 121°C sterilisiert. Um Kondenswasser zu vermeiden, ist es wichtig wurden das sterilisierten Glasgefäße zuerst bis auf ca. 45°C zu kühlen. Zuletzt muss die Flüssigkeit auf die Agarplatten gegossen werden.

4.2 Herstellung der flüssigen Medien

Für die Untersuchung wird 500 ml Caso-Bouillon vorbereitet und in Reagenzgläser übertragen, letzter gilt mit dem Stopfen zu verschließen, und im Autoklav für 20 Minuten bei 121°C zu sterilisieren. Die Reagenzgläser werden im Anschluss dann bei Raumtemperatur abgekühlt und zuletzt in den Kühlschrank gestellt.

4.3 Herstellung der Verdünnungsreihe

Um die Mikroorganismen zählen zu können, wird die Probe kleinstmöglich verdünnt. Bei den Versuchen gilt es 10g Gerste in dem Glasgefäß unter Abzug mit 90ml destilliertem Wasser aufzufüllen und ausreichend zu mischen, Dadurch können sich die Mikroorganismen angemessen verteilen. Zunächst wird 1ml von dieser Mischung entnommen, in einer Pipettenspitze mit 9ml destilliertem Wasser vermischt, und auf das Mischgerät (Vortex)

gestellt. letzteres mischt die Probe entsprechend durch. Davon ist 1ml entnehmen und zu verdünnen. Das Gemisch gilt es weiter zu verdünnen, bis der Verdünnungsfaktor 10^{-3} erreicht ist. Anschließend wird eine Verdünnungsreihe (10^{-1} - 10^{-3}) erstellt, wie in der Abbildung (9) zu sehen ist.

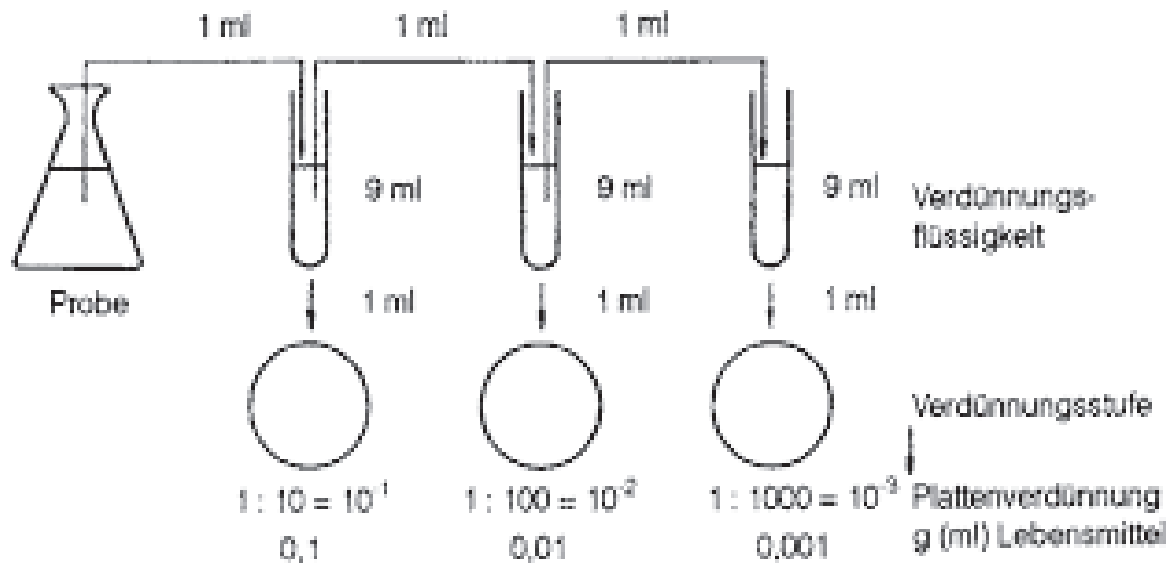


Abbildung 9: Herstellung einer dezimalen Verdünnungsreihe (jeweils 1:10) [Baumgart, 2008]

Zunächst wird die Probe mit einem sterilen Drigalski-Spatel gleichmäßig auf der Oberfläche verteilt. Für das Spatel-Plattenverfahren gilt es einen Drigalski-Spatel in einem Becherglas mit Ethanol zu entzünden. Dieser verbrennt außerhalb der Flamme. Nach kurzem Abkühlen wird der keimfreie Drigalski-Spatel verwendet. Danach ist jede Probe je nach ihrer Mediasorte in ihrem passenden Brutschrank in Bezug auf die eigene Temperatur zu bebrüten (Bacteria bei 34°C , Hefen und Schimmel bei 26°C). Bei der Bebrütung von Petrischalen muss darauf geachtet werden, dass sie mit dem Boden nach oben bebrütet werden, damit kein Kondenswasser auf die Nährböden tropft [BAUMGART, 2008].

4.4 Auswertung und Berechnung der Gesamtkeimzahl

Nachdem die Petrischalen bebrütet wurden, nimmt man sie aus dem Brutschrank heraus und zählt die gebildeten Kolonien. Hierbei verwendet man nur Platten mit 10 bis 300 Kolonien bildenden Einheiten, um die Keimzahl korrekt ermitteln zu können. Die KbE/ml der auswertbaren Verdünnungsstufen stellen die Grundlage für die Errechnung des arithmetischen Mittels dar.

$$\text{Formel: } C = \frac{\sum C}{n_1 \times 1 + n_2 \times 0,1} * d$$

C: gewogener arithmetischer Mittelwert der Koloniezahlen

$\sum C$: Summe der Kolonien aller Petrischalen, die zur Berechnung herangezogen wurden; niedrigste und nächsthöhere auswertbare Verdünnungsstufe

n1: Anzahl der Petrischalen der niedrigsten auswertbaren Verdünnungsstufe

n2: Anzahl der Petrischalen der nächsthöheren Verdünnungsstufe

d: Faktor der niedrigsten ausgewerteten Verdünnungsstufe

4.5 Messung durch optische Dichte

Im dritten Versuch wird Gerste mittels T-Spot, T-Jet und DBE-Plasmagerät behandelt. Das ist in den Tabellen 4 und 5 zu sehen. Danach gilt es 1g Gerste abzuwiegen und in den Flüssigmedien jedes Reagenzglas hineinzusetzen. Um die Menge der Zellen abschätzen zu können, wird die optische Dichte (OD) bei einer Wellenlänge von 600nm photometrisch gemessen. Dazu ist es wichtig, die 1 μ L der Suspension in eine Einmalküvette zu pipettieren und im Photometer erfassen. Diese Messung ist anschließend nach der folgenden Gleichung in Biomasse umzuwandeln. Der Biomasse-Anteil wird als Mikroorganismus und einschließlich der Pilze betrachtet.

$$\text{mg Biomasse /ml} = \text{Absorbanz} * 0.448$$

4.6 Vorbereitung der Probe

In allen Versuchen wird Gerste verwendet. Zuerst ist ein Löffel mit der Flamme eines Feuerzeuges zu entzünden, um die Probe bei der Einwaage nicht zu kontaminieren. Des Weiteren gilt es von jeder Probe 10g einzuwiegen. Diese sollen sowohl in leeren sterilen Petrischalen (die zu behandelnden Proben) als auch in sterilen Glasgefäßen (die nicht zu behandelnden Proben) aufgefüllt und die Deckel beschriftet werden. Während die zu behandelnden Proben zuerst mit Kaltplasma zu behandeln und anschließend mikrobiologisch zu untersuchen sind, gilt es die nicht zu behandelnden Proben direkt mikrobiologisch zu überprüfen, ohne sie zu behandeln.

4.7 Die Behandlung von Gerste mit T-Spot Plasma

Es werden drei leere sterilen Petrischalen mit je 10g Probe eingewogen. Dies sind ohne Deckel der Petrischalen in der Kammer einzusetzen. Die Druckluft gilt es aufzudrehen und den Generator anzumachen. Letzterer ist bei 100% Power für jeden Versuch einzustellen. Anschließend wird er eigene Zeit in der Standzeit belassen, wie in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 4: Parameter bei T-Spot Plasma

Versuch	Plasmadosis	Standzeit
V1	3,5 min	2 St.
V2	2 min	15 min
V3	2 min	15 min

Nach der Standzeit werden die behandelten Proben durch einen sterilen Trichter in ebenso keimfreien Glasgefäßen. Bei jeder Probe ist es wichtig, der Trichter zuvor mit Ethanol zu desinfizieren.

4.8 Die Behandlung von Gerste mit T-Jet Plasma

Es werden drei leere sterile Petrischalen mit je 10 g Probe eingewogen. Danach gilt es den Trichter auf der Amplitude gerät festzustellen und mit Ethanol zu desinfizieren. Die Druckluft ist aufzudrehen und der Generator zu starten. Als nächstes wird die Probe in den Trichter geschüttet. Bei allen Versuchen kommt lediglich eine Elektrode zum Einsatz. Anschließend gilt es sie auf verschiedene Amplituden einzustellen, Dies ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5: Eingestellte Amplitude bei T-Jet Plasma

Versuch	Amplitude
V2	30
V3	40

Wenn die Probe behandelt wird, ist sie anschließend in einer Glasschale aufzufüllen und ins sterile Glasgefäß zu übertragen. Bei jedem Versuch ist es erfolgreich, die Glasschale und den Trichter der Amplitude mit Ethanol zu desinfizieren.

4.9 Die Behandlung von Gerste mit DBE Plasma

Es werden drei leere sterilen Petrischalen mit je 10g Gerste eingewogen. Nachdem die Elektrode montiert ist, gilt es die Kabel mit dem Spannungswandler zu verbinden. Anschließend ist der Spannungswandler zu starten. Danach ist die Probe für 15 min mit DBE-Plasma zu behandeln.

Die behandelten Proben müssen durch einen sterilen Trichter in ebenso Keimfreien Glasgefäßen eingesetzt werden. Bei jeder Probe ist erfolgreich, den Trichter mit Ethanol zu desinfizieren, bevor diese in das Glasgefäß kommt.

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der insgesamt drei mikrobiologischen Untersuchung sind in den Anhängen (Tabellen 7-12) zusammengefasst.

5.1 Die Behandlung von Gerste mit T-Spot Plasma

Die Ergebnisse der ermittelten Gesamtkeimzahl der unbehandelten Probe und der mittels T-Spot Plasma sind in Abbildung (10) dargestellt. Caso-, YGC- und PDA-Agarplatten werden für die Berechnung der Gesamtkeimzahl ausgewertet, die ein Wachstum zwischen 5 und 300 Kolonien aufweisen. Diese Bedingung wurde in dieser Arbeit entsprochen, wie im Anhang (1) aufgeklärt ist.

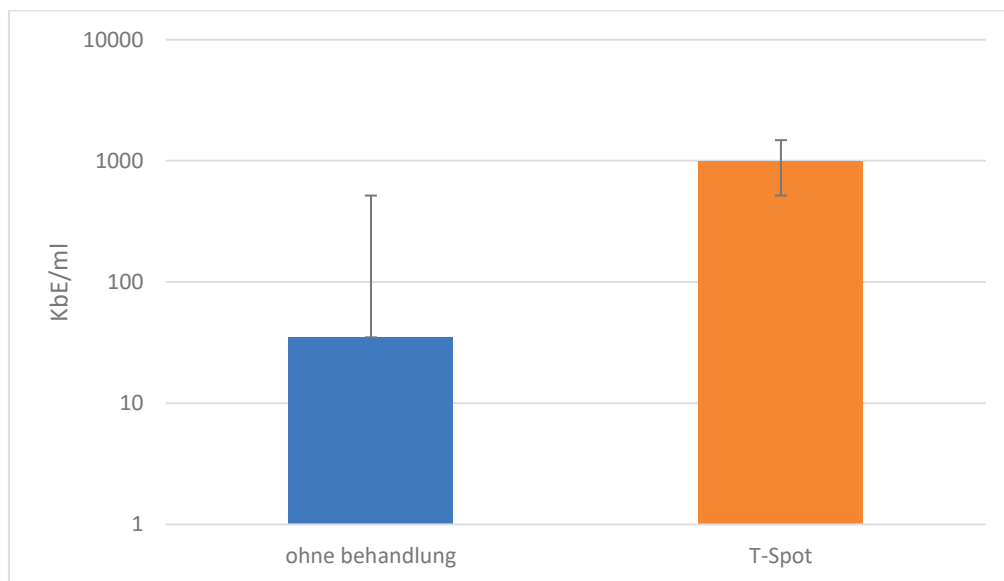


Abbildung 10: Vergleich der Gesamtkeimzahl Vor und Nachbehandlung von Gerste

In Abbildung (10) ist zu erkennen, dass die KbE/ml der unbehandelten Probe und der behandelten Probe von Gerste sehr unterschiedlich sind. Obwohl die Probe für 3,5 Min mit Plasma und im Anschluss für 2 St. als Standzeit behandelt wird, ist die KbE/ml der unbehandelten Probe deutlich geringer, stattdessen sollte sie gleich ausfallen. Sowohl die unbehandelte als auch die mittels T-Spot behandelte Probe wird drei Mal durchgeführt, dabei ist bei fast allen durchgeführten Untersuchungen keine Keimzahl, außer bei der letzten Wiederholung der PDA-Probe (VF=1000) aufgetreten. Eine Kontaminierung durch das

Plasma-Gerät während der Arbeit ist vermutlich unwahrscheinlich, da es keinen direkten Kontakt zwischen der Probe und dem Gerät gibt. Daher sind Fehler beim Ausplattieren als eine mögliche Ursache zu betrachten. Gleichmaßen können diese bei einer fehlerhaften Durchmischung der Verdünnungsreihe auftreten.

5.2 Die Behandlung von Gerste mit T-Jet Plasma

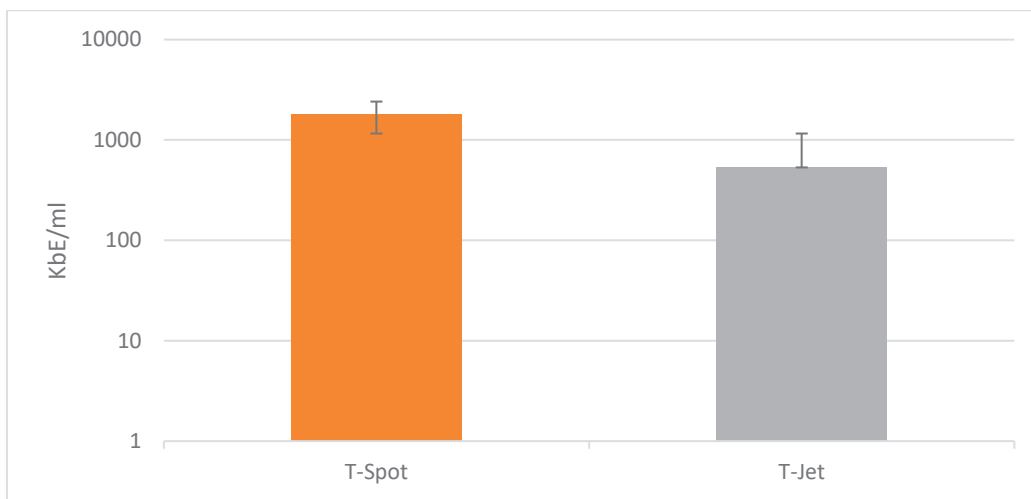


Abbildung 11: Vergleich der Gesamtkeimzahl nach Dekontaminationsversuch an Gerste

In Abbildung (11) ist zu erkennen, dass die Gesamtkeimzahl bei beiden Methoden (T-Jet- und T-Spotplasma) hoch ist. Beim T-Jetplasma ist sie allerdings geringer. Dies bedeutet jedoch nicht, dass ein T-Spotplasma nicht nützlich ist. Ein Grund dafür kann die unzureichende verwendete Plasmadosis und Standzeit des T-Spotplasmas sein. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Drigalski-Spatel durch die mikrobiologische Arbeit nicht ausreichend desinfiziert ist. Durch die Arbeit der Plasmaanlage werden die verwendeten Laborinstrumente mit Flame und Alkohol desinfiziert, Dennoch sind die Ergebnisse nicht erfolgreich.

5.3 Messung durch Photometer

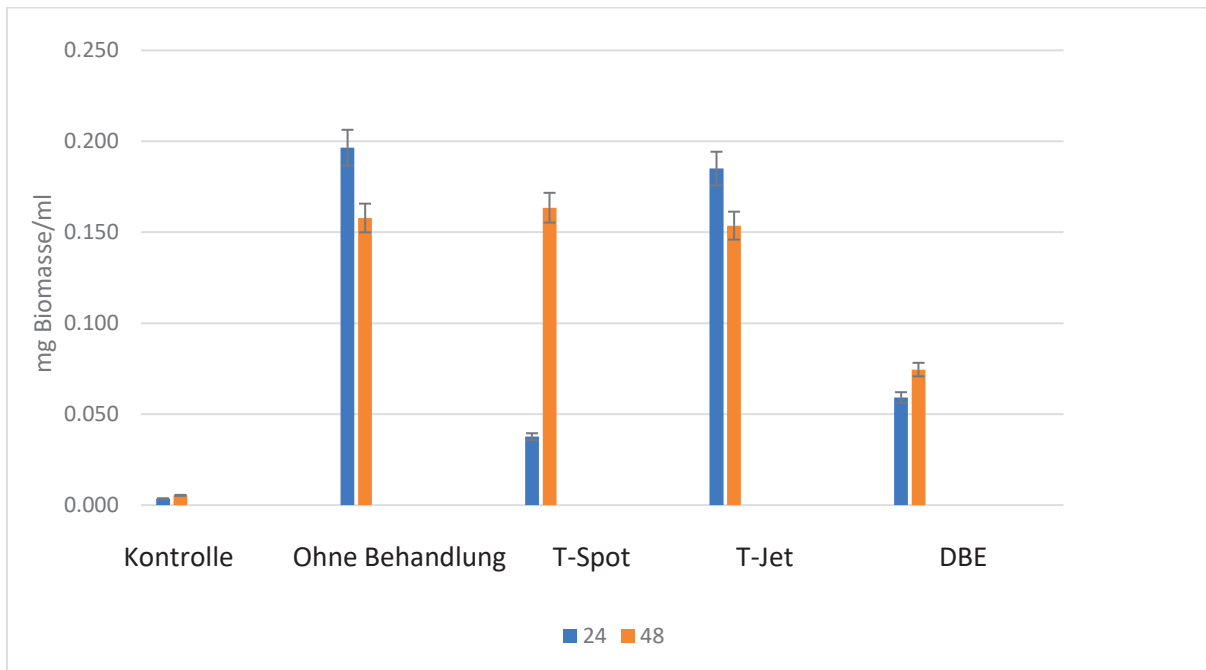


Abbildung 12: Vergleich des Biomassewachstums vor- und Nachbehandlung an Gerste (nach 24h und 48h)

Die Abbildung (12) zeigt das Biomassewachstum der Gerste bei unterschiedlichen Behandlungsmethoden sowie ohne Behandlung nach 24 und 48 Stunden. Im Vergleich zu einigen Behandlungsmethoden hat die Probe ohne Behandlung reiche Biomasse. T-Jet-Plasma besitzt die Probe fast die gleiche Menge an Biomasse. Das heißt, dass die T-Jet- Plasma Methode nicht vollständig aktiv sein könnte, um die Biomasse der Gerste zu verringern. Die dielektrische behinderte Entladungsmethode zeigt jedoch deutlich, dass sie die Biomasse ausreichend verringert und die Vorgehensweise sehr aktiv ist.

Logischerweise soll die Biomasse regelmäßig wachsen, wenn die Probe länger bebrütet wird, Das ist im Gegenteil mittels T-Jet-Plasma und ohne Behandlung passiert. Das könnte auf einen Messfehler zurückzuführen sein.

Die folgende Tabelle stellt die Biomasse nach 48 St. Bebrütung im Vergleich zu KbE/ml nach 72 St. Bebrütung einigen Proben dar.

Tabelle 6: Darstellung der Biomasse und KbE/ml von einigen Proben

Probe	mg Biomasse/ml	KBE/ml
K	0,005	0
P1-0	0,309	30
P2-T-Spot	0,070	0
P2-T-Jet	0,041	482
DBE3	0,032	300

In der Tabelle kann man merken, dass die Probe, die mit dem T-Spot-Plasma behandelt wurde, war sehr reich an Mikroorganismen. Das gibt Probe P2-T-Spot zu erkennen. Die KbE/ml und Biomasse der Probe P2-T-Spot sind nahezu identisch. Die Proben P2-T-Jet und DBE3 verfügen übereinen hohen Anteil an KbE/ml, obwohl die Biomasse gering ist. Die lange Zeit der Bebrütung dieser Proben könnte dies begründen, da die Medien ein passendes Umfeld für das Wachstums einiger Mikroorganismen wie Schimmel und Hefen sind. Von daher ist zu vermuten, dass ein großer Anteil der KbE/ml bei diesen Proben Schimmel u.a. Hefen ist. Darüber hinaus werden diesen Proben bei der passenden Temperatur des Schimmel- und Hefenwachstums bebrütet.

6 Diskussion und weitere Vorgehensweise

In den durchgeführten Versuchen wurde Kaltplasma auf Gerste verwendet. Der erste Versuch bestand darin, T-Spot Plasma zur Behandlung von Gerstenkörnern im Vergleich zu unbehandelten Gerstenkörnern zu verwenden, um Wirksamkeit des Geräts sicherzustellen und festzustellen, ob es Mikroorganismen abtötet oder nicht. Diese Versuchsreihe stellte heraus, dass die Mikroorganismen sehr gut gehemmt werden, außer bei der dritten Probe der Plasma-Behandlung. Der einzige Grund dafür könnte die Kontamination während der Verdünnungsreihe-Erstellung sein. Diese Werte der Hemmung passen aber mit langer Behandlungsdauer und Standzeit an, sodass am Ende die Mikroorganismen gut abgetötet werden. Aus ökonomischen Gründen war diese Behandlungsmethode mit den durchgeführten Parametern sinnvoll.

Bei der zweiten Versuchsreihe war der Vergleich zwischen T-Spot- und T-Jet-Plasma erfolgreich. Beide Methoden könnten nicht alle Mikroorganismen abtöten, trotzdem bewies T-Jet-Plasma bessere Wirksamkeit, weil die Behandlung direkt mit der Probe brachte. Wenn eine Kontrollprobe ohne Behandlung bei dieser Versuchsreihe durchgeführt wurde, könnten beiden Methoden miteinander besser verglichen werden. Aus organisatorischen Gründen konnte eine Kontrollprobe nicht eingesetzt werden.

In der letzten Versuchsreihe wurden T-Spot-, T-Jet- und DBE-Plasmabehandlung durchgeführt, und mit einer neu eingesetzten Kontrollprobe verglichen. Da wurde erst die Biomasse aller Proben ermittelt, dann wurden die Proben, die beste Biomasse-Werte haben, davon kultiviert, um die Ergebnisse nachher miteinander besser verglichen werden zu können. T-Jet- und DBE-Plasmabehandlung bewiesen bessere Wirksamkeit als T-Spot-Plasmabehandlung, da sie direkte Behandlung mit der Probe brachten. Wenn die Probe bei DBE-Plasma länger behandelt werden sollte, hätte die Gesamtkeimzahl verbessern können.

Insgesamt beruht die Behandlungseffektivität in starkem Maße auf die verwendeten Gasgemische Plasmaanlagen. Eine Inaktivierung bis zu 7,6 Log-Stufen des Bakterium *Listeria monocytogenes* war laut Lee et al. (2011) bei ihren Versuchen durch T-Jet-Plasma und ein Gasgemisch von Stickstoff und Oxygen möglich.

Des Weiteren ist es vorgeschlagen, die Behandlung mit desinfizierter Probe durchzuführen, bevor die Probe manuell mit einigem Mikroorganismus (wie Schimmel) infiziert wird. Dies war für diese Arbeit schon geplant, leider aber wegen der momentanen Situation durch die Covid-19 Pandemie war es nicht machbar.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde die Gerste mit verschiedenen Methoden behandelt. Die Auswirkung vom Kaltplasma auf die Gesamtkeimzahl wurde erkannt. Die erzielten Ergebnisse werden bezüglich auf die Biomasse und Koloniebildende Einheiten von der unbehandelten und behandelten Gerste ausgewertet und diskutiert.

Vor allem wurde eine Kontrollprobe getestet, um zu erkennen, wie sich die Gerste durch verschiedene Behandlungsmethoden verhält. Die meisten Proben haben mehr Keimzahl als der Kontrollprobe bezüglich auf die Biomasse und Koloniebildende Einheiten. Da die verwendete Plasmaanlagen einen Einfluss auf das Verhalten der Behandlung haben, war die Vergleichbarkeit der Gesamtkeimzahl bei manchen Fällen ungenau. Die Ergebnisse könnten repräsentativer werden, wenn diese Abweichungen der Biomasse und Koloniebildende Einheiten reduziert werden, sollte den Versuch unter strengeren hygienischen Bedingungen wiederholt werden.

8 Abkürzungen- und Symbolverzeichnis

Caso- Agar	Casein- Soja- Pepton- Agar
PDA- Agar	Kartoffel Extrakt Glucose-Bouillon
YGC-Agar	Yeast Glucose Agar
KbE	Kolonie bildende Einheit(en)
DBE	Dielektrische behinderte Plasma
St.-abw.	Standardabweichung
M	Millionen Euro
CAP	Cold Atmospheric Plasma
°C	Grad Celsius
eV	Elektronenvolt
aw-Wert	Wasseraktivität
PH- Wert	Maß für die Wasserstoffionenkonzentration
min	Minute(n)
St	Stunde(n)
h	hour
µm	Mikrometer
ml	Milliliter
g	Gramm
V1	Versuch 1
V2	Versuch 2
V3	Versuch 3
P	Probe
K	Kontrolle
P1-0	unbehandelte Probe

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phylognese der Getreidearten und botanische Bezeichnung [Rimbach,2010]

Abbildung 2: Aufbau und Bestandteile eines Getreidekornes [Rimbach,2010].

Abbildung 3: Vergleich der Zellwandstruktur von gramnegativen und grampositiven Mikroorganismen [Amelung, 2018].

Abbildung 4: Bau der Hefe Zellwand und Zellmembran [MUG-MIKROBRAUERIE].

Abbildung 5: Entstehung und Zusammensetzung des Plasmas [Plasmatreat GmbH].

Abbildung 6: verwendete T-Jet-Plasmaanlagen in den Versuchen.

Abbildung 7: T-Spot Plasma, Entladung.

Abbildung 8: Verwendete DBE- Plasmaanlage in den Versuchen.

Abbildung 9: Herstellung einer dezimalen Verdünnungsreihe (jeweils 1:10) [Baumgart, 2008].

Abbildung 10: Vergleich der Gesamtkeimzahl vor und nach- Behandlung von Gerste.

Abbildung 11: Vergleich der Gesamtkeimzahl nach Dekontaminationsversuch an Gerste.

Abbildung 12: Vergleich des Biomassewachstums vor- und Nachbehandlung an Gerste (nach 24h und 48h).

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: wichtige Toxinbildende Lagerpilze und ihre Umweltansprüche.

Tabelle 2: Verwendete Materialien.

Tabelle 3: Verwendete Geräte.

Tabelle 4: Parameter bei T-Spot Plasma.

Tabelle 5: Eingestellte Amplitude bei T-Jet Plasma.

Tabelle 6: Darstellung der Biomasse und KbE/ml von einigen Proben.

Tabelle 7: Errechnete KbE/ml für die unbehandelte Gerste der ersten Versuchsreihe.

Tabelle 8: Errechnete KbE/ml für die behandelte Gerste der ersten Versuchsreihe.

Tabelle 9: Errechnete KbE/ml für die behandelte Gerste durch T-Spot-Plasma der zweiten Versuchsreihe

Tabelle10: Errechnete KbE/ml für die behandelte Gerste durch T-Jet-Plasma der zweiten Versuchsreihe

Tabelle 11: Errechnete Biomassewachstumsanteil vor- und Nachbehandlung an Gerste (nach 24h und 48h) die dritte Versuchsreihe

Tabelle12: Errechnete Biomasseanteil und KbE/ml von einigen Proben der dritten Versuchsreihe

11 Literaturverzeichnis

Amelung Wulf, Peter-Blume, Fleige, Horn, Kandler, Kögel-Knabner, Kretzschmar, Stahr, Wilke: Lehrbuch der Bodenkunde. 17 Auflage, Springer Verlag GmbH, Deutschland 2018.

Belitz H-D, Schieberle W, Grosch P: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 6 Auflage, Springer, Berlin-Heidelberg, 2008.

BAUMGART Jürgen: Mikrobiologische Untersuchung von Lebensmitteln. Behr's Verlag, Hamburg, 2008.

Cypionka, Heribert: Grundlagen der Mikrobiologie. 4 Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010.

Critzer Faith J: Atmospheric Plasma Of Foodborne Pathogens on Fresh Produce Surfaces, Journal of Food Protection, 2007

Gisela H. Degen: Mykotoxine in Lebensmitteln, vorkommen, Bedeutung und gesundheitliches Risiko. Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund, Deutschland.

DFG Senatskommission Zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln (SKLM): Stellungnahme zum Einsatz von Plasmaverfahren zur Behandlung von Lebensmitteln. [Http: www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_Profil/reden_stellungnahmen/2012/Sklm_plasmastellungnahme_120525pdf](http://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_Profil/reden_stellungnahmen/2012/Sklm_plasmastellungnahme_120525pdf), 2012.

Dittrich Helmut: Mikrobiologie der Lebensmittel. Getränke, Behrs GmbH, 1993.

Dermoumi Heide: Bestimmungsbuch für Pilze in der Medizin. Ein praktischer Leitfaden mit mikroskopischen Bildern. Lehmanns Media (Verlag), 2008.

Eckardt Guido: Mykotoxine: Zearalenon und seine Metabolite – Analytik mittels IAC-LC/MS-MS, Hamburg, Diplomica Verlag GmbH, 2010.

Gegenbach Heinz: Getreidelagerung – Sauber- Sicher- Wirtschaftlich, 1 Auflage, DLG Verlag, Agrarpraxis Kompakt- Deutschland, 2013.

KÜCK Ulrich, Nowrousian Minou, Hoff Birgit, Engh Ines: Schimmelpilze. Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. 3. Auflage, Springer, Heidelberg 2009.

Kaur, M, Hüberli D, Bayliss: Cold Plasma exploring a new option for management of postharvest fungal pathogens, mycotoxins and insect pests in Australian stored cereal grain, *Crop & Pasture Science*, <https://doi.org/10.1071/CP20078>, 2020.

Keweloh Heribert: Mikroorganismen in Lebensmittel, Theorie und Praxis der Lebensmittelhygiene, 6.Auflag, Fachbuchverlag Pfanneberg GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten <http://www.pfanneberg.de>,2016.

Liu Fuxing: Inactivation of Bacteria in an Aqueous Environment by a Direct-Current, Cold-Atmospheric-Pressure Air Plasma Micro Jet, *Plasma Processes and Polymers*,2010.

Lee, S: Dougherty, :R Kang, D: Inhibitory Effects of High Pressure and Heat on Alicyclobacillus acidoterrestris Spores in Apple Juice. *Applied and Environmental Microbiology* (2002)

Matissek Reinhard: Lebensmittelsicherheit – Kontamination – Rückstände – Biotoxine, Springer-Verlag GmbH, Berlin-Heidelberg, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59669-2> , 2020.

Matissek Reinhard: Lebensmittel Chemie, 8 Auflage, Springer- Verlag GmbH, Berlin-Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-662-47112-8, 2016.

Medianer Thomas: Genusspflanzen, Landessaatzuchtanstalt Universität Hohenheim Stuttgart, Deutschland, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56602-2>, , 2018.

Misra N: Cold Plasma in Food and Agriculture, Fundamentals and Applications, Academic Press, Amsterdam, The Netherland 2016.

Misra N: Cold Plasma for Effektive fungal and Mykotoxine Control ins Food, Mechanismus, inactivation Effects, and Applications 2018.

MückeWolfgang, Lemmen, Christa: Schimmelpilze. vorkommen. Gesundheitsgefahren. Schutzmaßnahmen, 3. Auflage, ecomed Medizin, Landesberg am Lech 2004.

Niemira, Brendan A: Cold Plasma Decontamination of Foods. *Annu. Rev. Food Science Technology*, 2012.

Reetz Tobias, Leon Jens: Die Enthaltung der genetischen Diversität bei Getreide. Auswahl einer Gersten Core-Collection aufgrund geographischer Herkunft, Abstammung, Morphologie, Qualität, Anbaubedeutung und DANN Markeranalysen, Forschung Bericht Nr. Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät,2004.

Rimbach Gerald, Möhring Jennifer, Erbersdobler HF: Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, DOI: 10.1007/978-3-642-04486-1, 2010.

Ramazina Ilena, Annachiara Berarinelli, Federica Rizzie, Silvia Tappi, Luigi Rangni, Giampiero Sacchetti and Pietro Rocculi: Effect of cold Plasma treatment on Physico-chemical Parameters and antioxidant activity of minimally Processed Kiwifruit. Postharvest Biology and Technology. Web. 6 May 2017.

Siebel Wilfried: Warenkunde Getreide. Inhaltstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung. 1 Auflage, Agrimedia, Clenze, 2005.

Schlegel Hans: Allgemeine Mikrobiologie, 7 Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1992.

Thirmudas Rohit, Deepak Kadam, and U.S. Annapure: Cold Plasma an Alternative Technologie for the Starch Modification. Food Biophysics 2017.

Weber Herbert: Mikrobiologie der Lebensmittel, 9 Auflage, Behrs Verlag, Hamburg, 2010.

Weiß Claudia: Mykotoxin, Teil 1, Ernährungsumschau, Marktplatz 13, Deutschland-65183 Wiesbaden, www.ernaehrungs-Umschau.de, 2005.

Plasmatreat GmbH: Plasma Technologie, Was ist Plasma, Steinhagen- Deutschland.

12 Anhängen

Tabelle 7: Errechnete KBE/ml für die unbehandelte Gerste der ersten Versuchsreihe

	Verdünnungsfaktor	P1-0	P2-0	P3-0	KBE/ml	GKZ/ml
CASO	10	1	2	3	20	35(±2)
	100	0	0	0		
	1000	0	0	0		
PDA	10	10	2	3	50	
	100	0	0	0		
	1000	0	0	0		
YGC	10	0	0	0	0	
	100	0	0	0		
	1000	0	0	0		

Tabelle 8: Errechnete KBE/ml für die behandelte Gerste der ersten Versuchsreihe

	Verdünnungsfaktor	P1- TS	P2-TS	P3-TS	KBE/ml	GKZ/ml
CASO	10	0	0	0	0	1000(±0,2)
	100	0	0	0		
	1000	0	0	0		
PDA	10	0	0	0	1000	
	100	0	0	0		
	1000	0	0	1		
YGC	10	0	0	0	0	
	100	0	0	0		
	1000	0	0	0		

Tabelle 9: Errechnete KbE/ml für die behandelte Gerste durch T-Spot-Plasma der zweiten Versuchsreihe

	Verdünnungsfaktor	P1	P2	P3	KbE/ml	GKZ/ml
CASO	10	0	0	1	3694	1786(±72)
	100	0	0	61		
	1000	0	0	348		
PDA	10	1	1	0	788	
	100	0	0	2		
	1000	0	12	151		
YGC	10	0	0	0	0	
	100	0	0	0		
	1000	0	0	0		

Tabelle10: Errechnete KbE/ml für die behandelte Gerste durch T-Jet-Plasma der zweiten Versuchsreihe

	Verdünnungsfaktor	P1	P2	P3	KbE/ml	GKZ/ml
CASO	10	71	47	8	447	533(±28)
	100	13	4	1		
	1000	0	4	0		
PDA	10	125	46	8	620	
	100	12	5	2		
	1000	2	6	0		
YGC	10	0	0	0	0	
	100	0	0	0		
	1000	0	0	0		

Tabelle 11: Errechnete Biomassewachstumsanteil vor- und Nachbehandlung an Gerste (nach 24h und 48h) die dritte Versuchsreihe

Probe	Optische Dichte		mg Biomasse/ml		mg Biomasse /ml	
	24h	48h	24h	48h	Mittelwert 24h	Mittelwert 48h
K	0,008	0,012	0,004	0,005	0,004(±0)	0,005(±0)
K	0,008	0,012	0,004	0,005		
K	0,008	0,012	0,004	0,005		
P1-0	0,383	0,689	0,172	0,309	0,197(±0,1)	0,158(±0,14)
P2-0	0,412	0,271	0,185	0,121		
P3-0	0,521	0,097	0,233	0,043		
P1-SP	0,103	0,545	0,046	0,244	0,038(±0,1)	0,164(±0,1)
P2-SP	0,075	0,157	0,034	0,070		
P3-SP	0,074	0,393	0,033	0,176		
P1-PP	0,365	0,478	0,164	0,214	0,185(±0,05)	0,154(±0,1)
P2-PP	0,533	0,092	0,239	0,041		
P3-PP	0,341	0,459	0,153	0,206		
DBE-1	0,171	0,136	0,077	0,061	0,059(±0,02)	0,075(±0,1)
DBE-2	0,095	0,292	0,043	0,131		
DBE-3	0,13	0,071	0,058	0,032		

Tabelle12: Errechnete Biomasseanteil und KbE/ml von einigen Proben der dritten Versuchsreihe

	OD.nm/48 h	mg Biomasse/ml	PDA			
			10	100	1000	KBE/m 1
K	0,012	0,005	0	0	0	0
P1-0	0,689	0,309	3	0	0	30
P2-SP	0,157	0,070	0	0	0	0
P2-PP	0,092	0,041	45	8	0	482
DBE3	0,071	0,032	0	3	0	300

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere Ich, dass Ich die vorliegende Arbeit Selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegeben Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum

Unterschrift