

Bilshausen, 27. April 2017

Einfluss von Licht unterschiedlicher Wellenlänge auf Wuchshöhe und Biomasse von *Lepidium sativum*

Seminarfacharbeit im naturwissenschaftlichen Abiturprofil

Seminarfacharbeit im Fach:

Biologie

Schule:

Eichsfeld-Gymnasium Duderstadt

Betreuende Lehrkraft:

StR Friedrich Ach

Vorgelegt von:

Alina Maaß

Inhaltsverzeichnis

1. Abstract	1
2. Einleitung	1
3. Grundlagen	2
3.1 Licht im Allgemeinen	2
3.2 Photosynthese	2
3.3 Pigmente	3
4. Material und Methoden	6
5. Auswertung der Messergebnisse	7
6. Diskussion	11
6.1 Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse	11
6.2 Vergleich mit Literaturangaben	12
6.3 Fehleranalyse	13
7. Anhang	I
7.1 Literatur- und Quellenverzeichnis	I
7.2 Details zu verwendeten Materialien	I
7.3 Messdaten	II
7.4 Schriftliche Versicherung der selbstständigen Anfertigung	III
7.5 Einverständniserklärung der Veröffentlichung	III

1. Abstract

Das Ziel der vorliegenden Facharbeit war es, den Einfluss von Licht unterschiedlicher Wellenlänge auf das Wachstum der Gartenkresse (*Lepidium sativum*) zu untersuchen. Dabei wurde sich zu Beginn theoretisch mit dem Thema auseinandergesetzt und schließlich empirisch der Einfluss überprüft. Jeweils 100 Samen wuchsen sieben Tage lang bei Licht der Wellenlänge $\lambda = 488 \text{ nm}$, $\lambda = 567 \text{ nm}$ und $\lambda = 673 \text{ nm}$ bzw. den Lichtfarben blau, grün und rot. Dabei wurden die Wuchshöhe und Biomasse der Keimlinge bestimmt und schließlich herausgefunden, dass rotes Licht das Wachstum der Keimlinge in Hinblick auf beide Versuchsgrößen fördert, blaues Licht nachteilig wirkt und grünes Licht nur in Bezug auf die Biomasse Vorteile erbringt und somit das Dickenwachstum der Pflanze fördert.

2. Einleitung

Schnelles und kräftiges Pflanzenwachstum ist zum einen in der Nahrungsproduktion notwendig, zum anderen erhoffen sich Pflanzenproduzenten die bestmögliche Anzucht ihrer Blumen. Durch die Umwandlung von CO_2 in Sauerstoff bei der Photosynthese spielt das Pflanzenwachstum auch für die Verbesserung unserer Luft eine wesentliche Rolle.

Zusätzlich sind Pflanzen vielfältige Lebewesen, die alle Lebensräume der Erde besiedeln. Sie wachsen im Meer, auf dem Festland und sogar an scheinbar ungünstigen Orten wie in der Wüste.¹ Für das Wachstum der unterschiedlichen Pflanzen sind die *biotischen*² und *abiotischen*³ Faktoren verantwortlich. Zu letzteren gehören neben der Raumstruktur, dem Niederschlag, den in Luft, Wasser und Boden enthaltenen Stoffen und der Tages- und Jahreszeit auch die Licht- und Wärmestrahlung.⁴

Es gibt vielseitige Gründe, weshalb die Möglichkeiten der abiotischen Umweltfaktoren genau untersucht und ausgeschöpft werden sollten. Die folgende Facharbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob und welchen Einfluss Licht unterschiedlicher Wellenlänge auf das Wachstum der Pflanze hat. Untersucht wird hierbei die anspruchslose Gartenkresse in Bezug auf ihre Wuchshöhe und Biomasse.

¹ vgl. [4], S.17

² „Faktoren der lebenden Umwelt, z. B. Nahrung, Konkurrenten, Feinde, Parasiten, Krankheitserreger“ ([8], siehe biotische Faktoren)

³ „physikalische und chemische Faktoren der unbelebten Umwelt (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Beschaffenheit des Bodens und des Wassers)“ ([8], siehe abiotische Faktoren)

⁴ vgl. [2], S.9f.

3. Grundlagen

3.1 Licht im Allgemeinen

Der Bereich der elektromagnetischen Lichtstrahlung, der für das menschliche Auge sichtbar ist, umfasst 40 bis 45 Prozent der zugestrahlten Sonnenenergie und fällt auf den Wellenlängenbereich von ungefähr 380 bis 780 Nanometer (nm).⁵ Begrenzt wird der Spektralbereich des sogenannten sichtbaren Lichts durch die kurzwellige Ultraviolettstrahlung und die langwellige Infrarotstrahlung. Das für die Menschen sichtbare „Weißlicht“ kann in die Spektralfarben rot, orange, gelb, grün, blaugrün, blau und violett zerlegt werden. Jeder Farbe entspricht dabei eine definierte Wellenlänge (λ).

3.2 Photosynthese

Die notwendige Voraussetzung für die pflanzliche Ernährung, das Wachstum und die Entwicklung der Pflanze ist die ausreichende Versorgung mit unterschiedlichsten Elementen.⁶ Die Substanzproduktion und der Ertrag einer Pflanze hängen dabei wesentlich von dem Einfluss äußerer Faktoren ab. Zu den wichtigsten abiotischen Faktoren gehören das Licht, die Temperatur, Wasser, Mineralsalze und Kohlenstoffdioxid. Diese Faktoren beeinflussen einen komplexen und besonders wichtigen Stoffwechselprozess, die Photosynthese.⁷ Aufgrund der Herstellung organischer Stoffe aus Wasser und Kohlenstoffdioxid mithilfe von Lichtenergie, stellt die Photosynthese den „wichtigste[n] Vorgang bei der Bildung von Biomasse“⁸ dar. Versuche des Pflanzenphysiologen F.F. Blackman im Jahre 1905 haben gezeigt, dass die Faktoren Licht und Temperatur den größten Einfluss auf die Photosynthese nehmen. Dabei finden im Verlauf des Photosyntheseprozesses zunächst einige lichtabhängige Reaktionen, die unabhängig von der Temperatur sind, statt. Zusätzlich gibt es einige Reaktionen, die zwar temperaturabhängig, aber lichtunabhängig sind. Diese Reaktionen finden räumlich getrennt voneinander in zwei unterschiedlichen Abschnitten statt. Sie werden als Licht- bzw. Dunkelreaktionen bezeichnet, wobei die Bezeichnung der Dunkelreaktion nur auf die Unabhängigkeit vom Licht hinweist.⁹ In den Lichtreaktionen wird die auf die Pflanze treffende Lichtenergie in chemische Energie in Form von ATP ¹⁰ umgewandelt und es werden Elektronentransportmoleküle (z.B. $NADPH+H^+$) gebildet. Im darauffolgenden Abschnitt, den

⁵ vgl. [4], S.35

⁶ vgl. [5], S.427

⁷ vgl. [7], S.71ff.

⁸ [3], S.323

⁹ vgl. [6], S.103ff.

¹⁰ ATP =Adenosintriphosphat, Energiespeicher in tierischen und pflanzlichen Zellen und Energielieferant für Stoffwechselprozesse (vgl. [6], S.695)

Dunkelreaktionen, werden ATP und NADPH+H⁺ benötigt, um Kohlenstoffdioxid „zu einem energiereichen Zwischenprodukt“¹¹ zu reduzieren. Dieses ist zur Herstellung organischer Moleküle notwendig. „Ohne Licht gibt es keine Photosynthese.“¹² Dies besagt, dass Licht für den Prozess der Photosynthese unabdingbar ist, da die Dunkelreaktionen nicht ohne die Produkte der Lichtreaktionen ablaufen können.

Der photochemische Prozess in einer Pflanze beginnt, sobald photosynthetisch nutzbare Strahlung auf ihre Oberfläche trifft.¹³ Da „Strahlung nur dann wirksam sein kann, wenn sie absorbiert wird“¹⁴, muss es in der Pflanze bestimmte Substanzen geben, die Strahlung absorbieren bzw. „verschlucken“ können. Die Pflanzenbestandteile, die Strahlung empfangen, reflektieren, absorbieren oder durchlassen bezeichnet man als Pigmente. Die Aufnahme der Strahlung heißt Absorption, die Rückstrahlung wird als Reflexion bezeichnet und die Durchlässigkeit beschreibt die sogenannte Transmission.¹⁵

3.3 Pigmente

Die Absorption sichtbarer Strahlung geschieht, wie bereits erwähnt, durch sogenannte Pigmente. „In der Regel handelt es sich bei diesen Substanzen um gefärbte, komplexe organische Verbindungen.“¹⁶ Diese aktiven Farbpigmente, zu denen die Chlorophylle und Carotinoide gehören, sind in den Membranen der Thylakoide eingelagert. In diesen Membransystemen, die sich wiederum in den Chloroplasten einer Pflanze befinden, laufen die Photosynthesereaktionen ab. Somit sind die Chloroplasten der Ort des Photosyntheseprozesses einer Pflanze.¹⁷ Die Pigmente im Pflanzenmaterial lassen sich durch die sogenannte Chromatographie sichtbar machen. Es lassen sich grüne Farbstoffe, das Chlorophyll a und b, sowie gelb-orangene Farbstoffe, das Lutein und das Carotin, identifizieren.¹⁸ In grünen Blättern ist dabei die Menge an Chlorophyll deutlich größer als die der Carotinoide, weshalb deren gelbe, orangene oder sogar rote Farbe durch das Grün der Chlorophylle überdeckt wird.¹⁹ Das wichtigste Farbpigment für den Photosyntheseprozess ist das Chlorophyll a, welches in allen photosynthetischen Organismen mit Ausnahme der *phototrophen Bakterien*²⁰ vorkommt.

¹¹ [3], S.323

¹² [7], S.119

¹³ vgl. [4], S.103

¹⁴ [7], S.125

¹⁵ vgl. [4], S. 35

¹⁶ [7], S.78

¹⁷ vgl. [6], S.101ff.

¹⁸ vgl. [7], S.78f.

¹⁹ vgl. [6], S.109

²⁰ Bakterien, die die Energie des Lichts zum Wachsen nutzen (vgl. [8], siehe phototrophe Bakterien)

Chlorophyll b liegt hingegen nur in grünen Organismen vor²¹ und wird, so wie auch die Carotinoide, als akzessorisches Pigment (=Hilfspigment) bezeichnet.²²

Tierische und pflanzliche Lebewesen besitzen unterschiedliche Pigmente, in denen Absorption, Reflexion und Transmission häufig selektiv, das heißt in Abhängigkeit von der Wellenlänge, erfolgen.²³ Absorbiert ein Pigment Licht jeder Wellenlänge, kann es keine Lichtfarbe reflektieren und wird vom Betrachter als schwarz wahrgenommen. Viele Pigmente absorbieren allerdings nur Licht ganz bestimmter Wellenlängen und lassen das übrige Licht durch sich hindurch oder reflektieren es.²⁴ Somit hat jedes Pigment ein anderes Absorptionsspektrum, welches angibt, welche Anteile der sichtbaren Strahlung gut oder schlecht absorbiert werden. Wird ein Pigment in einem Lösungsmittel gelöst, kann mithilfe eines Spektralphotometers für jede Wellenlänge des Lichts die entsprechende Absorptionsfähigkeit des Pigments ermittelt werden.

„Werden die erhaltenen Messwerte gegen die zugehörige Wellenlänge [in eine Grafik] aufgetragen und miteinander verbunden, so ergibt sich ein charakteristisches Kurvenbild.“²⁵ Bei genauerer Betrachtung dieser in Abbildung 1 dargestellten Kurvenbilder lässt sich erkennen, dass die Chlorophylle a und b ihre Absorptionsmaxima im hellroten ($\lambda = 640\text{--}675\text{ nm}$) und blauen ($\lambda = 430\text{--}470\text{ nm}$) Spektralbereich aufweisen. Die Maxima der Carotinoide liegen

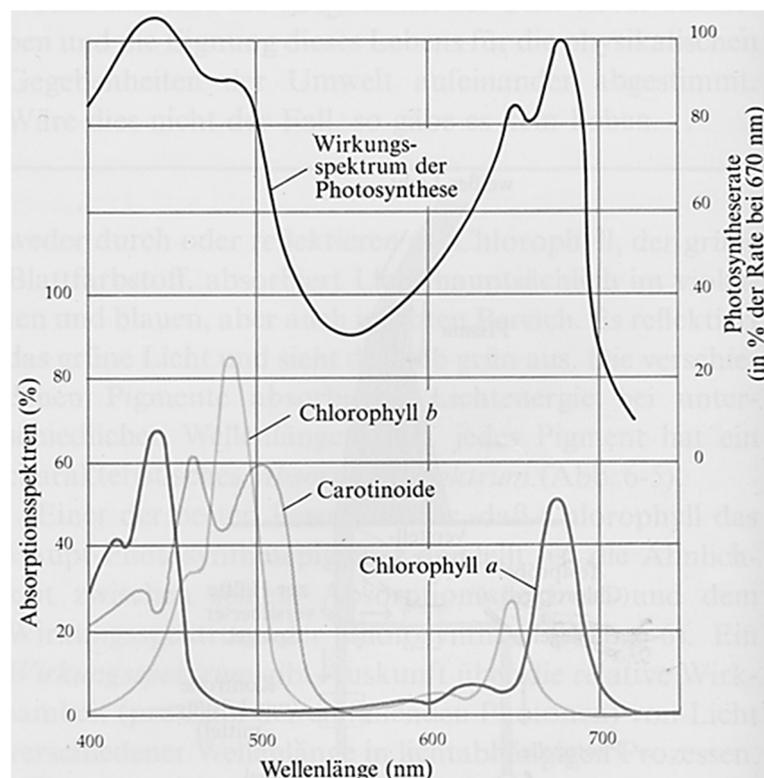


Abb. 1: Wirkungsspektrum der Photosynthese und Absorptionsspektren der Chlorophylle a und b und der Carotinoide

²¹ vgl. [5], S.74

²² vgl. [6], S.108

²³ vgl. [4], S.35

²⁴ vgl. [6], S.106

²⁵ [7], S.87

hingegen im blauen ($\lambda = 430\text{--}500\text{ nm}$) Bereich des sichtbaren Spektrums (siehe Spektrum des sichtbaren Lichts in 7.3). Da herauszufinden gilt, welchen Einfluss Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge auf das Wachstum von Pflanzen und somit auf die Photosynthese hat, muss herausgefunden werden, von welchen Pigmenten diese hauptsächlich abhängt. Dazu werden die einzelnen Absorptionsspektren von Chlorophyll a, Chlorophyll b und den Carotinoiden mit dem Wirkungsspektrum der Photosynthese verglichen. Dieses Wirkungsspektrum entsteht, wenn in Experimenten die Sauerstoffproduktion einer Pflanze in Abhängigkeit von der Wellenlänge gemessen und die Photosyntheserate schließlich gegen die Wellenlänge in einer Grafik aufgetragen wird (siehe Abbildung 1).²⁶

Beim Vergleich der Absorptionsspektren mit dem Wirkungsspektrum fällt auf, dass die Maxima des Wirkungs-spektrums sehr genau mit den Absorptionsmaxima von Chlorophyll a zusammenfallen. Dies lässt erkennen, dass Chlorophyll a als primäres Pigment der Photosynthese zu gelten hat. Die Ähnlichkeit der Absorptionsspektren von Chlorophyll b und den Carotinoiden mit dem Wirkungs-spektrum der Photosynthese bestätigt jedoch auch deren Rolle als akzessorische Pigmente.

„Chlorophyll a verdankt seine Schlüsselstellung im photochemischen Reaktionsbereich einer Reihe von außergewöhnlichen Eigenschaften [...]. Zu diesen zählen 1. Die spezifische Strahlungsabsorption und Anregung, 2. Die Eignung, Anregungsenergie von zugeordneten Pigmenten zu übernehmen und 3. Die Fähigkeit zur spezifische photochemischen Reaktion.“²⁷ Die spezifische Strahlungsabsorption und die folgende Reaktion wurden bereits erläutert. Somit wird im Folgenden noch die Funktionsweise der Pigmente erläutert. An den Lichtreaktionen in der Pflanze sind zwei sogenannte Pigmentsysteme beteiligt. Das erste System, Photosystem I, enthält überwiegend Chlorophyll a. Das *Reaktionszentrum*²⁸ bildet in jedem vorliegenden Photosystem I jeweils ein Chlorophyll a-Proteinkomplex mit einem Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von $\lambda = 700\text{ nm}$. Im Photosystem II ist ein größerer Anteil Chlorophyll b enthalten, wobei das Reaktionszentrum auch von einem Chlorophyll a-Proteinkomplex gebildet wird. Dieser hat jedoch sein Absorptionsmaximum bei $\lambda = 680\text{ nm}$. Beide Photosysteme sind zusätzlich mit Carotinoiden als akzessorische Pigmente ausgestattet.²⁹ Da Chlorophyll a die wichtigste Rolle bei der Strahlungsabsorption einnimmt, fungieren Chlorophyll b und die

²⁶ vgl. [3], S.104

²⁷ [7], S.137

²⁸ Komplex, der hauptsächlich aus Chlorophyll a besteht und den Elektronentransport in der Photosynthese zur Aufgabe hat

²⁹ vgl. [4], S.103f.

Carotinoide nur als Antennenpigmente. Sie absorbieren Lichtquanten und übertragen die gewonnene Energie, welche im Verlauf der Photosynthese in chemische Energie umgewandelt wird, auf die Reaktionszentren. Vereinfacht erklärt wird ein Elektron eines Pigments durch die Anregungsstrahlung eines Lichtquants auf ein höheres Energieniveau gehoben. Damit befindet sich das Elektron in einem angeregten Zustand.³⁰ Fällt ein Elektron schließlich in seinen Grundzustand zurück, so sind folgende Reaktionen möglich: Die Energie wird in Wärme freigesetzt, das Licht wird als Licht größerer Wellenlänge ausgestrahlt oder sie wird über mehrere Pigmentmoleküle in den Photosystemen bis auf die Chlorophyll a-Moleküle der Reaktionszentren übertragen und für die Photosynthese nutzbar gemacht. Chlorophyll b und die Carotinoide absorbieren Licht anderer Wellenlänge als Chlorophyll a, dadurch dienen sie „der Erweiterung des Lichtabsorptionsspektrums der Photosynthese“.³¹

4. Material und Methoden

Den Kern des Versuchsaufbaus bilden fünf Anzuchttöpfe, die in einem Karton aufgestellt werden. In diesen Karton wird eine Lampe so eingehängt und befestigt, dass sie mittig im Deckel hängt und eine eingesetzte Glühlampe den Karton gleichmäßig mit Licht erfüllen kann. Die fünf Anzuchttöpfe werden jeweils mit 38 g Blumenerde befüllt, sodass alle Töpfe eine identische Füllhöhe aufweisen. Danach werden die Töpfe mit 20 ml Wasser gegossen und 20 Samen an die Oberfläche der Erde gedrückt (für Details siehe 7.2). Bevor die Töpfe in den Karton gestellt werden, wird die Oberfläche der Blumenerde mit 5 ml Wasser benetzt. Die Umgebungstemperatur wird bei ungefähr 22 °C gehalten.

Es wird eine Glühlampe in die Leuchte geschraubt und die Gartenkresse sieben Tage lang jeden Morgen zur ungefähr gleichen Zeit mit 5 ml Wasser gegossen. Nachmittags werden die Töpfe für etwa 15 Minuten aus dem Karton genommen, um die Anzahl und die Wuchshöhe der Keimlinge zu bestimmen. Nach 168 Stunden bzw. sieben Tagen im beleuchteten Karton werden die Keimlinge geerntet und ihre Gesamtmasse pro Topf bestimmt. Der Versuch wird insgesamt dreimal mit unterschiedlich beschichteten Glühlampen durchgeführt; erst mit grüner, dann blauer und schließlich roter Beschichtung.

Die Ergebnisse des Versuches stellen hinsichtlich der ersten Versuchsgröße jeweils fünf Tabellen dar. Diese enthalten Angaben über die Wuchshöhe der Kressekeimlinge an sieben aufeinanderfolgenden Tagen unter dem Einfluss von Licht drei unterschiedlicher

³⁰ vgl. [5], S.257ff.

³¹ vgl. [6], S107ff.

Wellenlängen. Die Auswertung erfolgt zunächst bezüglich durchschnittlicher Höhe pro Topf und Tag und der zugehörigen Standardabweichung. Anschließend werden die Werte für einen Spektralbereich zusammengefasst, sodass letztlich der Gesamtdurchschnitt aller fünf Töpfe pro Tag mit zugehöriger Standardabweichung als Endergebnis festgehalten werden kann (siehe 7.3 Tabelle 2).

Im Hinblick auf die zweite Versuchsgröße, die Biomasse, wird das Gesamtgewicht der Keimlinge pro Topf am letzten Versuchstag erfasst. Das Gewicht pro Topf wird durch die Gesamtlänge der Kressekeimlinge des jeweiligen Topfes geteilt, um eine bessere Vergleichbarkeit der Biomassen zu ermöglichen. Die auf diese Weise errechnete Größe „Milligramm pro Zentimeter“ ermöglicht einen Vergleich zwischen den einzelnen Versuchsreihen. Die errechneten Werte für die fünf Töpfe werden jeweils zusammengefasst, sodass auch diese Endergebnisse Mittelwerte für eine Wellenlänge darstellen (siehe 7.3 Tabelle 3).

Zur Bestimmung der Wellenlängen des Lichts, denen die Kressekeimlinge ausgesetzt sind, wird das ausgestrahlte Licht der drei verschiedenen Glühlampen im abgedunkelten Karton genau betrachtet und mit den Farben einer sogenannten Farbzunge bzw. eines Spektralfarbenzuges in einer Normfarbtafel³² verglichen (siehe 7.3). Vier Personen schätzen jeweils eine Wellenlänge für die sichtbaren Farben grün, blau und rot und es wird ein Mittelwert gebildet. Somit lassen sich folgende Aussagen schlussfolgern: Die grün beschichtete Glühlampe strahlt geschätzt Licht der Wellenlänge $\lambda = 567$ nm aus, die blau beschichtete $\lambda = 488$ nm und die Glühlampe mit roter Beschichtung $\lambda = 673$ nm. Im folgenden Auswertungsteil wird sich zur Vereinfachung auf die Lichtfarbe beschränkt. Die genauen Werte für die Wellenlängen des ausgestrahlten Lichts werden in der Diskussion wieder aufgefasst.

5. Auswertung der Messergebnisse

	Grünes Licht	Blaues Licht	Rotes Licht
durchschnittliche Wuchshöhe	≈ 6,49 cm	≈ 6,15 cm	≈ 6,80 cm
Standardabweichung	≈ 0,34 cm	≈ 0,31 cm	≈ 0,28 cm
Maximum	10,5 cm	10 cm	9,6 cm
Minimum	0,4 cm	0,9 cm	0,9 cm
durchschnittliche Biomasse pro cm	≈ 5 mg	≈ 4,36 mg	≈ 4,75 mg
Standardabweichung	≈ 0,31 mg	≈ 0,34 mg	≈ 0,25 mg

Tabelle 1: Zusammenfassung der einzelnen Tabellen für den siebten Versuchstag

³² vgl. [1], S.69f.

Zur Auswertung der Daten werden die zusammengefassten Daten genutzt und die Werte miteinander verglichen (siehe Tabelle 1). Für die Bestrahlung mit grünem Licht lässt sich dabei eine durchschnittliche Wuchshöhe von etwa 6,49 cm mit einer Standardabweichung von ca. 0,34 cm festhalten. Die zwei größten Keimlinge in allen fünf Töpfen, die grünem Licht ausgesetzt waren, wurden 10,5 cm groß. Der kleinste Keimling erreichte eine Höhe von nur 0,4 cm. Bei blauem Lichteinfluss wuchsen die Keimlinge im Durchschnitt etwa 6,15 cm hoch mit einer Standardabweichung von ca. 0,31 cm. Das Maximum liegt bei 10 cm, das Minimum bei 0,9 cm. Für die Keimlinge mit roter Beleuchtung kann eine Wuchshöhe von ungefähr 6,80 cm als Durchschnitt bestimmt werden, wobei eine Standardabweichung ca. 0,28 cm berechnet wurde. Das Maximum der Wuchshöhe liegt bei 9,6 cm, das Minimum bei 0,9 cm. Wird die durchschnittliche Biomasse betrachtet, liegt der Wert für grüne Bestrahlung bei ungefähr $5 \pm 0,31$ mg pro Keimlingsstängel. Für die blaue Bestrahlung kann ein Wert von etwa 4,36 mg mit einer Standardabweichung von ca. 0,34 cm festgehalten werden. Die durchschnittliche Biomasse pro cm Keimlingsstängel bei Beleuchtung mit rotem Licht liegt bei etwa $4,75 \pm 0,25$ mg.

Werden die Werte für die verschiedenen Wuchshöhen bei unterschiedlichem Lichteinfluss untereinander verglichen, so lässt sich bei Bestrahlung mit grünem Licht eine deutlich größere Streuung erkennen, als bei Bestrahlung durch blaues oder rotes Licht. Wie auch in der Tabelle erkennbar, streuen die Werte bei grüner Beleuchtung von Werten unter 1 cm bis über 10 cm. Im Vergleich zu blauer und roter Lichtstrahlung konnten allerdings auch die größten Keimlinge bei grünem Licht wachsen. Bei Betrachtung des Wachstums der Keimlinge bei blauer Bestrahlung fällt auf, dass deutlich weniger Keimlinge eine solche Höhe wie bei grüner Bestrahlung erreichen konnten. Die Streuung fällt etwas geringer aus, da die Werte der fünf Töpfe mit blauer Lichteinwirkung im Allgemeinen näher zusammenliegen und spät keimende Samen schneller wuchsen als bei grünem Lichteinfluss. Bei den Töpfen, die dem roten Licht ausgesetzt waren, liegt die geringste Streuung vor. Im Mittel ist diese um fast 0,1 cm geringer als bei Bestrahlung mit grünem Licht. Dies ist ein relativ starker Unterschied bei einer geringen mittleren Streuung von ungefähr 0,28 cm unter Einfluss von rotem Licht. Obwohl deutlich weniger Keimlinge so hoch wuchsen wie bei grüner oder blauer Bestrahlung, ist die Gesamtlänge aller Keimlinge am siebten Versuchstag bei roter Lichteinwirkung am höchsten. Mit einer Gesamtlänge von ca. 640 cm wuchsen die Keimlinge insgesamt deutlich höher als die unter blauer Lichteinwirkung, etwa 550 cm. Und auch die Gesamtlänge der Keimlinge unter grünem Lichteinfluss mit ungefähr 615 cm Gesamtlänge wurde übertroffen. Der

Längenunterschied zwischen den Keimlingen bei grünem und blauem Lichteinfluss ist dabei auf die Keimrate zurückzuführen. Bei Beleuchtung mit blauem Licht lag diese bei 90 %, mit grünem Licht lag die Keimrate hingegen bei 95 %. Der Längenunterschied zwischen Kressekeimlingen unter Einfluss von rotem und grünem Licht ist mit dem bereits erwähnten verspäteten und langsameren Keimen der Samen bei grüner Lichteinwirkung zu erklären.

Bei Gegenüberstellung der Werte für den Gesamtdurchschnitt der Wuchshöhe pro Tag (siehe Abb. 2 und Tabelle 2 im Anhang) fällt auf, wie verschieden der Wachstumsverlauf bei Beleuchtung mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen ausfällt. An den ersten beiden Versuchstagen gibt es keine großen Unterschiede in den mittleren Wuchshöhen, ab dem dritten Tag werden die Differenzen zwischen den Werten jedoch größer. Keimlinge, die bei blauem Licht wuchsen, wurden fast doppelt so groß wie Keimlinge unter grünem Lichteinfluss. Auch am darauffolgenden vierten Versuchstag ist ein besonders großer Abstand zwischen der kleinsten und größten durchschnittlichen Wuchshöhe zu erkennen. Wie auch an Tag Nr. 3, sind die Keimlinge bei blauer Bestrahlung deutlich größer als bei grüner Bestrahlung. Die Wuchshöhe der Kressekeimlinge mit roter Lichteinwirkung liegt an diesen beiden Tagen zwischen den beiden Wuchshöhen, wobei von Tag 3 auf Tag 4 ein starker Anstieg der Wuchshöhe zu erkennen ist. Obwohl ihr Wachstumsanstieg nicht so stark wie zuvor ausfällt, sind die Keimlinge, welche unter dem Einfluss von rotem Licht stehen, ab dem fünften Tag am höchsten gewachsen. Einen starken Anstieg weisen außerdem die Keimlinge mit grüner Beleuchtung von Tag 4 auf Tag 5 auf. Sie wachsen auf mehr als das Doppelte an. Letztendlich sind sie am letzten Versuchstag im Mittel höher als die Keimlinge unter dem Einfluss von blauem Licht gewachsen.

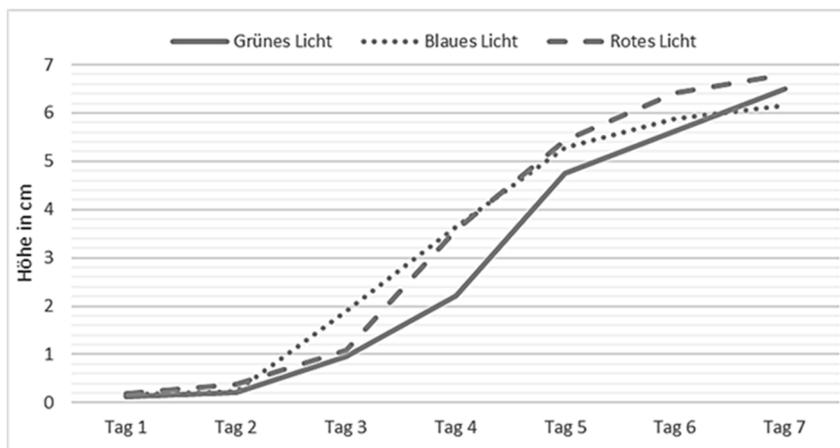


Abb. 2: Mittlere Wuchshöhe pro Tag im Vergleich³³

³³ eigene Darstellung

Werden zusätzlich zur mittleren Wuchshöhe der Keimlinge auch die Standardabweichungen an den einzelnen Versuchstagen betrachtet, werden weitere Unterschiede deutlich (siehe Abbildung 3). Allgemein gesehen sind die Abweichungen an den ersten beiden Tagen besonders gering und bei allen drei Lichtfarben gleich klein. Sie steigen schließlich unterschiedlich stark an, bis sie sich am letzten Tag wieder etwas angleichen.

Somit lässt sich vorerst sagen, dass, unter Berücksichtigung der mittleren Wuchshöhe pro Tag und der zugrundeliegenden Standardabweichung, das gleichmäßigste und im Durchschnitt das größte Wachstum der Keimlinge bei roter Lichtstrahlung erreicht wird. Keimlinge unter Einfluss von grünem Licht waren am letzten Versuchstag im Durchschnitt höher gewachsen als die Keimlinge bei blauem Licht, jedoch wurden insgesamt die stärksten Abweichungen deutlich.

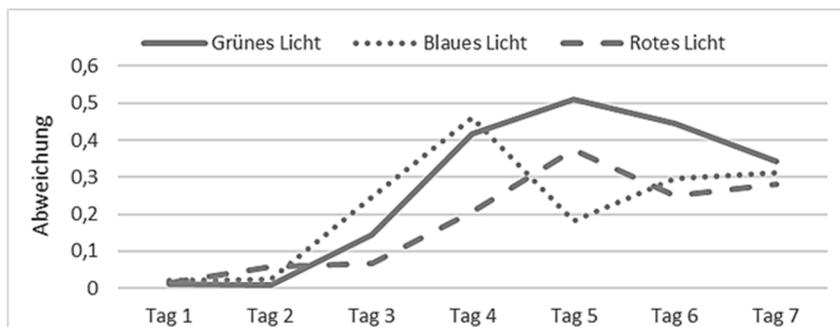


Abb. 3: Standardabweichung der gemittelten Daten im Vergleich³⁴

Um den Einfluss des Lichts unterschiedlicher Wellenlängen auf das Wachstum von Pflanzen differenzierter betrachten zu können, werden auch die am siebten Versuchstag aufgenommenen Biomassen miteinander verglichen (siehe Abbildung 4).

Bei grünem Lichteinfluss wuchsen die Keimlinge am kräftigsten, bei blauem am schwächsten. Sie weisen durchschnittlich ca. 0,6 mg weniger Gewicht auf. Die Biomasse für die Keimlinge, die bei rotem Licht wuchsen, liegt zwischen den Werten für grünen und blauen Lichteinfluss. Somit konnten die Keimlinge nicht ganz so kräftig wachsen wie bei grüner Lichtstrahlung, jedoch besser als bei blauer. Die Standardabweichung, zu sehen an den schwarzen Balken in Abbildung 4, ist bei den Keimlingen mit Einwirkung von blauem Licht etwas größer als bei Einwirkung durch grünes Licht. Für die durchschnittliche Biomasse der Keimlinge unter

³⁴ eigene Darstellung

Einfluss von rotem Licht ist die Standardabweichung hingegen mit etwa 0,25 mg um fast ein Drittel kleiner als die Abweichung bei Einfluss von blauem Licht.

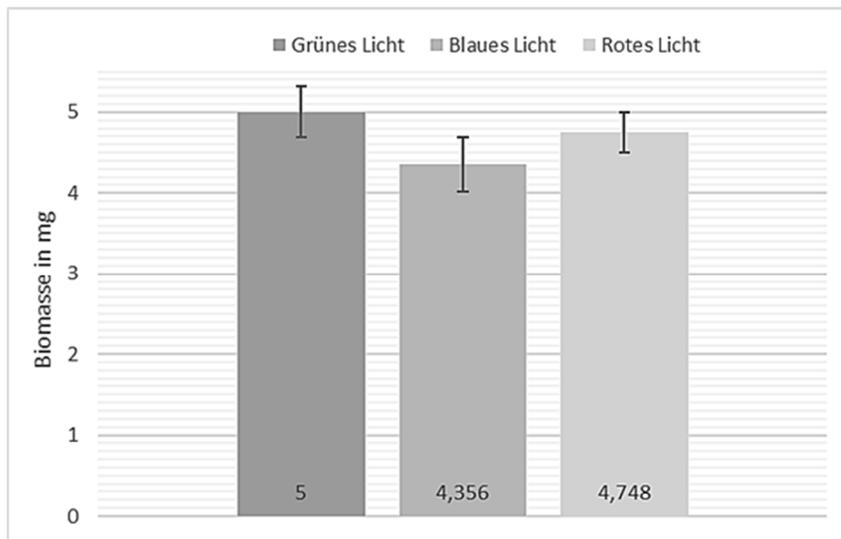


Abb. 4: Mittlere Biomasse pro cm Keimlingsstängel im Vergleich³⁵

6. Diskussion

6.1 Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse

Die Ergebnisse der Versuchsreihe zeigen, dass das Wachstum von *Lepidium sativum*, gemessen an der Wuchshöhe und der Biomasse der Pflanzen, von Lichteinstrahlung verschiedener Wellenlängen unterschiedlich beeinflusst wird. Im Hinblick auf die Wuchshöhe wurde grundsätzlich der stärkste Einfluss von Licht der Wellenlänge $\lambda = 673$ nm deutlich. Bei diesem Licht, welches für das menschliche Auge rot erscheint, konnten die Keimlinge im Mittel höher und gleichmäßiger wachsen als bei blauem oder grünem Lichteinfluss der Wellenlängen $\lambda = 488$ nm und $\lambda = 567$ nm. Im Mittel blieben dabei die Keimlinge unter blauer Bestrahlung am kleinsten, doch wurde bei Bestrahlung mit grünem Licht der Wellenlänge $\lambda = 567$ nm ein besonders ungleiches Wachstum der einzelnen Keimlinge festgestellt. Die Standardabweichung fiel größer aus als bei Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 488$ nm. Ausgehend von diesen Erkenntnissen erscheint es zunächst inkorrekt, dass die Biomasse bei Keimlingen mit grüner Beleuchtung im Mittel am höchsten ausfiel und nicht bei roter. Keimlinge, die blauem Licht ausgesetzt waren, wiesen pro Zentimeter Keimlingsstängel das durchschnittlich geringste Gewicht und die größte Abweichung auf. Rot beleuchtete Keimlinge hatten nicht ganz so viel Masse wie grün beleuchtete gewonnen, allerdings konnte bei ihnen die

³⁵ eigene Darstellung

geringste Abweichung festgestellt werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass, unter Berücksichtigung beider Versuchsgrößen, Licht der Wellenlänge $\lambda = 673$ nm den stärksten und Licht mit $\lambda = 488$ nm den schwächsten Einfluss auf *Lepidium sativum* hatte. Das rote Licht förderte eher das Längenwachstum der Keimlinge, grünes Licht hingegen das Dickenwachstum.

6.2 Vergleich mit Literaturangaben

Wie im Grundlagenteil (siehe 3.2 folgend) bereits erklärt, hängt der Einfluss der Wellenlängen des Lichts auf das Wachstum von Pflanzen mit den Absorptionsspektren der in den Membranen der Thylakoide eingelagerten Pigmente zusammen. Werden die sogenannten Absorptionsspektren der in Pflanzen enthaltenen Pigmente Chlorophyll a, Chlorophyll b und der Carotinoide (Abb. 5) genauer betrachtet und mit den Ergebnissen des Versuches mit *Lepidium sativum* verglichen, fallen sowohl Übereinstimmungen als auch Unterschiede auf. Die offensichtlichste Ähnlichkeit zwischen Absorptionsspektrum und Versuchsergebnis liegt in

Bezug auf den Spektralbereich des roten Lichts im Wellenlängenbereich von $\lambda = 640$ bis 675 nm vor. Im Versuch stellte sich Licht der Wellenlänge $\lambda = 673$ nm als besonders förderlich für das Längenwachstum der Kresse heraus. Die Absorptionsspektren der

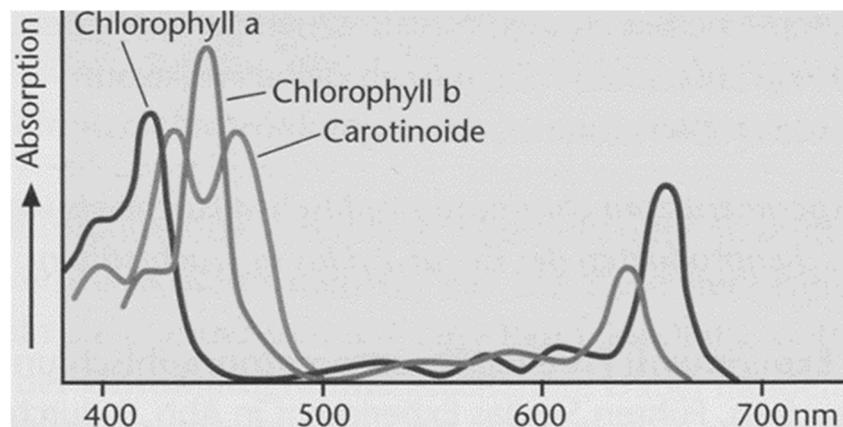


Abb. 5: Absorptionsspektren der Chlorophylle a und b und der Carotinoide³⁶

Chlorophylle a und b weisen bei dieser Wellenlänge ein Maximum auf. Sie können daher bei Lichteinstrahlung dieser Wellenlänge besonders viel Energie für die Photosynthese bereitstellen. Die Ergebnisse der Versuchsreihe spiegeln genau diesen Aspekt wieder. Das absolute Maximum von Chlorophyll a liegt bei $\lambda = 662$ nm³⁷, somit hätte im Versuch eventuell ein noch besseres Wachstum erzielt werden können. Der Einfluss der Spektralbereiche des blauen und grünen Lichts ergab im Versuch deutlich von der Theorie abweichende Ergebnisse.

³⁶ [3], S.104

³⁷ [7], S.88

Die Absorptionsspektren der Chlorophylle a und b und auch der Carotinoide weisen weitere Maxima auf. Diese liegen ungefähr im Spektralbereich zwischen $\lambda = 400\text{--}500$ nm. Das sollte zur Folge haben, dass die Photosynthese auch bei blauer Lichteinstrahlung zur Substanzproduktion beiträgt und die Pflanze gut wächst. Im Gegensatz dazu steht, zumindest in der Theorie, die Lichteinstrahlung im Wellenlängenbereich $\lambda = 500\text{--}560$ nm. Der durchgeführte Versuch ergab relativ stark abweichende Ergebnisse. Die Keimlinge wuchsen bei Betrachtung der Ergebnisse für die Biomasse unter Einfluss von blauem Licht deutlich schlechter als bei grünem Licht. Werden die Ergebnisse der Wuchshöhe betrachtet, wuchsen die Keimlinge, die blauem Licht ausgesetzt waren, etwas besser und gleichmäßiger. Durch den Versuch kann eine weniger wachstumsfördernde Funktion von grünem Licht, insbesondere der Wellenlänge $\lambda = 567$ nm, nicht bestätigt werden.

6.3 Fehleranalyse

Beim Vergleich der Versuchsergebnisse und den eigentlichen Absorptionsspektren der Pflanzenpigmente scheint es einen Fehler im Spektralbereich des grünen Lichts mit der Wellenlänge $\lambda = 567$ nm gegeben zu haben. Wodurch dieser entstanden sein könnte, ist schwer zu sagen. Eventuell wurden die Keimlinge in der Zeit vom Tageslicht beeinflusst, in der die Töpfe jeden Tag für eine Viertelstunde aus dem Karton genommen und die Wuchshöhe der einzelnen Keimlinge bestimmt wurden. Jedoch ist es unwahrscheinlich, dass sich in dieser Zeit ein so starker Fehler ergeben konnte, vor allem da in den anderen Spektralbereichen keine deutlichen Fehler erkennbar sind.

Das bei Licht der Wellenlänge $\lambda = 488$ nm keine bzw. wenig Wachstumsförderung vorliegt, kann mit den Maxima der Chlorophylle erklärt werden. Wie in Abbildung 5 erkennbar, absorbiert Chlorophyll a das Licht hauptsächlich im Bereich von $\lambda = 400\text{--}450$ nm und Chlorophyll b größtenteils im Bereich von $\lambda = 420\text{--}480$ nm. Nur die in geringem Maße vorhandenen Carotinoide absorbieren das blaue, energiereiche Licht der Wellenlänge $\lambda = 488$ nm, sodass nur wenig Lichtenergie zu den Reaktionszentren der Photosysteme gelangen und in chemische Energie umgewandelt werden kann.

Des Weiteren kann nicht genau bestimmt werden, ob die Abweichungen in Wuchshöhe und Biomasse auf die unterschiedliche Lichteinstrahlung zurückzuführen sind oder ob sie bereits naturbedingt unterschiedlich stark und unabhängig von der Wellenlänge des zugestrahlten Lichts vorkommen. Allgemein wurde darauf geachtet, auftretende Unterschiede und somit Fehlerquellen gering zu halten, indem alle Töpfe unter gleichen Bedingungen angepflanzt und gepflegt wurden.

7. Anhang

7.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Dohlus, R. (2015). Lichtquellen, Berlin/München/Boston, Walter de Gruyter
- [2] Filser, J. (2002). Einführung in die Ökologie, Uni Bremen
<http://www.uft.oekologie.uni-bremen.de/Internet%20Einfuehrung%20Oekologie3.pdf>
(Abruf: 25.02.2017)
- [3] Hausfeld, R., Schulenberg, W. (2013, Serie A). BIOskop Niedersachsen SII, Braunschweig, Westermann
- [4] Larcher, W. (1984, 4. Auflage). Ökologie der Pflanzen, Stuttgart, Ulmer
- [5] Nultsch, W. (1986, 8. Auflage). Allgemeine Botanik, Kurzes Lehrbuch für Mediziner und Naturwissenschaftler, Marburg, Georg Thieme Verlag
- [6] Raven, P. H., Evert, R. F., Curtis H. (1987, 2. Auflage). Biologie der Pflanzen, Berlin/New York, Walter de Gruyter
- [7] Richter, G. (1988, 5. Auflage). Stoffwechselphysiologie der Pflanzen, Physiologie und Biochemie des Primär- und Sekundärstoffwechsels, Hannover, Georg Thieme Verlag
- [8] Spektrum der Wissenschaft, Online-Lexikon der Biologie,
<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/> (Abruf: 12.04.2017)

7.2 Details zu verwendeten Materialien

- Samen: 8g-Packung „Einfache Gartenkresse (*Lepidium sativum*)“, Wirtschaftsjahr der Verschließung: 2014, Gartenland GmbH Aschersleben
- Blumenerde: Blumenerde „Compo Sana“, Compo GmbH Münster
- Töpfe: Anzuchttöpfe aus Zellulose (Durchmesser 8 cm), toom Baumarkt GmbH Köln
- Leuchte: Klemmleuchte Flex 24705T05, Brilliant AG Gnarrenburg
- Glühlampen: Glühlampen in rot, grün und blau (25 Watt, E14, 230 Volt), Paulmann Licht GmbH Springe
- Waage: Präzisionswaage Kern EMB 200-2 (Wägebereich 0-200 g in 0,01 g Schritten), Kern & Sohn GmbH Balingen

7.3 Messdaten

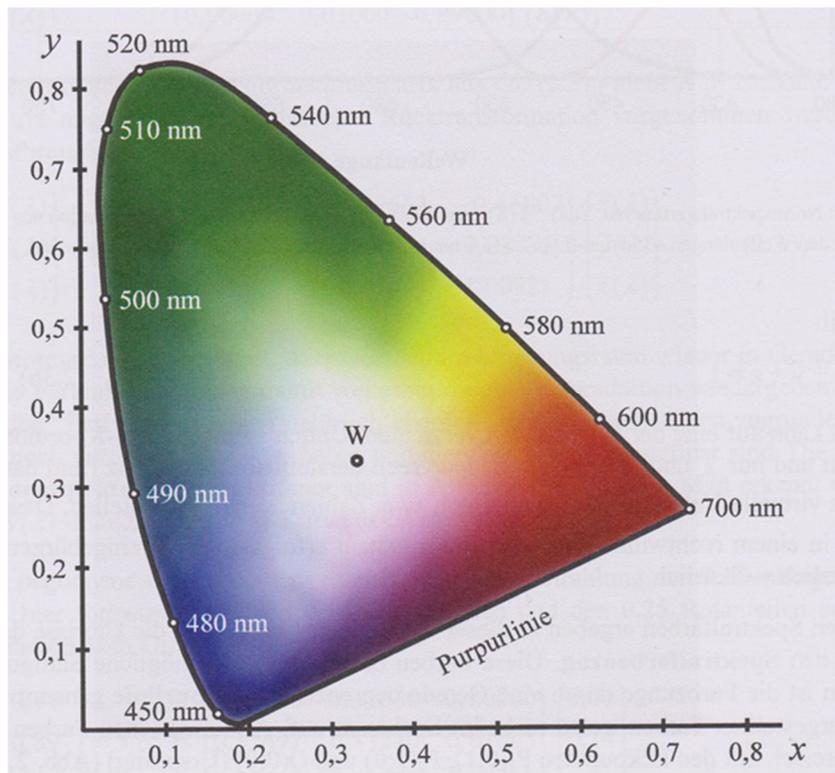
	Grünes Licht	Blaues Licht	Rotes Licht
Tag 1	0,13 cm	0,16 cm	0,19 cm
	0,01 cm	0,02 cm	0,01 cm
Tag 2	0,22 cm	0,23 cm	0,38 cm
	0,01 cm	0,02 cm	0,08 cm
Tag 3	0,95 cm	1,88 cm	1,08 cm
	0,14 cm	0,25 cm	0,07 cm
Tag 4	2,21 cm	3,64 cm	3,58 cm
	0,42 cm	0,46 cm	0,21 cm
Tag 5	4,76 cm	5,28 cm	5,44 cm
	0,51 cm	0,18 cm	0,37 cm
Tag 6	5,62 cm	5,88 cm	6,42 cm
	0,45 cm	0,30 cm	0,25 cm
Tag 7	6,49 cm	6,15 cm	6,80 cm
	0,34 cm	0,31 cm	0,28 cm

Mittlere Wuchshöhe pro Tag
Standardabweichung
(alle Werte gerundet)

Tabelle 2: Zusammenfassung aller Wuchshöhen mit Standardabweichung

	Grünes Licht	Blaues Licht	Rotes Licht
Mittlere Biomasse	5 mg	4,356 mg	4,748 mg
Standardabweichung	0,313 mg	0,340 mg	0,245 mg

Tabelle 3: Mittlere Biomasse pro cm Keimlingsstängel (gerundete Werte)

Abb. 6: Normfarbtabelle mit Farbzungenspektrum³⁸

7.4 Schriftliche Versicherung der selbstständigen Anfertigung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe und die Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder wesentlichen Inhalt anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht worden sind.

Bilshausen, 27.04.2017

Alina Maaß

Alina Maaß

7.5 Einverständniserklärung der Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass das Eichsfeld-Gymnasium Duderstadt die von mir verfasste Facharbeit schulintern veröffentlicht.

Bilshausen, 27.04.2017

Alina Maaß

Alina Maaß

³⁸ [1], S.70