



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften  
Studiengang Lebensmitteltechnologie  
SS 2019

# **Untersuchung zur Infrarottrocknung von Getreiden**

Bachelorarbeit

in Zusammenarbeit mit der

**Zentrums für Ernährung und Lebensmitteltechnologie gGmbH**

Betreuer :

Erstbetreuer : Prof. Dr.-Ing. Harald Schöne

Zweitbetreuer : Dipl. -Ing. Sebastian Glaß

Erstellt von:

Stephan Taraba

Datum: 08.07.2019

Urn:nbn:de:gbv:519-thesis.2018-0849-0

## Abstract

This work examines drying of grain using IR radiation on a laboratory scale. The experiment comprises the planning, construction, troubleshooting and optimization of the test facility. Moistened black oat was chosen as main target of investigation. The drying tests are categorized into 50,70 and 100% emitter performance respectively. Neither the amount of oat used, nor the the distance of the emitter to the oat has been changed. Apart from this, it has been researched, whether reflective materials (such as aluminum foil) have an impact on the measured results. Moreover, IR dryings antimicrobial effect, especially on germination, has been investigated

## Inhaltverzeichnis

### Abstract

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	3
1. Einleitung.....	4
2. Stand von Wissenschaft und Technik.....	6
2.1. Infrarot Technik.....	6
2.2. Schwarzafer .....	8
2.3. Trocknungstechnik in der Landwirtschaft.....	9
3. Versuchsplanung .....	11
3.1. Vorversuche.....	11
3.2. Hauptversuche .....	11
4. Vorversuche.....	12
4.1. Konstruktion.....	12
4.2. Emitterabstände und Strahlungsleistung .....	14
5. Ergebnisse Vorversuche .....	16
6. Verwendete Materialien und Hauptversuche .....	19
6.1. Rohstoff.....	19
6.2. Laborgerätschaften und Materialien.....	19
7. Hauptversuche Methoden .....	20
7.1. Ermitteln der zum Anfeuchtern benötigten Wassermenge.....	20
7.2. Ermittlungen der Strömungsgeschwindigkeiten.....	21
7.3. Verspiegelter-, unverspiegelter Innenraum .....	22
7.4. Trocknung Versuche .....	23
7.5. Mikrobiologische Untersuchung .....	24
7.6. Keimtest .....	25
8. Ergebnisse.....	27
8.1 Wassermenge.....	27
8.2 Messung der Luftgeschwindigkeit .....	28
8.3. Vergleich nicht verspiegelter mit Verspiegelterm Innenraum.....	29
8.4. Trocknung des Hafers .....	29
8.5. Mikrobiologische Untersuchung .....	31
8.6. Ergebnisse Keimtest.....	32
9. Abschlussdiskussion/Problemdarstellung.....	34
10. Nächste Schritte, Umsetzung der Ergebnisse.....	36

11. Zusammenfassung .....	38
12. Literaturverzeichnis.....	39
13. Abbildungsquellen.....	40
14. Tabellenverzeichnis.....	41
15. Anlagen .....	42

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

### Abkürzungen

nm	Nanometer
IR	Infrarot
TM	Trockenmasse
B	Breite
H	Höhe
T	Tiefe

## 1. Einleitung

Seit mehreren Jahrtausenden nutzt der Mensch unterschiedliche Formen der Haltbarmachung von Lebensmitteln. Sehr früh wurde erkannt, dass wenn Obst, Fleisch und Feldfrüchte wie unterschiedlichen Getreiden der Sonnenstrahlung ausgesetzt werden, die Haltbarkeit dieser stark erhöht wird. Das Trocknen oder Dörren von Lebensmitteln hielt sich in den Industrieländern bis zur Mitte des vergangenen Jahrhunderts. In sonnenreichen Regionen und nicht industriell weniger entwickelten Regionen der Erde, wird diese Technik immer noch angewendet.

Es kann durch die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zu Verschiebungen von Ernteperioden kommen, wodurch nicht immer bei optimalen Bedingungen geerntet werden kann. Durch die nicht vorhersehbaren Umweltbedingungen kann es zum Beispiel zu längeren Regenperioden kommen. Dies führt dazu dass das erntereife trockene Getreide wieder angefeuchtet wird. Die Feuchtigkeit im Getreide verringert die Lagerstabilität und begünstigt das Wachstum von Schimmelpilzen und Mykotoxinen. Des Weiteren können aufgrund von hoher Feuchtigkeit, Brände in den Getreidelagern ausbrechen, welche große wirtschaftliche Schäden nach sich ziehen. Um dies zu verhindern wird das noch feuchte, geerntete Getreide auf 13,5 % bis 14,5 % Gutsfeuchte getrocknet, um es lagerstabil zu halten. Die dafür herkömmlich eingesetzten technischen Geräte bedienen sich des Prinzips der Umlauf-, Durchlauf- und Schubwendetrocknung. Aufgrund ihrer Bauweise und Funktionsweise bedarf diese Trocknungsmethode eines hohen Energieeintrags und ist technisch aufwendig. (riela, Warenkunde Getreide, 2017)

Nach aktuellem Stand der Technologie werden dazu leistungsstarke Brenner eingesetzt die Umgebungsluft ansaugen, die wiederum durch eine Gasflamme erhitzt werden und die heiße Luft über und durch das zu trocknende Getreide führt. Durch die Wärme wird das in dem Getreide vorhandene interzelluläre Wasser in Dampf umgewandelt. Das austretende Wasser wird durch den vorhandenen Luftstrom abtransportiert. Dieses Verfahren ist wegen des hohen Zeit und Energieaufwandes sehr teuer und daher unwirtschaftlich.

Ziel dieser Arbeit ist es einen Infrarottrockner im Labormaßstab zu entwickeln und zu bauen. Im darauffolgenden Schritt soll unter der Verwendung des Prototypen Getreide getrocknet werden, um ermitteln in welchen Umfang sich der Einsatz der Infrarottechnik zum Trocknen von Getreide eignet. Zu diesem Zweck wird industriell vorgetrockneter Schwarzerhafer angefeuchtet und unter Verwendung des Infrarottrockners auf lagerstabile Restfeuchte von unter 15 % getrocknet. Um das bestmögliche Ergebnis zu erhalten werden die Parameter Strahlungsintensität des Infrarottrockners und die zur Trocknung benötigte Zeit gemessen. Zur Ermittlung der Trocknungseigenschaften des Infrarottrocknerprototypen, werden der Einfluss der Strahlungsintensität in Be-

zug auf die Trocknungsgeschwindigkeit als weiterer Punkt untersucht. Eine weitere Fragestellung lautet, lässt sich die Trocknungszeit und die Strahlenmenge durch das Auskleiden des Trockenraumes mit reflektierendem Material verbessert. Ferner wird untersucht ob die Infrarotstrahlung Auswirkungen auf die Keimbelastung und die Keimfähigkeit hat. Die ermittelten Daten werden für die Grundlagenforschung und deren Einsatzmöglichkeiten für die Hochschule Neubrandenburg und den Zentrum für Ernährung und Lebensmitteltechnologie gGmbH zur Verfügung gestellt.

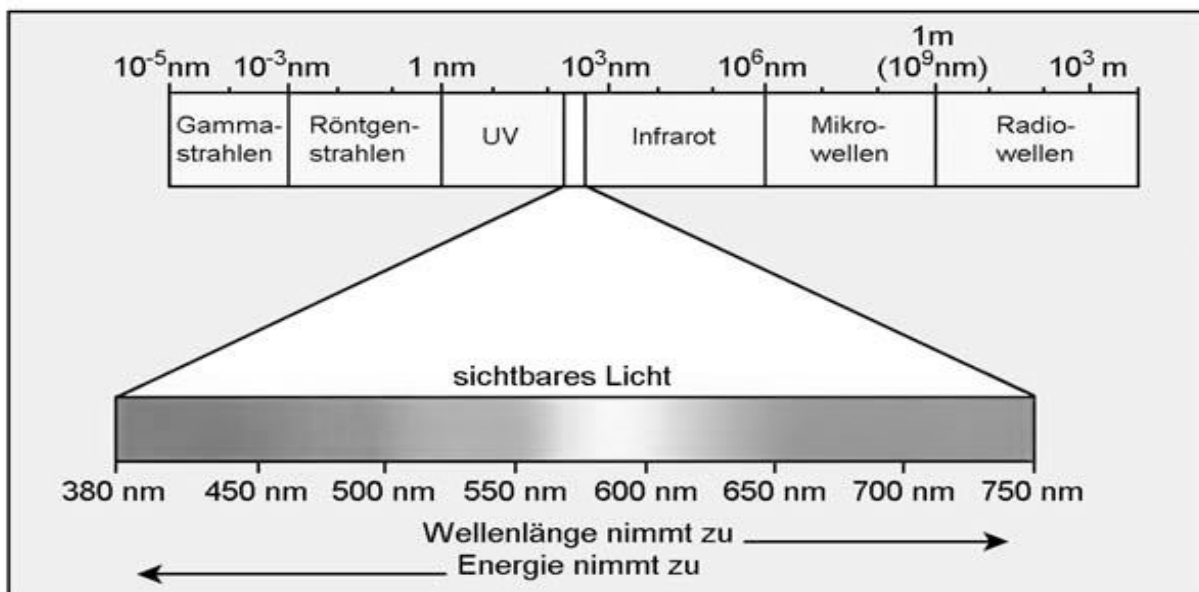
## 2. Stand von Wissenschaft und Technik

### 2.1. Infrarot Technik

Der Begriff Infrarot beschreibt das elektromagnetische Spektrum in welchem sich die Wellenlängen bewegen. Das Spektrum der Infrarotquellen befindet sich außerhalb, vom menschlichen Auge wahrnehmbaren Bereiches. Das Auge kann das elektromagnetische Spektrum von Licht nur in einem Wellenbereich zwischen 380 nm und 780 nm erfassen. Der elektromagnetische Strahlungsbereich der als Infrarotstrahlung bezeichnet wird, befindet sich im Bereich zwischen von 780 nm bis zu 1 mm.

(<https://www.fs->

[ev.org/fileadmin/user\\_upload/04\\_Arbeitsgruppen/08\\_Nichtionisierende\\_Strahlung/02\\_Dokumente/Leitfaeden/Leitfaden-SB-IR-AKNIR-15122011\\_b.pdf](https://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/08_Nichtionisierende_Strahlung/02_Dokumente/Leitfaeden/Leitfaden-SB-IR-AKNIR-15122011_b.pdf))



Bildquelle: [https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese\\_neu/dateien/licht/licht.html](https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese_neu/dateien/licht/licht.html)

Abbildung 1: Spektrum elektromagnetischer Wellen

Bei der Verwendung der IR-Strahlen in technischen Anlagen werden sie in drei Abschnitte unterteilt. Zu einen Fernes Infrarot (far Infrared- FIR 50  $\mu\text{m}$ -1 mm), Mittleres Infrarot (mid Infrared- MID-ca. 2,5- 50  $\mu\text{m}$ ) und Nahes Infrarot (near Infrared-NIR- 780 -2,5  $\mu\text{m}$ ). Die angegebenen Grenzen zwischen den Bereichen einzelnen Unterteilungen sind nicht eindeutig festgelegt. Jeder einzelne Bereich hat unterschiedliche Anwendung und Einsatzmöglichkeiten. (Leibniz-Institut)

Bei der Anwendung von IR-Strahlung zum Trocknen wird das zu trocknende Erzeugnis ähnlich der Mikrowellenstrahlung von Innen erwärmt. Die Wirksamkeit der IR-Strahlen nimmt je nach Wellenlänge und Abstand zum Produkt ab. Der Bereich, in dem die IR-Strahlen eingesetzt werden, liegt im Bereich zwischen 3 cm bis 22 cm unterhalb der Strahlungsquelle. Die Schichtdicke des Gutes hat ebenfalls einen Einfluss auf die Wirksamkeit der IR-Strahlen, daher sollte die Schichtdicke zwischen 10- 15 mm liegen. ( Maier ,1990)

Bei der IR-Trocknung sollte darauf geachtet werden, das freiwerdende interzelluläre Wasser durch einen kontinuierlichen Luftstrom umströmt wird. Das freigewordene Wasser wirkt wie eine Schutzschicht über dem Produkt und kann so zu einer Störung der Trocknung beitragen. Dies kann zu einem erhöhten Energieaufwand oder einer verschlechterten Trocknung führen. (Ginsburg, 1973; Grdzelišvili, 2012)

Die IR-Strahlen werden heute in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt. Zum Beispiel in der Raumfahrt zum Erforschen von Planeten und Galaxien. Im Bauwesen in Form von Wärmebildkameras zur Erkennung von Schwachstellen in der Wärmedämmung. Ebenso in der Lebensmittel Technik. Die IR-Strahlen werden ebenso zum Härten, Trocknen, Vorwärmen und Anbräunen von Produkten genutzt. Die erwähnten Anwendungen wurde bereits 1973 im Buch „Infra-rottechnik und Lebensmittelproduktion“ als zukünftige Anwendungsmöglichkeiten beschrieben. Ebenso wurden bereits Anwendungsmöglichkeiten zum Trocknen von frischgeerntetem Getreide, das Nachtrocknen von Getreiden bei der Lagerung und die Konditionierung von angefeuchtetem Getreide beim Vermahlen thematisiert. IR-Strahlen können zur Schädlingsbekämpfung im geernteten Getreide genutzt werden. In allen erwähnten Bereichen wurden im Labormaßstab gute Ergebnisse erzielt. (Ginsburg, 1973).

Sofern ein Stoff oder Produkt durch IR-Strahlen getrocknet wird, sollten drei Einflussgrößen beobachtet werden.

Zum einen das Absorptionsvermögen (A), dieser Wert gibt an inwieweit die einfallende Strahlung absorbiert wird, bei einer beliebigen Temperatur. Beim Wert  $A=1$  wird von einem absoluten schwarzen Körper ausgegangen der die gesamte eingebrachte Strahlung aufnimmt. Sofern dies geschieht, wird von einem „absoluten schwarzen Körper“ gesprochen.

Ein weiterer wichtiger Wert bezeichnet das Reflexionsvermögen (R). Dieser Wert gibt an inwieweit der Stoff die Strahlung ähnlich wie ein Spiegel reflektiert. Wird von einem Wert  $R=1$  ausgegangen, so werden 100% der ausgesendeten Strahlen wieder zurückgeworfen.

Die dritte zu beachtende Größe, bezieht sich auf das Durchlassvermögen (D). Nimmt das Durchlassvermögen den Wert  $D=1$  an, so kann davon ausgegangen werden, dass der Stoff sämtliche Strahlungen entweder absorbiert oder reflektiert oder für die Strahlung einfach durchlässig ist.

Sofern dieser Wert erreicht ist ( $D=1$ ), wird von absoluter Durchlässigkeit oder von einem diatherme Körper gesprochen. Es ist kein Stoff bekannt der alle drei Einflussgrößen für sich vereint, oder: in dem alle Einflussgrößen gleichmäßig vorliegen. Die beschriebenen Attribute verändern sich jeweils in Bezug untereinander und bilden den Gesamtwert 1. (Ginsburg, 1973).

$$A + R + D = 1$$

## 2.2. Schwarzhafers

Hafer (*Avena sativa*) ist ein recht anspruchsloses Getreide, das lediglich eine feuchte Umgebung benötigt und daher in den meisten Regionen der Erde gedeiht.

Es gehört in seiner Einteilung zu den sekundären Kultur und Nutzpflanzen. Das bedeutet, dass der Hafer als Wildart in kultivierte Weizen- und Gerstenfelder immigriert ist. Da sie zusammen angebaut und gepflegt wurden, verlor die Urform (der Taubhafer) über Generationen seine Wildpflanzeigenschaften. Unterteilt werden die unterschiedlichen Hafersorten anhand ihrer Chromosomenausstattung. Sie werden in diploiden, tetraploiden und hexaploiden Hafer eingeteilt. Dabei ist nur der hexaploide Saathafer von wirtschaftlicher Relevanz. Seine Hauptanbaugebiete befinden sich in Nordeuropa und in den USA. In Deutschland wird fast ausschließlich Sommerhafer angebaut. Die Farbe der Spelzen unterteilt den Hafer in Weiß-, Gelb-, Schwarz- und Braunhafer. Die Bezeichnungen sind insoweit wichtig, dass je nach Sorte Haferkörner einen Spelzenanteil von 20 % bis 45 % besitzen. Hafer ist als Nahrungsmittel daher so interessant, da es reich an Fett-, Proteinen-, Vitamin B<sub>1</sub>-, Calcium- und einen hohen Anteil an Eisen aufweist. Ernährungsphysiologisch ist besonders der hohe  $\beta$ -Glucangehalt zu erwähnen. Sein Wert ist schwankend und kann zwischen 2,3 % und 8,5 % TM im Hafer liegen. Hafer besitzt den höchsten Lysingehalt aller Getreidepflanzen. Dadurch besitzt das Haferprotein die höchste biologische Wertigkeit innerhalb der Getreideproteine. Ein weiterer Aspekt, der die ernährungsphysiologische Wertigkeit des Hafers erhöht, ist der hohe Fettanteil der bei 5 bis 7% liegt. Anders als bei anderen Getreiden wird das Fett nicht im Keimling sondern im gesamten Korn gespeichert. (Warenkunde Getreide, 2017)

Dies macht es schwierig Haferprodukte sofern sie nicht erhitzt werden, für einen längeren Zeitraum haltbar zu machen.

In der Rohform wird der Großteil der Haferernte zu Tierfutter verarbeitet. Damit Hafer für die menschliche Ernährung verwendet werden kann, müssen die Spelzen entfernt und das Korn bearbeitet werden. Dies geschieht in Schälmaschinen. Die so gewonnenen Haferprodukte können in

Form von Haferflocken, Hafergrützen und Hafermehlen zu sich genommen werden. (Warenkunde Getreide, 2017)

### 2.3. Trocknungstechnik in der Landwirtschaft

Das Trocknen von Getreide ist in landwirtschaftlichen Bereichen, in denen es in den Erntezeiträumen zu Niederschlägen kommt, unumgänglich um die Kornqualität und die Lagerstabilität des Getreides zu bewahren. Dies kann nur durch den klugen Einsatz von Trocknertechnik erreicht werden. Dem stetig steigenden Preis für Energien in Form von Gas, Öl und elektromagnetischen Strom macht die Wertschöpfung bei Getreide schwierig. Gegenwertig werden im europäischen Raum hauptsächlich Warmlufterzeuger zur Trocknung eingesetzt. (<https://www.landtechnik-online.eu/landtechnik/article/view/2011-66-4-276-281>)

Bei der Verwendung und Anwendung der Warm-(Heiß-)lufttrocknung werden mehrere Merkmale betrachtet. Der erste und wichtigste Punkt, der für das Einsetzen eines Trockners spricht ist das Austreiben von überflüssiger Feuchtigkeit aus dem Getreide. Zu viel Feuchtigkeit könnte zur Vernichtung ganzer Ernten in Form von Schimmelbildung oder zur Selbstentzündung in Getreidelagerstätten führen. Daher muss der Bauer oder Getreidehändler entscheiden was er erreichen möchte mit einem zu geringeren Kostenaufwand wie möglich

Möchte er nur eine leichte Nachtrocknung oder eine komplette Trocknung. Hierbei ist es wichtig die Feuchte gezielt und schnell bis zur gewünschten Lagerstabilität aus dem Getreide zu entfernen. Sowie bei der Produktion von Saatgut und beim sofortigen Verkauf des Getreides. Weitere wichtige Punkte sind die Energiekosten der hohe Investitionsbedarf und der bauliche und organisatorische Aufwand der Anlagen.

Die Trocknerbauarten unterscheiden sich anhand der Strömungsrichtung der erwärmten Luft sowie des Korns. Je nach Bauweise kommt es daher zu Unterschieden in der Trocknungsdauer und Trocknungstemperaturen. Bei großen Getreidelagern und Verarbeitungsanlagen kommen vorrangig Schachttrockner zum Einsatz. Hierbei muss wiederum zwischen Umlauf-, Durchlauf- und Satztrockner unterschieden werden. Jeder dieser Schachttrockner verfügt über Einbauten die aus Drahtgewebe, perforierten Blechen, Winkeln und Jalousieeinbauten bestehen. Diese Einbauten sind zur Vergrößerung der Trocknungsoberflächen aber auch zur Führung und Verteilung der thermischen Trocknungsluft installiert. (Warenkunde Getreide, 2017)

Beim Umlauftrocknungsverfahren durchläuft das Getreide die Anlage mehrmals unter Verwendung von Schnecken und Elevatoren. Umlauftrockner sind durch ihre niedrige Trocknungstemperaturen Produktschonender, was einen geringeren Energieaufwand nach sich zieht. Die Nach-

teile liegen hierbei bei der erhöhten Zeit zur Trocknung und dem Mehrbedarf an Platz, beim Aufstellen der Anlagen und die Kosten für die zusätzlichen Fördererelemente. Diese Gründe führen zu hohen Investitionskosten und somit zu geringeren Einnahmen für die Bauern und Getreidehändler. (Warenkunde Getreide, 2017)

Die Trocknung von Getreide in landwirtschaftlichen Betrieben, mittels der Infrarottechnik hat nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Technik, noch keinen Einzug in diese Branche erhalten. Somit bietet das Feld der Infrarottechnik noch einen großen Umfang an Forschungs- und Entwicklungsmöglichkeiten für eine schonende und kostensenkende Trocknungsweise in der Landwirtschaft und anderen Bereichen, wie zum Beispiel der Lebensmitteltechnologie.

### 3. Versuchsplanung

#### 3.1. Vorversuche

Damit die angestrebten Untersuchungen durchgeführt werden können, muss zunächst ein entsprechender Infrarot-Versuchsstand entworfen und gebaut werden.

Nach dem Bau des Versuchsstandes und der Überprüfung auf seine Funktionstüchtigkeit sollte der optimale Abstand zwischen Gut und Infrarotemittern ermittelt werden, um die in der, unter Punkt 3.2 (Hauptversuche) dargestellter Tabelle, beschriebenen Untersuchungen vornehmen zu können.

#### 3.2. Hauptversuche

Tabelle 1: Tabellarischer Aufbau der Hauptversuche

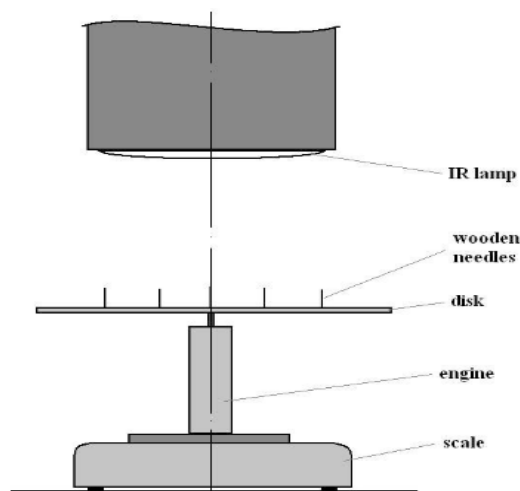
Block	Schritt Nr.:	durchzuführende Arbeit	geplante Zeit
1	1	Anfeuchten = Einstellen des Getreides auf eine Restfeuchte von 22%	1 d
	2	Luftgeschwindigkeit = bei welcher Einstellung des Reglers	2 h
	3	Unterschied verspiegelt nicht verspiegelt = 50 % - 100 % Strahlungsintensität Luftgeschwindigkeit	1 d
	4	Wie lange dauert die Trocknung bei Kornrestfeuchte unter 16% Restfeuchte	3 d
	5	Mikrobiologie = vor dem Trocknen und nach dem Trocknen mit dem Emitter mit der besten Einstellung des Emitters	mindestens 3 d
	6	Keimversuch = mit der besten Einstellung des Emitters	mindestens 5 d

## 4. Vorversuche

### 4.1. Konstruktion

Versuche Getreide zu trocknen unter Verwendung von IR-Strahlung wurde bereits vor 1973 von beiden Firmen Siemens-Schuckert und Gunter–Teimen untersucht. Teilergebnisse werden im „Buch: Infrarottechnik von A.S.Ginsberg aus dem Jahre 1973“ beschrieben. Seitdem hat sich die IR-Technik weiterentwickelt und verbreitet. Ihr Verbreitungsfeld erstreckt sich über die Autoindustrie zum Trocknen von Lacken auf Wasserbasis. In der Weltraumforschung bei astronomische Infrarotsatelliten zur Erkennung von Wärmequellen und in der Lebensmittelindustrie zum Bräunen und Garen.

Es gibt mehrere arbeiten neueren Datums, bei denen die IR-Strahlung zum Trocknen von Obst und Gemüse im Vergleich mit Konvektionstrockner untersucht werden. In den Arbeiten wurden freihängende, nicht abgeschirmte und somit undefinierte Versuchsstände genutzt. Anhand dieser Bauweise können die Parameter der IR-Trocknung leicht verändert werden und so könnten unter Umständen Unterschiede und Fehler in den Ergebnissen entstehen.



Quelle : <http://chps.fsid.cvut.cz/pt/2011/pdf/1100012-1.pdf>

Abbildung 2: schematischer Versuchsstand für Infrarottrocknung



Abbildung 3: Model eines IR-Versuchsstandes

Mit zur Aufgabenstellung der Arbeit gehört die Konstruktion und der Bau eines soweit wie möglich geschlossenen IR-Versuchsstandes, im Labormaßstab.

Um einen definierten Versuchstand und Innenraum zu erhalten, der vor von außen eingebrachten störenden Einfluss abgegrenzt sein soll, wurde ein Ofengehäuse von Braun mit den Innenmaßen von  $B = 46,5 \text{ cm}$ ,  $H = 35 \text{ cm}$  und  $T = 38,5 \text{ cm}$  verwendet. In der Rückwand des Ofengehäuses wurde ein Lüfter mit 120 mm Durchmesser der Firma Noctua NF-P12 redux-1700 PWM angebracht. Als Steuereinheit für die IR-Emitter wurde ein HLE 16 elektronischer Leistungssteller der Firma Horst verwendet.



Abbildung 4 : Braun Herd Außenansicht

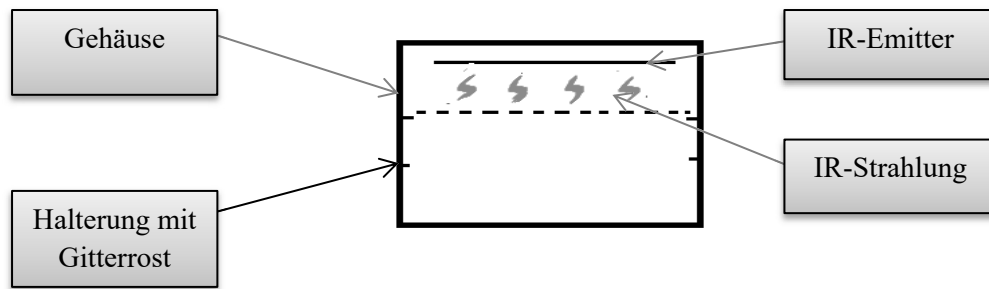


Abbildung 5: Skizze 1. Konstruktionsversuch

#### 4.2. Emitterabstände und Strahlungsleistung

Da Infrarotstrahlung je weiter sie von der Strahlungsquelle entfernt liegt staut und dadurch die Intensität abnimmt, wurden Untersuchungen mit dem ELAB Messsystem unternommen, um zu ermitteln wie stark sie sich in der Abhängigkeit von der Entfernung und der Leistung der IR-Emitter verhalten.

Dazu wurden vier Temperaturmesssensoren an das ELAB Messsystem angeschlossen und wie in Abbildung: 6 gezeigt, in dem vorläufigen Prototypen angebracht. Die Sensoren wurden exakt in 5 cm Abständen zueinander unter den Emittlern angeordnet. Der für die Messung relevanteste Parameter ist die Temperatur in °C.



Abbildung 6: Anordnung der Wärmesensoren im Untersuchungsraum

Nach dem Schließen des zu untersuchenden Raumes, wurden mit einer 10 % Intensität der IR-Emitter begonnen. Die angebrachten Sensoren nahmen in regelmäßigen Abständen die Werte auf, bis es zu keiner Steigerung der Temperatur mehr kam. Dieser Vorgang wurde in einer Steigerung von 10 % der Emitter Leistung bis zu 100 % des Möglichen durchgeführt.

## 5. Ergebnisse Vorversuche

Bei dem Bau des IR-Versuchstandes wurden mehrere Konstruktionsfehler festgestellt. Durch das Fehlen einer Entlüftung der angewärmten Luft im Innenraum der Prototypen, entstand ein Hitzestau, der die Isolation der Kabel in den IR-Emitter zum Schmelzen gebracht hat. Die dadurch freiliegenden stromführenden Drähte kamen mit dem Gehäuse in Kontakt, das wiederum Kurzschlüsse zur Folge hatte. Die unzureichende Be- und Entlüftung hat neben dem Kurzschlussproblem eine weitere Schwachstelle der Konstruktion aufgezeigt. Sofern die erwärmte Luft nicht abgeleitet werden kann heizt sich der Innenraum des Versuchstandes so stark auf das keine repräsentativen Ergebnisse erzielt werden können. Da nicht untersucht werden soll wie stark der Innenraum des Versuchstandes aufgeheizt werden kann um, eine Konvektionstrocknung durchzuführen.

### 5.1. Bauliche Veränderungen und Modifikationen des Versuchstandes

Zur Optimierung des Versuchstandes wurde sich dazu entschlossen ein halboffenes System zu verwenden. Dazu wurde die Deckenplatte des Innenraumes entfernt und die Emitter mit Abstandhaltern am Außengehäuse angebracht, um den Hitzestau zu verringern. Um zu ermitteln, wo und in welchem Umfang es zu weiteren Wärmestauungen im Versuchstand kommt, wurde eine Wärmebildkamera von der Firma Bosch eingesetzt.



Abbildung 7: Wärmebildaufnahme

Die Aufnahmen zeigten dass sich die Wärme am oberen rechten Abschnitt der Anlage staute. Nach der Auswertung der Bilder wurden weite Veränderungen vorgenommen. So wurde das rechte Außengehäuse geöffnet, um eine bessere Luftzirkulation zu erreichen.

Zusätzlich wurden zwei weitere Lüfter der Firma ELUTENG 120 mm USB Lüfter oberhalb der Emitter installiert. Sie dienen dazu, die bei den Trocknungsversuchen anfallender mit Wasser angereicherter Luft, schnellstmöglich nach oben abzutransportieren.

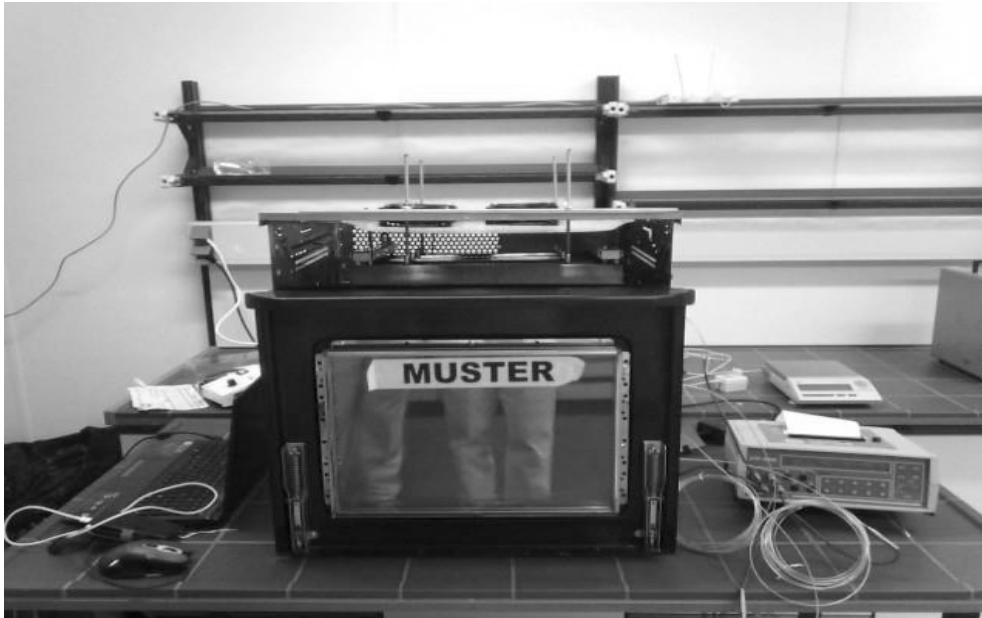


Abbildung 8: Endversion des IR-Versuchstandes mit Wärmesensoren

Des Weiteren wurden zusätzlich Wärmesensoren in verschiedenen Höhen unterhalb der IR-Emitter angebracht und mit einem ELAB Messsystem verbunden. Sie sollen die optimale Entfernung und die Hitzeentwicklung unterhalb der IR-Emitter messen und aufzeichnen.

Anhand der Modifikationen stellte sich die Frage inwieweit ein mit reflektierenden Materialien ausgekleideter Innenraum die Wirkungsweise der IR-Emitter verändert.

## 5.2. Strahlungsleistungen

Die Aussage, dass die Wärmeintensität der IR-Strahlung je weiter sie sich von der Strahlenquelle entfernt abnimmt, kann anhand der Tabelle 2 dargestellt werden.

Anhand der Tabelle wird deutlich, dass bei einem Abstand von 5 cm unterhalb der IR-Emitter die jeweils höchsten Temperaturen bei allen untersuchten Emitterintensitäten festgestellt werden konnten.

Die Abweichungen zwischen den 10 und 15 cm Abständen müssen auf ein Vertauschen der Sensorsteckplätze zurückzuführen sein. Aus physikalischer Sicht sind die Messergebnisse, dass die

Temperatur bei 10 cm Abstand abnimmt und bei 15 cm Abstand wieder steigt nicht erklärbar. Dies ist auch sehr gut in Abbildung 1 zu erkennen.

Tabelle 2: Temperaturwerte in Korrelation der Abstände und Intensität

Intensität in %	Temperatur bei 5 cm in °C	Temperatur bei 10 cm in °C	Temperatur bei 15 cm in °C	Temperatur bei 20 cm in °C
10	22,29	22,04	22,04	21,84
20	24,98	24,33	24,37	23,72
30	28,89	27,69	27,76	26,65
40	33,45	31,37	31,72	30,14
50	33,70	31,08	32,02	30,57
60	41,20	37,13	38,55	36,83
70	45,43	40,38	42,02	39,99
80	53,38	46,28	48,88	46,38
90	62,55	57,00	59,05	54,78
100	62,55	57,00	59,05	54,78

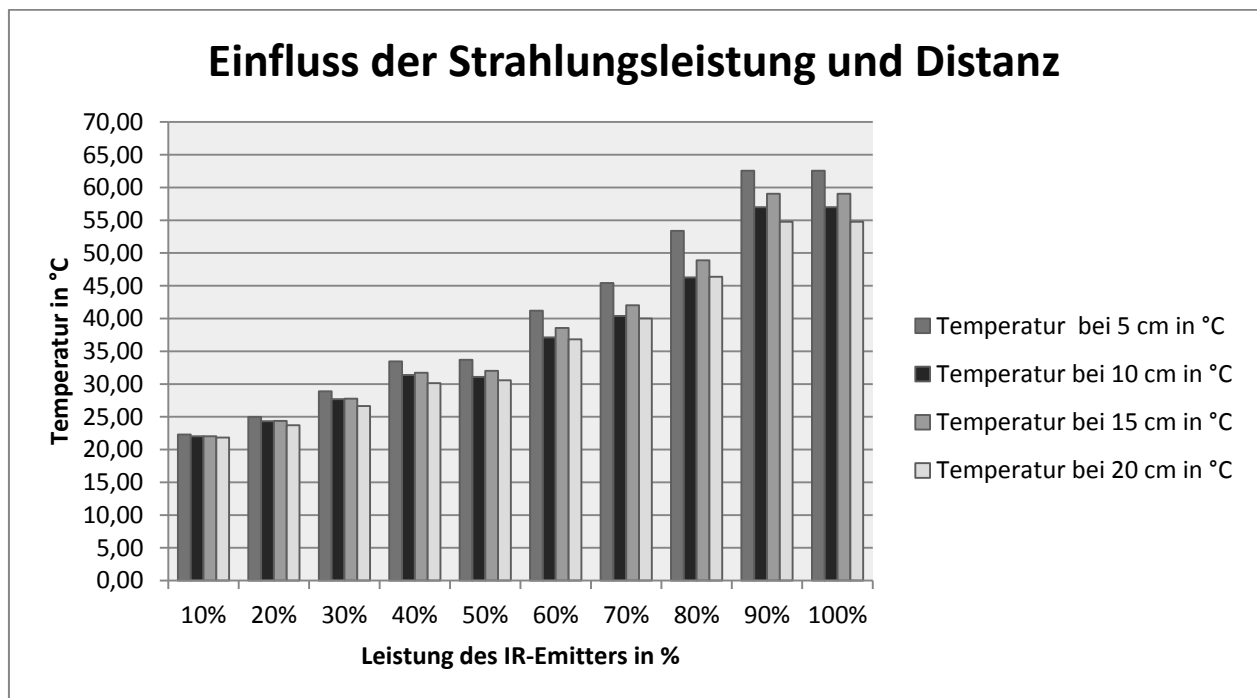


Abbildung 9: Diagramm Strahlungsleistung und Distanz in Kooperation von Hopp und Taraba

## 6. Verwendete Materialien und Hauptversuche

### 6.1. Rohstoff

Für die Untersuchungen wurde Schwarzerhafer in Bioqualität mit einer Ausgangsfeuchte von durchschnittlich 11,25 % verwendet.



Abbildung 10: Ausgangsmaterial Schwarzerhafer

### 6.2. Laborgerätschaften und Materialien

Zur Durchführung der Hauptversuche, kamen eine Vielzahl an Materialien und Gerätschaften zum Einsatz, von denen die wichtigsten, nachfolgend aufgelistet sind.

Verwendete Geräte:

- (testo) term 452 Strömungsgeschwindigkeit Messer
- (Sartorius) Feuchtemessgerät
- (Braun) zum Zerkleinern die universal Küchenmaschine
- (Bosch) Wärmebildkamera GTC 400 C
- Thermometer
- (Certoclay Sterilizer GmbH) Autoklaven
- IR- Strahler

Verwendete Materialien :

- Kunststoffbehälter viereckig (250 ml ,500 ml)
- Braun Injekt Einmal (Spritzen 20 ml)
- Eimer verschließbar (5 l)
- demineralisiertes Wasser
- Messbecher (2 l)

Verwendete Laborutensilien: - Kartoffelextrakt- Glucose-Agar von ROTH ( Art-Nr.X931.2)

- (Vortex) Reagenzglasschüttler
- Natrium Chlorid (NaCl)
- Reagenzgläser
- Reagenzglasstopfen
- Bunsenbrenner
- Drigalski-Spatel

Kleinteile : - Löffel, Marker Zellstofftücher usw.

## 7. Hauptversuche Methoden

### 7.1. Ermitteln der zum Anfeuchten benötigten Wassermenge

Da es in der Untersuchung darum geht, den Hafer zu trocknen, muss zuerst die Ausgangsfeuchte des Hafers ermittelt werden.

Zum Anfeuchten des Hafers, wurden jeweils 50 g Hafer genau abgemessen und mit unterschiedlichen Mengen demineralisiertem Wasser versetzt. Angefangen wurde mit einem 1 zu 1 Mischungsverhältnis. Also jeweils 50 g Hafer und 50 g Wasser. Dieses Mischungsverhältnis wurde zweimal Halbiert bis nur noch 12,5 g Wasser zugegeben wurde, wobei die Hafer Menge immer gleich blieb. Die Wassermenge wurde dann in immer kleineren Abständen reduziert bis auf einer zugegebenen Wassermenge von 4 g auf 50 g Hafer. Diese Mischungen wurden in Kunststoffbehälter gegeben, verschlossen und jeweils für zehn min von Hand gemischt. Nach dem Mischen wurden die Proben bei Raumtemperatur für mindestens 12 Stunden gelagert. Aus jedem Kunststoffbehälter wurden 15 g des angefeuchteten Hafers entnommen und nacheinander mit einer Küchenmaschine zerkleinert.

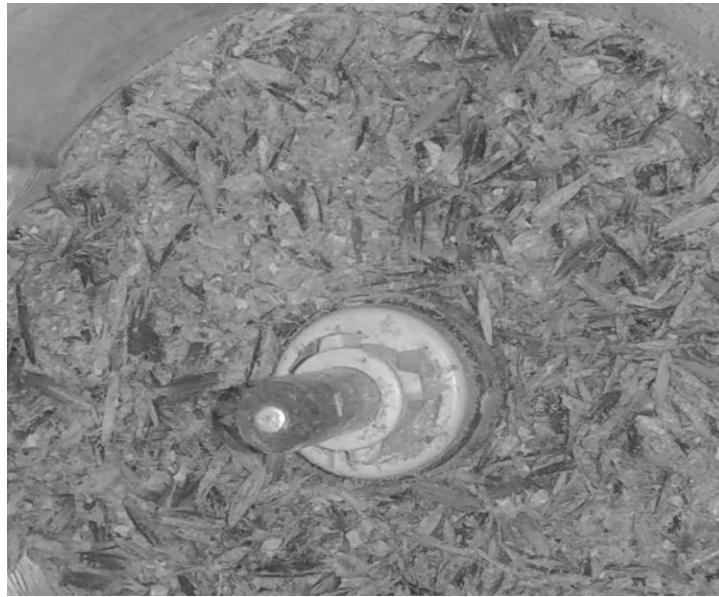


Abbildung 2: zerkleinerte Haferprobe

Die Küchenmaschine wurde befüllt und mit der Einstellung sieben für jeweils eine Minute angeschaltet. Nach dem Zerkleinern wurde der Hafer in einem Kunststoffgefäß verschlossen und gesondert aufbewahrt. Nach jedem Vermahlen wurde der Zerkleinerungsbehälter der Küchenmaschine zerlegt und gründlich gereinigt und trocken gerieben. Diese gründliche Reinigung hatte den Grund, dass es zu keiner Vermischung der Proben mit unterschiedlichen Feuchtegraden und somit zu einer Verfälschung der Ergebnisse kommt. Im Anschluss wurde jede Probe im Infrarot-Feuchtemessgerät auf ihren Feuchtegehalt geprüft. Um eine repräsentative Aussage über den vorhandenen Feuchtegrad machen zu können, wurden jeweils eine Dreifachmessung durchgeführt. Diese jeweiligen Probenergebnisse bildeten den Mittelwert der als Referenzwert für die anschließende Untersuchung benötigten Proben diente.

## 7.2. Ermittlungen der Strömungsgeschwindigkeiten

Eine kontinuierliche und konstante Frischluftzufuhr ist wichtig, da das im Hafer enthaltene Wasser durch die IR-Strahlung in Wasserdampf umgewandelt wird. Sofern keine Frischluft zugeführt und die mit Wasserdampf angereicherte Umgebungsluft im Gutsraum abgeführt wird, fungiert der Wasserdampf als eine Art Isolierschicht. Dieses Isolierschicht erschwert das direkte Bestrahlen und somit den Trocknungsprozess. Zum Ermitteln der Daten wurde testo term 452 verwendet.



Abbildung 3: testo term 452 Luftstrommesser

Um zu ermitteln welche Strömungsgeschwindigkeiten erreicht werden wurden zwei Punkte zum Messen gewählt. Zum einen direkt am Lüfter und zum anderen in der Mitte des Gutsraumes unterhalb der IR-Emitter. Beim direkten Messen direkt am Lüfter, wurde der Luftstrommesser direkt an das Lüftergehäuse gehalten und eingeschaltet. Diese Vorgehensweise soll ermitteln welche Menge Frischluft in den Gutsraum eingeblasen werden kann. Das ist insoweit wichtig, dass die durch IR-Strahlen aufgeheizt Luft kontinuierlich umgewälzt wird und nicht als Trocknungshilfe wie in der Konvektionstrocknung zum Tragen kommt.

Beim Messen der Strömungsgeschwindigkeit im Gutsraum wurde der Luftstrommesser auf das Trocknungsgitter in der für die Versuche gewählte Entfernung gelegt. Nach dem Schließen des Gutsraumes, wurden die Lüfter eingeschaltet und die entstandenen Strömungsgeschwindigkeiten konnten an der Kontrolleinheit abgelesen und gesammelt werden.

### 7.3. Verspiegelter-, unverspiegelter Innenraum

Zur Optimierung des Gutsraum im IR-Versuchsstands, wurde untersucht welche Auswirkungen das Auskleiden des Gutsraumes mit reflektierendem Material, auf die Leistungsstärke des Prototypen hat, definiert über die Temperatur.

Dazu wurden Temperaturfühler genauso wie auch unter Punkt 5.1 beschrieben im Versuchsstand angebracht und die Messungen in einem mit Alufolie ausgekleideten und einem ausgekleideten Innenraum durchgeführt. Die Untersuchungen wurden mit einer IR-Emitter Leistung von 50 % begonnen und bei 100 % der möglichen Strahlungsintensität beendet.

Die einzelnen Versuche wurden erst gestoppt, als sich eine konstante Temperatur eingestellt hat. Die Protokollierung der Temperaturen erfolgte jeweils nach einer Minute durch das ELAB-System.

#### 7.4. Trocknung Versuche

Auf die Trocknung und Untersuchungen des Hafers liegt das Hauptaugenmerk dieser Arbeit. Wie bereits im theoretischen Teil dieser Arbeit beschrieben wurde, werden gegenwertig zur industriellen Trocknung von Getreide, andere Trockenverfahren angewandt. In diesem Abschnitt wird das Trocknen durch IR-Strahlung mit dem Hauptaugenmerk auf die Trocknungszeit untersucht. Da für die Bearbeitung der Arbeit nur ein begrenzter Zeitraum zur Verfügung steht und die Ergebnisse der Vorversuche der Vorversuche im Punkt 5.1 (Strahlungsleistungen) die Entscheidung begünstigt haben, wurden die Hauptversuche, mit 50% und 70 % der IR-Emitterleistung durchzuführen.

Bevor die Untersuchungen durchgeführt werden können muss die Haferprobe auf die gewünschte Gutsfeuchte gebracht werden. Dafür werden 2 kg Haferprobe mit 260 g demineralisiertes Wasser in einem verschließbaren Gefäß gemischt. Die angegebene Mischung ist das Resultat aus den Untersuchungen die im Punkt 7.1. (Ermitteln der zum Anfeuchten benötigten Wassermenge) beschrieben und durchgeführt wurden. Im Anschluss wurde das Gefäß verschlossen und von Hand gemischt. Das Mischen von Hand war nötig damit jedes Haferkorn gleichmäßig mit dem zugegebenen Wasser befeuchtet wird und keine geeignete mechanische Mischeinrichtung zur Verfügung stand. Das Hafer-Wasser-Gemisch wird dann für zwölf Stunden verschlossen und bei Raumtemperatur (15 °C bis 20 °C) gelagert. Dieser Schritt ist wichtig damit die Haferkörner ausreichend Zeit haben das hinzugegebene Wasser gleichmäßig aufzunehmen, und so eine angefeuchtete Standardisierte Probenmenge zu erhalten. Vor der Untersuchung wird die gesamte Probenmenge (vor dem Portionieren) noch einmal durchmischt, damit eine gleichmäßige Homogene Mischung entsteht. Die Probenformen werden auf das Probengitter gestellt. Im nächsten Schritt wurde mit einem Esslöffel eine Probe befeuchteter Hafer aus dem Vorratsbehälter entnommen und in die Form mit einem Durchmesser von 7 cm eingefüllt, so dass sich eine Schichtdicke von jeweils 2 cm ergibt. Die Untersuchung wurde wie beschrieben durchgeführt, damit jede Untersuchung einem standardisierten Versuchsablauf folgt.

Nach dem Befüllen wird das Probengitter 15 cm unterhalb der IR- Emitter eingeschoben und die Kunststoffelemente entfernt. Wenn die gewünschte Zeit und Intensität erreicht wurde, die Proben entnehmen, vermahlen und die jeweilige Restfeuchte bestimmen



Abbildung 4: Probenanordnung

Tabelle 3: Versuchsdurchführung

IR-Strahlungsin- tensität	Lüfter- einstellung	Emitter- abstand in cm	Temperaturen direkt am Hafer	Restfeuchte Zwi- schenergebnisse
50	3	15	X	X
70	3	15	X	X
100	3	15	X	X

X = Durchgeführte Untersuchungen

### 7.5. Mikrobiologische Untersuchung

Der Verderb von Lebensmittel kann durch Schädlinge, Bakterien, Umweltfaktoren wie Feuchtigkeit und vielem mehr verursacht werden. Um den Verderb von Lebensmittel zu verzögern oder vor dem Befall mit Schädlingen zu bewahren, werden mitunter UV- Bestrahlung oder Verpackung unter Schutzgas eingesetzt.

Bereits in den 1940 Jahren wurden Untersuchungen, ob und in welchem Ausmaß IR-Strahlung Auswirkung auf die Desinsektion von Getreide hat. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit befasst sich mit der Frage in wie weit sich die Eingesetzte IR-Strahlung Auswirkungen auf die Mikrobiologischen Befall der auf dem Hafer hat.

Für die Untersuchung wurden von den Trocknungsversuchen je zwei Proben verwendet. Die Proben unterscheiden sich zum einem in der Intensität der IR-Emitter (50 % und 70 %) und zum Anderen, dass die Proben aus den verspiegelten und unverspiegelten Untersuchungen stammen.

Als Vergleichsprobe wurde eine unbestrahlte Blindprobe direkt aus dem gelieferten Schwarzhäfer genommen und für die Untersuchung verwendet.

Als ersten Schritt wurden Kartoffelextrakt-Glukose-Aggarplatten hergestellt. Dazu wurde Kartoffelextrakt-Glukose-Aggar der Firma Roth wie auf der Verpackung beschrieben hergestellt und in Petrischalen gegossen.

Im nächsten Schritt der Vorbereitungen steht das Vorbereiten der Verdünnungslösung. Hierzu wurde eine 0,7 % NaCl Lösung hergestellt und zu jeweils 9 ml in sterile Reagenzgläser, eine für die Versuche ausreichende Menge, vorbereitet, befüllt und autoklaviert.

Der nächste Schritt ist das Vorbereiten der jeweiligen Probe. Dazu werden die Haferkörner sehr fein vermahlen. Von jeder vermahlenen Probe werden 10 g in einem entsprechend großen Vorlagebehälter auf 100 ml der 0,7 prozentigen NaCl Lösung aufgefüllt. Nach dem durchmischen der Probe wird aus der Vorlage Behälter 1 ml entnommen und in einen Reagenzglas mit 9 ml NaCl Lösung gegeben. Die so entstandenen 1 zu 10 Verdünnungen wird erneut gemischt unter der Verwendung von einem Reagenzglasschüttler. Dieser Vorgang wird noch drei weitere Male wiederholt bis eine Verdünnung von 1 zu 10000 entstanden ist.

Aus jeder dieser Verdünnungen werden 0,5 ml Probe entnommen und auf beschriftete Agarplatten aufgetragen und mit einem Drigalskispatel gleichmäßig verstrichen. Es ist hierbei darauf zu achten, dass keine Fremdkeime auf den Aggarboden gelangen. Dieser Versuch sollte daher unter einem Abzug erfolgen.

Nach dem Animpfen und dem Verschließen werden die Platten bei 30 °C für zehn Tage bebrütet. Nach der Inkubationszeit können die jeweiligen Platten untersucht und ausgewertet werden.

## 7.6. Keimtest

Um zu ermitteln, in wie weit die IR-Strahlung einen Einfluss auf die Keimfähigkeit der getrockneten Haferproben hat wurden jeweils Proben von bestrahltem Schwarzhäfer genommen und zum Keimen gebracht. Hierfür wurden jeweils drei Proben vom verspiegelten und nicht verspiegelten Innenraum bei 50 %, 70 % und 100 % IR-Strahlungsintensität verwendet. Von jeder verwendeten Probe wurde eine zweite Vergleichsprobe angelegt. Damit verglichen werden kann, in wie weit die IR-Strahlung Auswirkungen auf die Keimfähigkeit hat, wurde als Vergleichsprobe unbestrahlter Hafer aus der Ausgangsprobe verwendet.

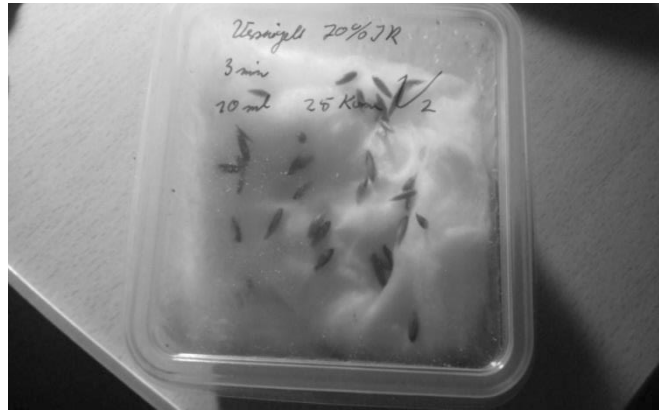


Abbildung 14: Keimtest Probenvorbereitung

Von jeder Probe wurden 25 Körner Hafer entnommen und auf Watte in verschließbaren durchsichtigen Kunststoffbehälter gegeben. Der Kunststoffbehälter soll durch seine Lichtdurchlässigkeit, ein Gewächshaus imitieren und für ein feuchtes und warmes, gleichbleibenden Grundklima sorgen. Die Menge von 25 Haferkörnern für eine Probe wurde festgelegt, da sich diese Menge gut in dem Gefäß verteilen lässt. Ein weiterer Grund für die verwendete Menge an Körnern ist, dass sie übersichtlich ist und die gekeimten Haferkörner lassen sich gut auszählen, da die Keimlinge nicht so stark übereinander liegen. Zum Anfeuchten des Hafers und zur Einleitung des Keimvorgangs wurden auf jede Probe 10 ml Wasser gegeben und verschlossen. Über einen Zeitraum von einer Woche wurden die Proben beobachtet. Zur Kontrolle wurden Doppelproben durchgeführt.

## 8. Ergebnisse

### 8.1 Wassermenge

Nach der Auswertung der Ergebnisse der Anfeuchtungsversuche der Haferproben, konnte festgestellt werden, dass es schwer ist ein Naturprodukt welches aus mehreren Schichten und Konsistenten, wie Spelzen und Mehlkörper, aufgebaut ist, eine gleichmäßige feuchte Verteilung im Korn zu erreichen. Die ersten beiden Spalten der Tabelle 4 zeigen die Mischungsverhältnisse zwischen Wasser und Hafer an. In der letzten Spalte sind die Restfeuchten der jeweiligen Mischungen zwischen Wasser und Hafer zu sehen. Anhand dieser Daten wurde festgestellt, dass 6,5 g demineralisiertes Wasser auf 50 g Hafer ausreichen, um annähernd an die gewünschten Werte von über 20 % zu gelangen. Das Diagramm in der anschließenden Abbildung 15, hier speziell im Durchgang 6, stellt dieses Ergebnis noch einmal übersichtlich dar. Bei diesen Versuchen wurde auch festgestellt dass der für die Versuche bereitgestellte Hafer eine sehr geringe Kornfeuchte und Korngröße aufweist. Welches auf ein sehr trockenes Erntejahr oder auf eine zu starke Trocknung des Hafers schließen lässt. Die gesamten Ergebnisse in der Untersuchung sind im Anhang 1 zu sehen.

Tabelle 4: Restfeuchte in den Haferproben nach dem Anfeuchten

Versuchsdurchgänge	Hafer Gewicht in g	zugeführte Wassermenge in g	Mittelwert Restfeuchte in %
1	50	0	11,25
2	50	50	53,57
3	50	25	39,6
4	50	12,5	29,33
5	50	10	26,48
6	50	6,5	21,25
7	50	6	19,96
8	50	5	17,77
9	50	4	16,79

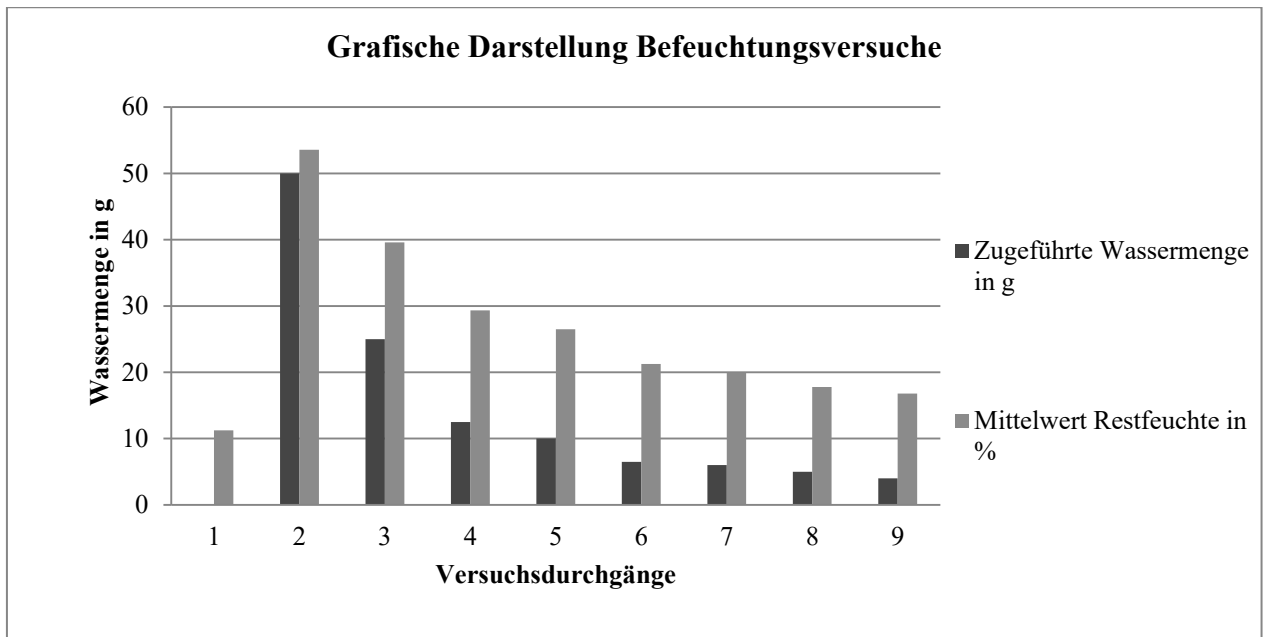


Abbildung 15: Diagramm Wasseraufnahme

## 8.2 Messung der Luftgeschwindigkeit

Nach der Strömungsgeschwindigkeitsmessung der Luft ergab sich die folgende Tabelle 5. Bei den Ergebnissen ist zu unterscheiden dass die Messung direkt am Lüfter die Werte widerspiegelt mit welcher Geschwindigkeit frische Luft von außen in den Gutsraum befördert wird. Dabei wurde die in der zweiten Spalte angegebenen Werte ermittelt.

Da diese Strömungsgeschwindigkeit dafür sorgt, dass das austretende interzellulär Wasser nach oben abtransportiert wird, kann die IR-Strahlung an dem Gut wirken. Aus der Tabelle ist zu sehen, dass bei den Versuchen die stärkste Stufeneinstellung verwendet werden muss. Da die Stufen niedrig und mittel nicht ausreichen, um die gesättigte Luft nach oben hin abzuleiten.

Tabelle 5: Luftgeschwindigkeiten

Lüfter Intensität	Luftgeschwindigkeit am Lüfter in m/s	Luftgeschwindigkeit im Gutsraum in m/s
1. Niedrig	0,8	0
2. Mittel	0,9	0,1
3. Stark	1,0	0,2

### 8.3. Vergleich nicht verspiegelter mit Verspiegeltem Innenraum

Anhand der Abbildung 16 ist deutlich zu erkennen, dass die Temperaturen im Inneren des verspiegelten Probenraumes höher sind, als die im normalen, nicht ausgekleideten schwarzen Innenraum. Das kann damit begründet werden, dass die Alufolienbeschichtung die IR-Strahlen bricht und reflektiert. Der Probeninnenraum wird gleichmäßig erwärmt und es werden höhere Temperaturen bei gleicher Menge an eingebrachter Energie erzielt. Gut zu erkennen in der Abbildung 16. Bei dem nicht ausgekleideten, schwarzen Innenraum kommt es zu einer weitaus geringeren Reflektion. Der IR-Emitter bleibt hier der Hauptpunkt, der die Infrarotstrahlen aussendet. Da die IR-Strahlen, je weiter sie von der Strahlenquelle entfernt sind, mehr streuen, kann der Probeninnenraum nicht so stark aufgeheizt werden wie im Vergleichsversuch bei dem der Innenraum mit Aluminiumfolie ausgekleidet ist. Was durch die unterschiedlichen Ausprägungen.

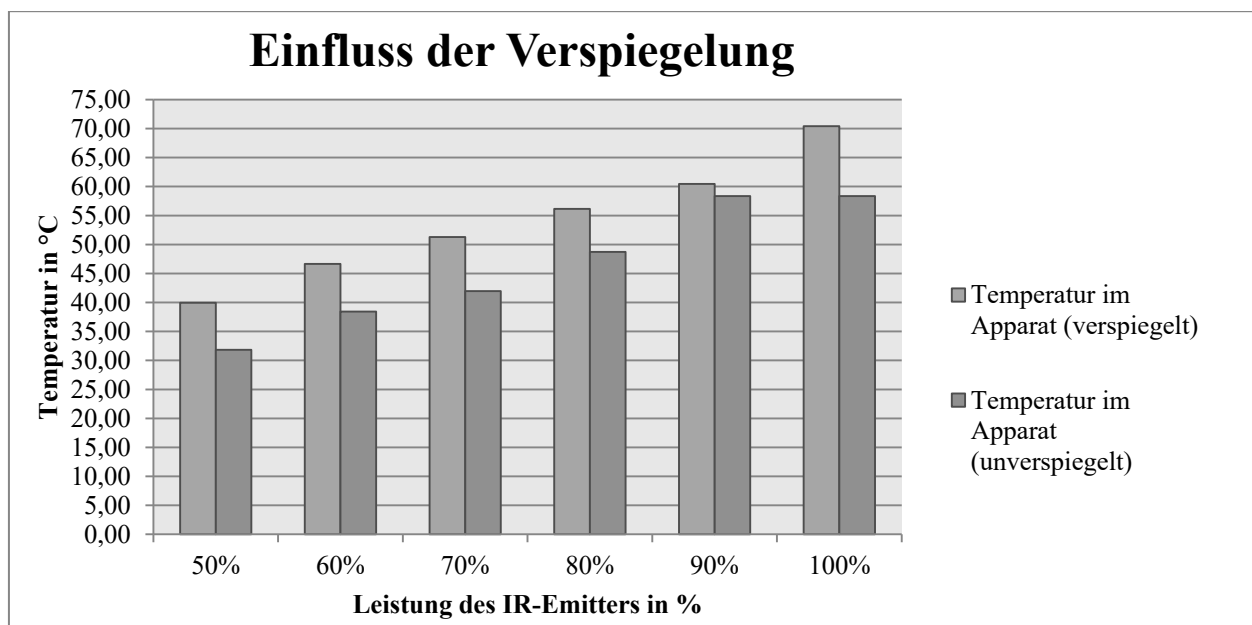


Abbildung 16: Einfluss der Verspiegelung gegenüber unverspiegelt.

### 8.4. Trocknung des Hafers

Die Untersuchung zur Trocknung von Schwarzhäfer unter Verwendung von IR-Strahlung wurde in mehreren Abschnitten unterteilt und durchgeführt. Alle Untersuchungen wurden bei der gleichen Lüftereinstellung und mit dem jeweils gleichen Abstand von 15 cm zum IR-Emitter durchgeführt. Die einzelnen Versuche unterschieden sich jeweils in der IR-Intensität (50 % und 70 %) und darin, ob sie mit Aluminiumfolie ausgekleidet waren oder nicht. Nach den durchgeführten

Untersuchungen lässt sich eindeutig feststellen, dass sich in der Durchführung dieser Arbeit, Schwarzhafer sehr gut innerhalb von kurzer Zeit unterhalb der gewünschten Lagerstabilen Gutsfeuchte von unter 15 % trocknen lässt. Bei der Einstellung von 50 % der IR-Emitter Intensität wurde der gewünschte Wert nach 7 Minuten erreicht, ohne dass das Korn verbrennt.

Tabelle 6: Vergleich der Trocknungszeiten bei 50 % und 70% unverspiegelt

Probennahme Zeit in min	IR- Intensi- tät in %	Zwischen- feuchte in % Versuch 1	Zwischen- feuchte in % Versuch 2	IR- Intensität in %	Zwischen- feuchte in % Versuch 1	Zwischen- feuchte in % Versuch 2
0	50	21,1	21,1	70	21,1	21,1
1	50	19,95	20,20	70	19,76	19,04
2	50	19,60	19,04	70	18,73	17,01
3	50	18,05	18,42	70	17,44	16,00
4	50	17,63	17,37	70	16,18	15,79
5	50	16,74	16,58	70	15,45	15,11
6	50	15,43	15,31	70	14,18	14,63
7	50	14,74	14,63	70	13,75	13,20
8	50	14,41				
9	50	14,25				

Bei der Einstellung des IR-Emitters auf 70 % wurde der gewünschte Wert bereits nach 6 Minuten erreicht, wie in Tabelle 6 zu entnehmen ist. Dieses Zeitersparnis liegt daran dass durch die stärkere IR-Strahlenintensität höhere Temperaturen am zu trocknenden Gut erzeugt wurden, was wiederum der Tabelle 7 Entnommen werden kann. Allerdings besteht bei Höherer Intensität der IR-Strahler eine hohe Wahrscheinlichkeit das Korn Verbrennt. Mit der Tabelle 7 wird deutlich, dass bei 100 % der IR-Strahlung, Temperaturen von 130 °C (unverspiegelt) und 180,4 °C (verspiegelt) im Innenraum des Prototypen auftreten und somit der die Temperaturen eines Konventionellen Backofens ähneln, die das Korn erbrennen lässt.

Tabelle 7: Temperaturvergleich am Gut mit variierter Innerverkleidung

Innerverkleidung	IR-Intensität in %	Innentemperatur in °C
unverspiegelt	50	49,7
	70	60,4
	100	130
verspiegelt	50	56,7
	70	90,1
	100	180,4

Die Trocknungsversuche wurden bei gleichbleibendem Parameter der Strahlungsintensität und Abstand zu den IR-Emittern durchgeführt. Bei den in der Tabelle 8 dargestellten Versuchen wurde der Gutsraum mit Aluminiumfolie ausgekleidet. Durch das Auskleiden des Gutsraumes konnten wie in Tabelle 7 zu sehen ist, höhere Temperaturen generiert werden. Dadurch konnte die Trocknung des Hafers stark beschleunigt werden. Bei der Einstellung mit 50 % der möglichen IR-Strahlung wurde der gewünschte Trocknungsgrad bereits nach 3 Minuten erreicht. Die Zeitspanne für die Trocknung des Hafers hat sich hierbei im Vergleich zu den nicht ausgekleideten Gutsraumversuchen halbiert wird.

Bei den Versuchen mit 70 % IR-Strahlenintensität fällt dieses Ergebnis gravierender aus. Bei diesem Versuch wird die Trocknung des Hafers bereits nach 3 Minuten erreicht. Daraus ergibt sich eine Zeitersparnis von 60 % gegenüber den Versuchen mit einem nicht ausgekleideten Gutsraum. Alle gemessenen Werte und Daten befinden sich in der Anlag 1 und 2.

Tabelle 8: Vergleich der Trocknungszeiten bei 50 % und 70 % verspiegelt

Probenentnahme Zeit in min	IR-Intensität in %	Zwischenfeuchte in % Versuch 1	Zwischenfeuchte in % Versuch 2	IR-Intensität in %	Zwischenfeuchte in % Versuch 1	Zwischenfeuchte in % Versuch 2
0	50	20,77	20,77	70	20,77	20,77
1	50	16,34	17,65	70	16,14	17,17
2	50	15,57	16,10	70	15,27	15,41
3	50	14,96	15,39	70	13,27	14,60
4	50	13,95	15,09	70	12,26	13,04
5	50	13,28	14,43	70	11,83	12,91
6	50	12,61	13,13	70		

### 8.5. Mikrobiologische Untersuchung

Bei der mikrobiologischen Untersuchung ist festgestellt worden dass alle Petrischalen einen Befall aufweisen. Als Beispiel dient die Abbildung 17. Alle Petrischalen mit Proben, welche mit IR-Strahlen behandelte Proben weisen einen Befall mit Hefepilz auf. Da in diesem Fall keine andere Verunreinigung und Wachstum von zum Beispiel Schwarzsimmel zu beobachten ist. Ist davon auszugehen, dass die IR-Strahlung auf Hefepilze keine Einfluss haben. Im Gegenzug weist die Ausgangsprobe vom Hersteller eine Verunreinigung mit Schwarzsimmel auf (Abbildung 18). Dieser Schimmel ist jedoch sehr verbreitet in der Natur insbesondere auf Getreiden, sofern ausreichend Feuchtigkeit vorhanden ist. Demzufolge kann man davon ausgegangen werden dass die IR-Strahlen eine Abtötende Wirkung auf Schwarzsimmel haben. Die IR-Strahlung

überträgt große Energiemengen in kurzer Zeit. Eine Entkeimung mit Infrarot-Strahlung, lässt sich als zur Hilfenahme kontrollierter Hitze als thermische Entkeimung bezeichnen. Ein Grund weshalb alle Proben Schimmelpilze aufweisen kann entweder sein, dass sie wie bereits erwähnt, natürlicherweise in geringen Mengen im Hafer vorkommt, oder es sich um eine Kreuz Kontamination zwischen den einzelnen Proben handelt. Da alle bei der mikrobiologischen Untersuchung verwendeten bestrahlten und nicht bestrahlten Haferkörner in ein und derselben universal Küchenmaschine zerkleinert wurden. Selbst die gründlichste Reinigung kann eine Kontamination der nachfolgenden Proben nicht gänzlich verhindern.

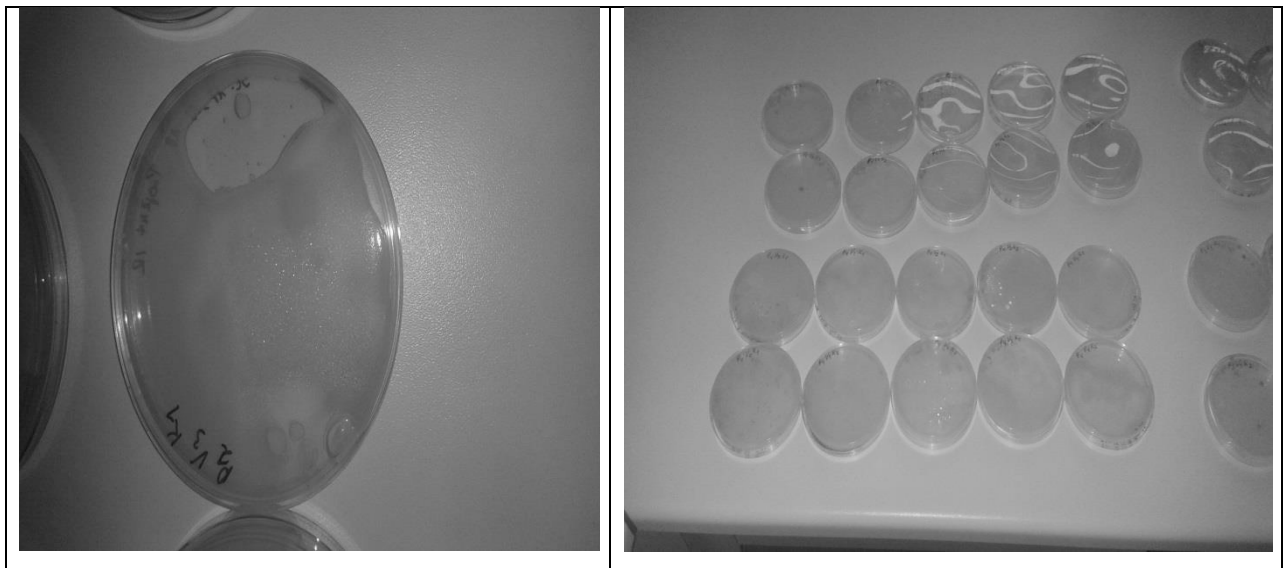


Abbildung 17: Nährböden mit Hefepilz befall

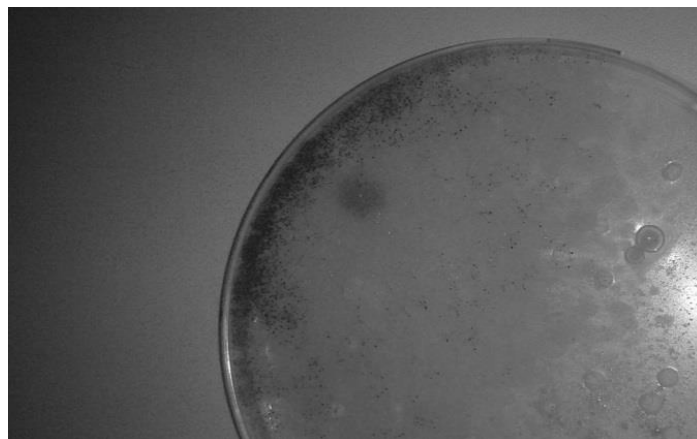


Abbildung 18: Vergleichsprobe mit Schwarzsimmelbefall

#### 8.6. Ergebnisse Keimtest

Bei der Auswertung der Ergebnisse, konnte festgestellt werden, dass bis auf eine Ausnahme der Hafer keimfähig ist. Die Keimfähigkeit unterscheidet sich zum Teil erheblich. Die ergiebigsten

Auskeimergebnisse wurden im verspiegelten Innenraum mit einer IR-Strahlenintensität von 50 % erzielt. Es keimen mehr als 50 % der Haferkörner bei der Haupt und der Kontrollgruppe wieder aus. Aus den Tabellen 8 und 9 ist ebenfalls abzulesen das je höher die IR-Strahlungsintensität und somit die Temperaturen am und im Hafer umso geringer werden die Auskeimzahlen. Die geringsten Auskeimwerte sind bei 100 % der IR-Strahlung zu erkennen. Die Temperatur die am und im Hafer erzeugt werden sind so hoch, dass wichtige Prozesse für die Keimung gehemmt oder abgetötet wurden z.B. Enzyme und Einweise.

Tabelle 9: Keimtest Ergebnis

## Versuch 1

	verspiegelt			Nicht verspiegelt			Frisch probe
	IR-Strahlungsintensität			IR-Strahlenintensität			keine IR- Strahlung
Tage	50%	70%	100%	50%	70%	100%	
1	x	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x
4	11	4	0	9	7	0	6
5	11	4	0	9	7	0	6
6	11	4	0	9	7	0	6
7	13	6	0	11	8	0	7

Tabelle 10: Keimtest Ergebnisse Kontrollgruppe

## Versuch 2

	verspiegelt			Nicht verspiegelt			Frisch probe
	IR-Strahlungsintensität			IR-Strahlenintensität			keine IR-Strahlung
Tage	50%	70%	100%	50%	70%	100%	
1	x	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x
4	14	2	1	11	8	0	10
5	14	2	1	11	8	0	10
6	14	2	1	11	8	0	10
7	16	5	1	13	9	0	10

## 9. Abschlussdiskussion/Problemdarstellung

An Hand der gewonnenen Daten und der Auswertung aller Ergebnisse, kann die Aussage getroffen werden, dass es möglich ist ein funktionierendes für Laborversuche geeigneten geschlossenen IR-Versuchsstand zu bauen und Schwarzhafers zu trocknen. Einer von mehreren positiven Effekten, die bei der Untersuchung auftraten, ist das schnelle Erreichen der Trocknung des Schwarzhafers. Die angestrebte Lagerfeuchte von unter 15 % Restfeuchte wurde innerhalb kürzester Zeit (siehe Tabelle 6 und 8) erzielt. Das Verkleiden des Gutsraumes mit reflektierender Aluminiumfolie beschleunigte das Trocknen erheblich (siehe Tabelle 7). Durch das Anbringen des reflektierenden Materials konnten bei gleichbleibender IR-Strahlungsintensität höhere Temperaturen erzeugt werden. Dabei trat wiederum ein als negativ zu bewertender Punkt zu Tage. Die erreichten höheren Temperaturen haben neben der verkürzten Trockenzeit eine erhebliche Verringerung der Keimfähigkeit des Schwarzhafers zur Folge. Die höheren Temperaturen bei 70 % der IR-Strahlenintensität sorgen dafür dass der Schwarzhafers nicht mehr im vollen Umfang auskeimte (siehe Tabelle 9 und 10). Nach aktuellem Stand der Untersuchungen, kann festgehalten werden, dass eine Strahlungsintensität des IR-Emitters von 50 % ausreicht, um das Korn zügig auf den gewünschten Restfeuchtegehalt zu trocknen. Zudem bleibt bei der Strahlungsintensität von 50 %, die Auskeimfähigkeit der Körner größtenteils erhalten, was darauf schließen lässt, dass die Inhaltsstoffe der Haferkörner nicht bzw. nur geringfügig durch die Hitzeeinwirkung geschädigt werden.

Sollte das Trocknungsverfahren in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen sollten noch weitere differenzierende Untersuchungen in diesem Bereich durchgeführt werden. Ein Nebeneffekt der bei den Versuchen mit 70 % IR-Strahlenintensität aufgetreten ist, ist ein wohlriechender, süßlich, malziger Geruch. In der Landwirtschaft ist dieser Nebeneffekt weniger erwünscht. Jedoch in der Brautechnik im Bereich der Malzgewinnung, hier könnte dies als positiver Effekt bewertet werden.

Neben dem Schnellen Trocknen fiel auch die mikrobiologische Untersuchung positiv auf. Anhand der gewonnenen Daten kann festgestellt werden dass die IR-Strahlung den Schwarzhafers nicht keimfrei macht. Sie verhindert aber das unkontrollierte Wachstum von unerwünschtem Schwarzsimmel. Nach der Betrachtung aller Ergebnisse und Auswertungen der Ergebnisse kann abschließend festgehalten werden, dass es möglich ist, mit Hilfe der IR-Strahlen unter den beschriebenen Einstellungen und Optimierungen des Prototypen, Hafer zumindest im Labormaßstab, schonend und zügig auf den gewünschten Restfeuchtegehalt von unter 15 % zu trocknen. In vorlaufenden Arbeiten zu dieser Thematik muss nun untersucht werden in wie weit die Trock-

nung mit Hilfe von IR-Strahlen möglicherweise energieeffizienter und schneller ist als die zurzeit Angewendeten Verfahren.

## 10. Nächste Schritte, Umsetzung der Ergebnisse

Da die beschriebenen Ergebnisse im Großen und Ganzen als positiv zu bewerten sind, sollten die Resultate im Einzelnen noch einmal intensiver betrachtet werden. Dazu könnten weitere Modifikationen am und im IR-Versuchsstand von Nöten sein. Einen Modifikationspunkt sollte in der Be- und Entlüftung des Versuchsstandes liegen. Die Lüfterleistung ist für die jetzigen Versuche ausreichend. Sollte der IR-Versuchsstand für andere Untersuchungen genutzt werden, bei denen höheren Temperaturen gearbeitet werden muss sollten die aus Kunststoff bestehenden Lüfter durch Robustere Materialien wie z.B. aus Metall oder Aluminium zur Anwendung kommen. Da es zu leichten Verformungen an den Lüftergehäusen bei den Untersuchungen mit 100 % der Emitterleistung gekommen ist. Zudem sollte darüber nachgedacht werden, die Aluminiumfolie durch andere reflektierende Materialien zu ersetzen, um das bestmögliche Ergebnis im Bereich Reflektion und Dämmung zu ermitteln. Dazu können temperaturstabile Materialien mit unterschiedlicher Dicke und unterschiedlich stark reflektierende beschichtete Stoffe im Gutsraum angeschraubt oder geheftet werden. Als Materialien können hierbei Spiegel, reflektierende Metalle oder Reflektorfolien zur Anwendung kommen. Zur Isolierung des Gutsraumes kann Glaswolle zur Anwendung kommen. Sie hat neben ihrer guten Dämmeigenschaft und Wärmeresistenz den Vorteil, sie ist leicht in Form zu bringen und die Kosten sind gering.

Es sollte drüber nachgedacht werden, das Probengitter soweit zu verändern das es in Schwingung versetzt werden kann. Dadurch ist es möglich Versuche durchzuführen, welche das Durchmischen des Produktes voraussetzt. Um das zu erreichen gibt es die Möglichkeit eine Art Trommel zu konstruieren, die von außen über ein Zahnkeilriemen, zwei Umlenkrollen und einem regelbaren Motor betrieben wird. Eine weitere Möglichkeit besteht noch darin das Probengitter durch einen erhöhten Rand zu modifizieren und mit Vibrationsgebern auszustatten.

Im Bereich der Anfeuchteversuche sollten unterschiedliche Getreidesorten und Verarbeitungsgrade miteinander gemessen werden. Neben dem in dieser Untersuchung verwendeten Scharzhaffer sollten auch Gerste, Roggen sowie Weizen mit und ohne Spelzen verglichen werden. Um zu bestimmen in wieweit sich die einzelnen Getreiden in der Wasseraufnahme und Trocknungszeit unterscheiden.

Bei den Versuchen mit 70 % IR-Strahlenintensität ist der Nebeneffekt eines wohlriechenden, süßlich, malziger Geruch aufgetreten. Dieser Ansatz könnte für die Brautechnologie interessant sein, da hier verschiedene Malzarten, wie Karamellmalz oder Röstmalze zur Anwendung kommen. Demzufolge kann die Trocknung von Malzen durch IR-Strahlen ein weiterer Anwendungspunkt sein.

Wie bereits erwähnt, wäre es noch wichtig zu überprüfen auf welche Mikroorganismen die IR-Strahlung Auswirkungen haben. Da nur eine einfache mikrobielle Untersuchung durchgeführt werden konnte, sollten weitere Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt werden. Die ermittelten Ergebnisse zeigen, dass IR-Strahlung das Wachstum von Hefepilzen nicht verhindert, das Wachstum vom schädlichen Schwarzschild aber schon. So stellt sich die Frage, kann dies für die Backindustrie oder ähnlichen Bereichen genutzt werden? Vielleicht in Form von Keimreduktion und somit zur Verlängerung der Haltbarkeit und der Vermeidung von Geschmacksveränderungen im Produkt. Die aufgeführten Beispiele für ein weiteres Vorgehen in diesem Bereich zeigen, dass das Themengebiet der Trocknung durch IR-Strahlung ein großes Potenzial hat, wo es sich lohnt weitere Untersuchungen durchzuführen.

## 11. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit sollte herausgefunden werden, ob es möglich ist Getreide in diesem Fall Schwarzhafers durch IR-Strahlung zu trocknen. Damit diese Untersuchungen durchgeführt werden konnten musste im ersten Schritt ein entsprechender funktionierender IR- Versuchstand entworfen, geplant, gebaut und optimiert werden. Nach dem Bau des IR-Versuchstandes wurde untersucht welche Reichweite die angewendeten IR-Strahlen haben und welche Temperaturen bei welcher Intensität erreicht werden. Diese Ergebnisse waren insoweit wichtig, um entscheiden zu können welche, Abstände zu den Emittoren ausreichen um den Schwarzen Hafer zu trocknen aber ihn nicht zu verbrennen. Dazu wurden in jeweils 5 cm Abständen Wärmesensoren angebracht und die dabei entstandene Hitze gemessen und ausgewertet. Anhand der ermittelten Werte im Bereich der Anfeuchteversuche und Emittoreinstellungen wurde sich für eine IR-Emitterintensität von 50 % und 70 % entschieden. Dazu kamen Untersuchungen mit 100 % der Emitterleistung zur Anwendung, als Vergleichsversuche. Zudem wurden, der Einfluss eines verspiegelten und unverspiegelten Gutsraumes und deren Auswirkung auf die Trocknungszeit und die dabei erreichten Temperaturen betrachtet. Die eingesetzten Probenmenge und Abständen zu den IR-Emittoren blieben bei allen Untersuchungen gleich. Zusätzlich wurde untersucht in wie weit die IR-Strahlung Auswirkungen auf die Keimfähigkeit und die Auswirkungen von IR-Strahlen auf den Mikrobiologische befall des Schwarzhafers hat. Anhand der Arbeit und den Ergebnissen stellten sich eine Masse von neuen Anhaltspunkte und Richtungen heraus, die neue Forschungsziele aufzeigen.

## 12. Literaturverzeichnis

Budzier,H.: Gerlach,G.: Thermische Infrarot-Sensoren für die Thermografie – Stand und Tendenzen. [https://leibniz-institut.de/archiv/budzier\\_22\\_03\\_11.pdf](https://leibniz-institut.de/archiv/budzier_22_03_11.pdf) 10:11Uhr 11.12.2018

Ginsburg, A.S. : Infrarot technick & Lebensmittelproduktion: 1 .Auflage . VEB Fachbuchverlag, Leipzig; 1973.

Grdzlishvili, Gulnara: Near Infrared drying of apple slices. 1. Auflage. Prag: Technische Universität Prag, 2012

Infrarotstrahlung- Welt der Physik 17.04.2009

[https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/licht/elektromagnetisches spektrum/ infrarotstrahlung/](https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/licht/elektromagnetisches_spektrum/infrarotstrahlung/) 5.12.2018 13:07 Uhr

Landtechnik, Agricultural Engineering

<https://www.landtechnik-online.eu/landtechnik/article/view/2011-66-4-276-281> 16;45 Uhr  
02.01.2019

Licht.: Elektromagnetisches Spektrum und sichtbares Licht

[https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese\\_neu/dateien/licht/licht.html](https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese_neu/dateien/licht/licht.html)

Lindhauer Meinolf, G.: Lösche, K.: Miedaner, T (Hrsg): Warenkunde Getreide: Inhaltsstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung 7 Auflage Erling Verlag GmbH& Co Kg: 2017

Maier, Hans G.: Lebensmittel- und Umweltanalytik . Steinkopff Verlag Darmstadt, 1990

riela.de: Trocknertechnik 2018:

<https://www.riela.de/produkte/trocknungstechnik/> 9;35 Uhr 16.12. 2018

Wilfried, S.: Warenkunde Getreide: Inhaltsstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung : Agrimedia ; Auflage: 1., Aufl. 2005

### 13. Abbildungsquellen

Abbildung 5: Spektrum elektromagnetischer Wellen

[https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese\\_neu/dateien/licht/licht.html/](https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese_neu/dateien/licht/licht.html/) 27.12.2018

Abbildung 2: schematischer Versuchsstand für Infrarottrocknung

<http://chps.fsid.cvut.cz/pt/2011/pdf/1100012-1.pdf/> 03.01.2019

## 14. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tabellarischer Aufbau der Hauptversuche.....	11
Tabelle 2: Temperaturwerte in Korrelation der Abstände und Intensität.....	18
Tabelle 3: Versuchsdurchführung.....	24
Tabelle 4: Restfeuchte in den Haferproben nach dem Anfeuchten.....	27
Tabelle 5: Luftgeschwindigkeiten.....	28
Tabelle 6: Vergleich der Trocknungszeiten bei 50 % und 70% unverspiegelt .....	30
Tabelle 7: Temperaturvergleich am Gut mit variierter Innerverkleidung.....	30
Tabelle 8: Vergleich der Trocknungszeiten bei 50 % und 70 % verspiegelt .....	31
Tabelle 9: Keimtest Ergebnis .....	33
Tabelle 10: Keimtest Ergebnisse Kontrollgruppe .....	33
Tabelle 11: Datenreihe zu den Anfeuchtungsversuchen des Schwarzhafers.....	45

## 15. Anlagen

## Anlagen I: Messergebnisse der Befeuchtungsversuche

Versuche	Gewicht in g	Wassermen- ge in g	Einwaage Produkt in g	Rest- feuchte in %	Tempera- tur in °C	Mittel- wert	Wasseran- teil in %
1	50	0	2,65	11,61	95	11,25	0
2	50	0	2,63	10,73	95		
3	50	0	2,70	11,40	95		
4	50	50	2,71	53,52	95	53,57	100
5	50	50	2,70	53,36	95		
6	50	50	2,67	53,83	95		
7	50	25	2,66	40,22	95	39,6	50
8	50	25	2,73	39,03	95		
9	50	25	2,68	39,55	95		
10	50	12,5	2,75	29,91	95	29,33	25
11	50	12,5	2,65	28,13	95		
12	50	12,5	2,68	29,96	95		
13	50	10	2,74	26,67	95	26,48	20
14	50	10	2,71	26,28	95		
15	50	10	2,68	26,49	95		
16	50	6,5	2,72	21,19	95	21,25	13
17	50	6,5	2,72	21,37	95		
18	50	6,5	2,69	21,18	95		
19	50	6	2,71	19,92	95	19,96	12
20	50	6	2,74	20,28	95		
21	50	6	2,66	19,69	95		
22	50	5	2,69	17,24	95	17,77	10
23	50	5	2,70	18,01	95		
24	50	5	2,69	18,06	95		
25	50	4	2,72	16,80	95	16,79	8
26	50	4	2,64	16,78	95		
27	50	4	2,67	16,8	95		

## Anhang I: Trocknungsergebnisse Unverspiegelt

Ver- suche	Lüfter Einstel- lung	Emitter Ab- stand in cm	Unter- suchte Proben- menge in g	Proben- feuchte Anfang in %	Proben- nahme Zeit in min	IR- Inten- sität in %	Zwischen- feuchte in %	Innentem- peratur in °C	Innenver- kleidung
1	3	15	2,75	21,1	1	70	19,76		Unver- siegelt
	3	15	2,82	21,1	2	70	18,73		
	3	15	2,81	21,1	3	70	17,44	60,4	
	3	15	2,69	21,1	4	70	16,18		
	3	15	2,75	21,1	5	70	15,45		
	3	15	2,65	21,1	6	70	14,18		
	3	15	2,85	21,1	7	70	13,75		
2	3	15	2,78	21,1	1	50	19,95		
	3	15	2,85	21,1	2	50	19,60		
	3	15	2,72	21,1	3	50	18,05		
	3	15	2,73	21,1	4	50	17,63		
	3	15	2,74	21,1	5	50	16,74	49,7	
	3	15	2,77	21,1	6	50	15,43		
	3	15	2,78	21,1	7	50	14,74		
	3	15	2,77	21,1	8	50	14,41		
	3	15	2,75	21,1	9	50	14,25		
3	3	15	2,88	21,1	1	70	19,04		
	3	15	2,87	21,1	2	70	17,01		
	3	15	2,86	21,1	3	70	16,00		
	3	15	2,79	21,1	4	70	15,79	60,4	
	3	15	2,91	21,1	5	70	15,11		
	3	15	2,84	21,1	6	70	14,63		
	3	15	2,73	21,1	7	70	13,20		
4	3	15	2,81	21,1	1	50	20,20		
	3	15	2,91	21,1	2	50	19,04		
	3	15	2,80	21,1	3	50	18,42		
	3	15	2,71	21,1	4	50	17,37	49,7	
	3	15	2,80	21,1	5	50	16,58		
	3	15	2,84	21,1	6	50	15,31		
	3	15	2,72	21,1	7	50	14,63		
5	3	15	2,76	21,1	1	100	16,02		
	3	15	2,78	21,1	2	100	,15,00		
	3	15	2,72	21,1	3	100	13,75	130	
	3	15	2,82	21,1	4	100	10,87		
	3	15	2,71	21,1	5	100	8,41		

## Anhang II: Trockenergebnisse Verspiegelt

Ver- suche	Lüfter Einstel- lung	Emit- ter Ab- stand in cm	Unter- suchte Proben- menge in g	Proben- feuchte Anfang in %	Proben- nahme Zeit in min	IR- Intensi- tät in %	Zwi- schen- feuchte in %	Innen- tempera- tur in °C	Innen- verklei- dung
6	3	15	2,74	20,77	1	50	16,34		Ver- spiegelt
	3	15	2,86	20,77	2	50	15,57		
	3	15	2,75	20,77	3	50	14,96	56,7	
	3	15	2,75	20,77	4	50	13,95		
	3	15	2,68	20,77	5	50	13,28		
	3	15	2,83	20,77	6	50	12,61		
7	3	15	2,74	20,77	1	70	16,14		
	3	15	2,91	20,77	2	70	15,27		
	3	15	2,69	20,77	3	70	13,27	90,1	
	3	15	2,86	20,77	4	70	12,26		
	3	15	2,80	20,77	5	70	11,83		
8	3	15	2,65	20,77	1	50	17,65		
	3	15	2,76	20,77	2	50	16,10		
	3	15	2,77	20,77	3	50	15,39	56,7	
	3	15	2,77	20,77	4	50	15,09		
	3	15	2,71	20,77	5	50	14,43		
	3	15	2,83	20,77	6	50	13,13		
9	3	15	2,83	20,77	1	70	17,17		
	3	15	2,80	20,77	2	70	15,41		
	3	15	2,74	20,77	3	70	14,60	90,1	
	3	15	2,84	20,77	4	70	13,04		
	3	15	2,74	20,77	5	70	12,91		
10	3	15	2,77	20,77	1	100	15,87		
	3	15	2,81	20,77	2	100	13,92		
	3	15	2,84	20,77	3	100	11,59	180,4	
	3	15	2,88	20,77	4	100	11,27		
	3	15	2,81	20,77	5	100	9,73		

Tabelle 11: Datenreihe zu den Anfeuchtungsversuchen des Schwarzhafers

Versuch	Gewicht in g	Wassermenge in g	Restfeuchte in %	Temperatur in °C
1	50	0	10,57	95
2	50	50	37,43	95
3	50	50	38,89	95
4	50	50	37,79	95
5	25	12,5	30,19	95
6	25	12,5	31,43	95
7	25	12,5	33,65	95
8	25	6,5	22,3	95
9	25	6,5	25,81	95
10	25	6,5	23,85	95
11	25	5	19,87	95
12	25	5	21,47	95
13	25	5	21,18	95
14	25	4	16,99	95
15	25	4	16,67	95
16	25	4	15,82	95

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe und das die schriftliche Arbeit gleich der Digitalen Arbeit ist.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift