

Luitpold-Gymnasium München

Abiturjahrgang 2017/2019

Seminararbeit

W-Seminar Biologie

„Gravitropismus“

Verfasser/in: Alexandra Smirnova

Seminarleiter/in: Herr Stadler

Abgabetermin: 06. November 2018

Seminararbeit: Erzielte Note: _____ Erzielte Punktzahl: _____

(einfache Wertung)

Präsentation: Erzielte Note: _____ Erzielte Punktzahl: _____

Gesamtpunktzahl (doppelte Wertung): _____

((3 x SA + PR) : 2)

.....
Unterschrift Seminarleiter/in

Inhaltsverzeichnis

1 Gravitropismus als wichtige Pflanzeneigenschaft	4
2 Fachliche Analyse der Thematik Gravitropismus	5
2.1 Wichtige Begriffe aus der Botanik	5
2.1.1 Morphologie der Pflanze	5
2.1.2 Arten des Gravitropismus	6
2.2 Reizaufnahme bei Pflanzen	6
2.3 Signaltransduktion und differenzielles Wachstum	8
2.3.1 Funktion des Calciums bei der Signaltransduktion	8
2.3.2 Funktion des elektrischen Feldes bei der Signaltransduktion	9
2.3.3 Funktion der Auxine im Gravitropismus	9
2.3.4 Funktion der Gibberelline im Gravitropismus	10
3 Experimenteller Nachweis von Gravitropismus bei <i>Lepidium sativum</i>	12
3.1 Methoden	12
3.1.1 Pflanzen, Materialien und Geräte	12
3.1.2 Versuchsbeschreibung	13
3.2 Ergebnisse	14
3.3 Diskussion	17
4 Fazit und Ausblick	18
5 Literatur	19
6 Abbildungsverzeichnis	20
7 Schlusserklärung	21

Abstract

Gravitropismus ist im 19. Jahrhundert entdeckt worden und ist seitdem ein Thema, das heutzutage ein eigenes Forschungsgebiet darstellt. Pflanzen orientieren sich nach der Schwerkraft, um in Richtung des Lichts („nach oben“) bzw. in Richtung der Nährstoffe („nach unten“) zu wachsen. Die dafür verantwortlichen Mechanismen stellen ein aktuelles Forschungsgebiet dar und bilden die Grundlage der vorliegenden Arbeit.

Zunächst wird fachliche Analyse der Thematik Gravitropismus durchgeführt. Dabei werden grundlegende Begriffe eingeführt und anschließend auf die Reizaufnahme bei Pflanzen sowie auf die pflanzliche Signaltransduktion und das differenzielle Wachstum eingegangen.

Im praktischen Teil der Arbeit erfolgt der experimentelle Nachweis von Gravitropismus an *Lepidium sativum* unter Haushaltsbedingungen; hierfür wird ein selbstständig konstruierter Klinostat verwendet. Das erfolgreich durchgeführte Experiment wird beschrieben und die Ergebnisse aufgearbeitet.

Abschließend wird auf die Bedeutung von Gravitropismus eingegangen und es werden mögliche weiterführende experimentelle Ansätze in einem Ausblick diskutiert.

1 Gravitropismus als wichtige Pflanzeneigenschaft

Viele Pflanzen sind an die Erde festgebundene Organismen, die ab ihrer Keimung ihr ganzes Leben an einem Ort verbringen. Wurzeln verankern die Pflanzen an die Erde und versorgen sie mit Mineralionen und Wasser. Sprossen dagegen wachsen oberhalb der Erde, wo sie Photosynthese betreiben können. Wurzeln und Sprossen orientieren sich während dem Wachstum unter anderem an der Schwerkraft—diese Fähigkeit wird als Gravitropismus bezeichnet (Masson u. a. 2002, S. 2).

Gravitropismus wurde vor zweihundert Jahren als biologisches Phänomen anerkannt und bleibt bis heute ein aktiver Forschungsbereich, was auch an der Vielzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen erkennbar ist. Zum Beispiel beschäftigt sich eine Gruppe von Naturwissenschaftlern mit Gravitropismus in Bezug auf die Landwirtschaft, um das Potenzial der Pflanze auszuschöpfen. Gravitropismus ist dafür verantwortlich, dass sich das Gewächs nach einem Unwetter wieder aufrichtet und weiter wächst (Chen, Rosen und Masson 1999, S. 343).

Die vorliegende Arbeit erarbeitet zunächst die theoretischen Grundlagen des Gravitropismus, indem sie wichtige Fachbegriffe einführt und die Reizaufnahme sowie die Signaltransduktion bei Pflanzen bespricht.

Anschließend wird im experimentellen Teil der Arbeit der Gravitropismus bei Kresse (*Lepidium sativum*) mithilfe eines Klinostats nachgewiesen und die Ergebnisse erläutert.

Im abschließenden Teil der Arbeit werden mögliche weiterführende experimentelle Ansätze besprochen und es wird auf die Bedeutung von Gravitropismus in der Landwirtschaft eingegangen.

2 Fachliche Analyse der Thematik

Gravitropismus

Um ein grundlegendes theoretisches Verständnis des Gravitropismus zu schaffen, werden zunächst die für den Gravitropismus grundlegenden Begriffe aus der Botanik erläutert. Dann werden Reizaufnahme, Signaltransduktion und differenzielles Wachstum als wichtige Elemente des Gravitropismus näher beschrieben.

2.1 Wichtige Begriffe aus der Botanik

2.1.1 Morphologie der Pflanze

Um die Prozesse des Gravitropismus zu verstehen, ist es wichtig, den Aufbau der Pflanze zu kennen, um die Vorgänge des Gravitropismus in den verschiedenen Bereichen der Pflanze beschreiben zu können.

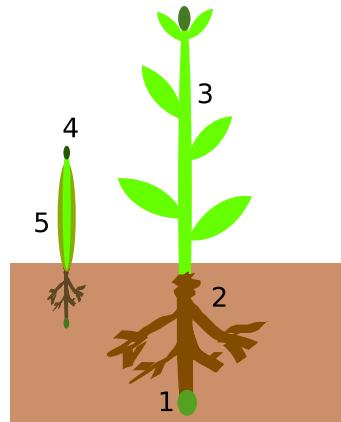


Abbildung 2.1: Grober Aufbau der Pflanze, links als Keimling, rechts als ausgewachsene Pflanze. Beschriftung: 1—Wurzelspitze, 2—Hauptwurzel mit Seitenwurzeln der ersten Ordnung, 3—Sprossachse, 4—Sprossspitze, 5—Koleoptil (Schutzorgan).

Am Anfang der Entwicklung einer Pflanze, wenn sie noch ein Keimling ist, wird sie von einem sehr sensiblen Schutzorgan, dem *Koleoptil*, umgeben. Bei ausgewachsenen Pflanzen ist es nicht mehr vorhanden.

Ausgewachsene Pflanzen bestehen aus einer Sprossachse, an dessen oberen Ende sich die Sprossspitze befindet. Am unteren Ende setzt die Hauptwurzel an, von der sich Seitenwurzeln, auch *Adventivwurzeln* genannt, abzweigen. Am Ende der Hauptwurzel befindet sich die Wurzelspitze, hinter der sich die Streckungszone befindet. Die Streckungszone ist

ein Bereich, in dem sich die Wurzelzellen durch Streckungswachstum vergrößern. Dadurch wird die Wurzelspitze weiter in die Erde vorgeschoben. An der Sprossspitze sowie an den Wurzelspitzen befinden sich *Apikalmeristeme*, die eine Anhäufung sich teilender Zellen sind. Sie bilden Seitenzweige oder Blätter bei Sprossen und neue Wurzelzellen bei Wurzeln (Campbell und Reece 2009, S. 1009–1011).

2.1.2 Arten des Gravitropismus

Beim Gravitropismus, auch genannt Geotropismus, werden drei Bewegungsarten unterschieden: *Positiv gravitrop*, *negativ gravitrop* und *transversalgravitrop*.

Positiv gravitrop bedeutet, dass das Wachstum der Organe, wie zum Beispiel Wurzeln, Rhizoide (wurzelähnliche Strukturen), Moose oder Farnprothallien, zur Schwerkraftquelle hin (nach unten zur Erdmitte) erfolgt. Negativ gravitrope Organe dagegen, wie Sprossen, Sporangienträger der Schimmelpilze der Gattung *Mucor* oder Fruchtkörper mancher Pilze wachsen von der Schwerkraftquelle entgegengesetzt (nach oben). Diese zwei Wachstumsrichtungen werden auch als *Orthogravitropismus* bezeichnet, da sie beide parallel zur Schwerkraft wachsen (Jacob, Jäger und Ohmann 1994, S. 546).

Seitenwurzeln der ersten Ordnung (Nebenwurzeln, die von der Hauptwurzel entspringen) und zahlreiche Seitenzweige sowie Blätter wachsen *transversalgravitrop*: entweder horizontal oder quer nach unten in einem bestimmten Winkel (Strasburger und Sitte 1991, S. 449).

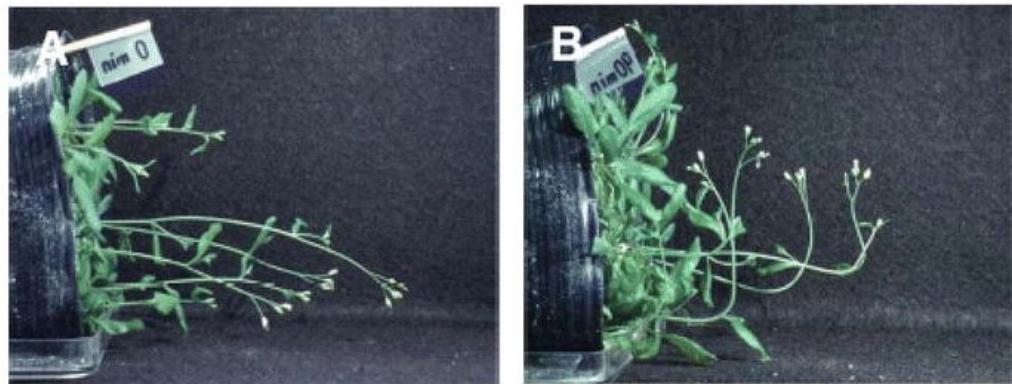


Abbildung 2.2: Gravitrop reagirende *Arabidopsis thaliana* (Masson u. a. 2002, S. 5). Teilabbildung A zeigt den Zustand am Anfang, Teilabbildung B zeigt den Zustand nach vollzogener gravitropischer Reaktion.

Legt man eine Pflanze quer, so werden sich Wurzeln und Sprosse krümmen, bis sie senkrecht stehen und wieder positiv bzw. negativ gravitrop wachsen (Lütte, Kluge und Bauer 1994, S. 528). Abbildung 2.2 zeigt diesen Prozess bei *A. thaliana*.

2.2 Reizaufnahme bei Pflanzen

Damit eine gravitrope Krümmung entstehen kann, werden zuvor Reize durch *Statolithen* aufgenommen. Statolithen sind schwere Organelle in bestimmten Zellen des Sprosses sowie der Koleoptil- und Wurzelspitzen; Abbildung 2.3 zeigt ihren Aufbau und Wirkungsweise.

Es handelt sich dabei meist um *Amyloplasten*, die aus Stärke bestehen (Lüttge, Kluge und Bauer 1994, S. 530).

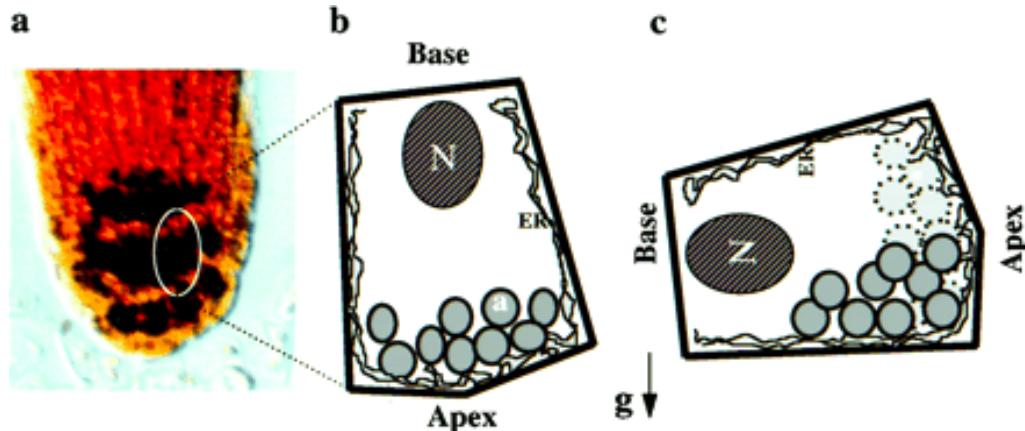


Abbildung 2.3: Statolithen (Chen, Rosen und Masson 1999, S. 345). Teilabbildung a zeigt eine Mikroskopaufnahme von Statolithen bei *A. thaliana*. Teilabbildungen b und c zeigen die gravitrope Wirkungsweise von Statolithen, die auf Umlagerung der Amyloplasten bei Veränderung des Schwerkraftvektors beruht.

Entscheidend ist der Stärkegehalt der Amyloplasten, denn ohne ihn geht die gravitrope Reaktionsfähigkeit verloren, wobei das Längenwachstum der Wurzeln weiterhin unbeeinflusst bleibt. Die Stärke aus den Statolithenamyloplasten kann man durch experimentelle Eingriffe, zum Beispiel durch Kühlung, entfernen (Strasburger und Sitte 1991, S. 452).

Die zahlreich vorhandenen Statolithen befinden sich in Zellen (*Statocysten*), die die Graviperzeption ermöglichen. Kommen Statocysten in größeren Mengen vor, so bilden sie meist ein Gewebe, das als *Statenchyme* bezeichnet wird. Diese Stärke enthaltenden Bereiche findet man in Wurzelspitzen und Innenzellschichten der Sprossachsen (Nultsch 1991, S. 501–502).

Bei Einzelzellen, z.B. einer *Chara*-Rhizoide werden Amyloplasten durch „Glanzkörper“ ersetzt, die die Funktion der Statolithen übernehmen, da Einzelzellen keine Stärke enthalten. Diese in *Vacuolen* liegenden Einschlusskörper besitzen einen hohen spezifischen Gewicht, da sie aus BaSO_4 bestehen.

Die Streckung der Einzelzellen erfolgt nur durch Spitzenwachstum (einseitiges Wachstum der Zelle). *Dictyosomen* (flache, membranumhüllte Hohlräume in der Zelle) synthetisieren beim Spitzenwachstum Membran- und Zellwandbausteine für den Aufbau der wachsenden Rhizoidwand. Dieses Material wird in *Vesikel* zur Wurzelspitze transportiert. Wegen der Verlagerung der „Glanzkörper“ auf die Unterseite, versperren sie den Weg für die Vesikel. Sie müssen deswegen auf der Oberseite hindurch kommen, bewirken aber somit ein verstärktes Wandwachstum (positiver Gravitropismus) (Strasburger und Sitte 1991, S. 453–454).

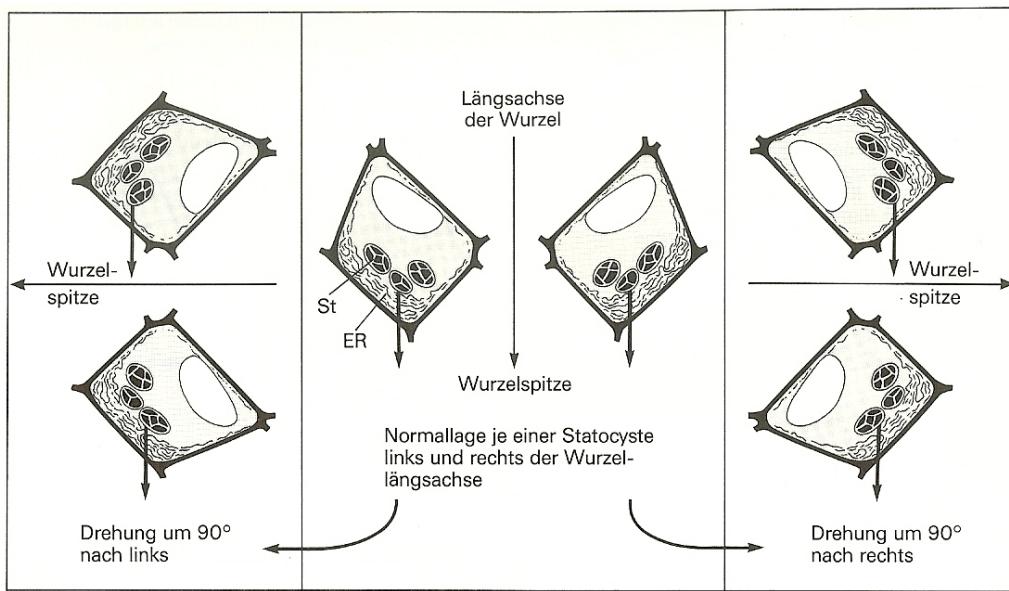


Abbildung 2.4: Querlegen einer Wurzel der Kresse (*Lepidium sativum*). Es erfolgt eine Graviperzeption, in der die Entlastung des Drucks der Membran des ER zu erkennen ist (Lüttge, Kluge und Bauer 1994, S. 533).

Bei Organen höherer Pflanzen ruhen Statolithen auf der Membran des *endoplasmatischen Retikulums* (ER). Wird eine Drehung vollführt, so wird auf einer Seite des Statocysten Druck geübt, während die andere Seite entlastet wird. Wird das Organ um 90° nach links gedreht, so wird die rechte Seite entlastet. Bei einer Rechtsdrehung um 90° geschieht es genau andersherum. Das wird in der Abbildung 2.4 genauer verdeutlicht. Dadurch erfolgt die Graviperzeption schneller, denn die Verlagerung der Wurzel hängt mit der Aufhebung des Statolithendrucks auf der Membran zusammen. Statolithen müssen dadurch nicht auf die Unterlage sinken, um dann von dort ein Signal über die veränderte Lage zu erzeugen (Lüttge, Kluge und Bauer 1994, S. 531–532).

2.3 Signaltransduktion und differenzielles Wachstum

Um eine Krümmung in Form von differenziellem Wachstum hervorzurufen, muss nach der Graviperzeption eine Signaltransduktion erfolgen, die die Änderung des Wachstumsverhaltens der Pflanze hervorruft.

2.3.1 Funktion des Calciums bei der Signaltransduktion

Die Signalübermittlung durch den direkten Kontakt zwischen Amyloplasten und ER wird als *gravisensorische Transduktion* bezeichnet. Durch den Druck der Amyloplasten auf die ER-Membranen wird ein Ca^{2+} -Efflux (das Austreten von Molekülen oder Ionen an der Zellmembran) aus dem ER verursacht. Dadurch wird die lokale Ca^{2+} -Konzentration im *Cytoplasma* erhöht. Bereits der Druck auf eine einzige ER-Zysterne reicht aus, um einen Efflux zu verursachen.

2.3.2 Funktion des elektrischen Feldes bei der Signaltransduktion

Ebenfalls wichtig bei der Signalumwandlung sind die Änderungen des elektrischen Feldes, welches die Wurzel umgibt. Bei senkrecht stehenden Pflanzen wandern positiv geladene Ionen in die Wurzelspitze ein und treten im Bereich der Zellstreckzone wieder aus. Diese Ionenbewegung wird als *apoplastischer Strom* bezeichnet; sie erzeugt das elektrische Feld, das die Wurzel umgibt. Dieses Feld ist mit einer hochempfindlichen Vibrationselektrode nachweisbar.

Wird die Pflanze horizontal gelegt, so werden die Wurzeln gravitropisch gereizt. Dabei gelangen Protonen nur noch in die untere Flanke der Wurzelspitze hinein und auf der Oberseite hinaus, wodurch sich das elektrische Feld ändert (Nultsch 1991, S. 502–503). Dieses durch die Graviperzeption entstandene Signal kann nur in der Streckungszone hinter der Wurzelspitze aufgenommen werden. Kommt das Signal an, so setzt die Krümmung ein, indem die Flanken beginnen, ungleich zu wachsen. Damit ist feststellbar, dass der Perzeptions- und Reaktionsort getrennt sind.

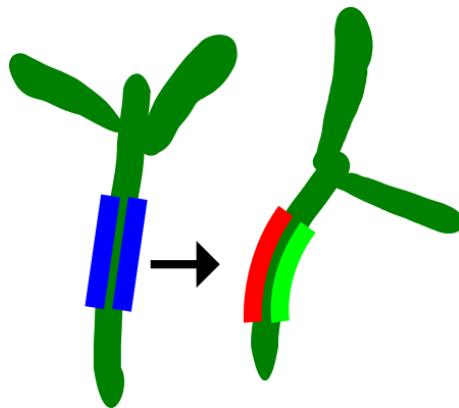


Abbildung 2.5: Flanken wachsen ungleich nach der Signaltransduktion. Linkes Bild: Flanken gleich groß (blau); rechtes Bild: unterschiedliche Größe der Flanken (rot und orange).

Für diese Reaktion sind Eindauerzeiten des Reizes wichtig. Sie liegen meist zwischen 2 und 85 Minuten. Das dauert viel länger, als die kürzesten Reizeinwirkungen, die graviperzeptorisch noch wahrgenommen werden können und unter 30 Sekunden liegen. Somit wird bei jeder kleinen und kurzen Reizeinwirkung eine Vollführung der Krümmungsbewegung vermieden. Das ist wichtig für Pflanzen, um zum Beispiel eine gravitropische Reaktion auf eine Windeinwirkung zu verhindern (Lüttge, Kluge und Bauer 1994, S. 531).

2.3.3 Funktion der Auxine im Gravitropismus

Die Ursache der Krümmung nach dem Signal ist die durch Schwerkraft hervorgerufene asymmetrische Verteilung des *Auxins* (Nultsch 1991, S. 502–503).

Auxin ist ein Pflanzenhormon, das viele Funktionen besitzt. Dabei ist die Stimulierung der Zellstreckung (nur in niedriger Konzentration) und die Seiten- und Adventivwurzelbildung besonders wichtig. Andere Funktionen dieses Hormons sind die Regulierung der

Fruchtentwicklung, die Verstärkung der Apikaldominanz, die Verzögerung des Blattfalls und die Förderung der Leitgewebedifferenzierung.

Bei Pflanzen ist das natürliche Auxin die Indolessigsäure, aber alle Verbindungen, die zu einer Streckung von Koleoptilen führen, können als Auxin bezeichnet werden.

Beim Krümmungsprozess wird Auxin in einer Richtung direkt durch das *Parenchymgewebe* (Gewebe, dessen Zellen nebeneinander liegen) transportiert: von der Sprossspitze längs der Sprossachse hin zur Basis. Dieser Transport wird als *polarer Transport* bezeichnet und ist nicht von der Schwerkraft abhängig. Der Auxintransport geschieht durch Auxin-Transportproteine, die sich am basalen Zellenende befinden. Das Hormon wird zur Nachbarzelle am Apikalende transportiert.

Auxine werden im Apikalmeristem der Sprossachse synthetisiert. Von dort aus bewegen sie sich zur Streckungszone und stimulieren dabei das Zellwachstum. Jedoch ist diese Stimulierung nur möglich, wenn die Auxinkonzentration im Bereich zwischen 10^{-8} bis 10^{-4} mol L⁻¹ liegt. Bei höherer Konzentration kann Auxin die Zellstreckung durch Induktion der Ethylenbildung hemmen.

Bei der Wachstumsantwort der Zelle auf Auxin spielen Protonenpumpen eine entscheidende Rolle. Das Auxin stimuliert die Protonenpumpen der Plasmamembranen. Es werden Protonen herausgepumpt, wodurch das Membranpotenzial erhöht wird und der pH-Wert in der Zellwand gesenkt wird. Durch die Ansäuerung der Zellwand werden *Expansine*, spezifische keilförmige Proteine, aktiviert, die die Zellwandstruktur auflockern, indem sie Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Cellulosemikrofibrillen und anderen Zellwandbestandteilen lösen.

Das erhöhte Membranpotenzial führt zur erhöhten Ionenaufnahme in die Zelle und damit zur Erhöhung des osmotischen Drucks (*Turgor*). Da die Zellwand plastisch ist, kann sich die Zelle nun ausdehnen.

Auch die Genexpression wird von Auxin sehr stark beeinflusst, sodass neue Proteine von den Zellen in der Streckungszone gebildet werden. Außerdem müssen Zellen mehr Cytoplasma und Zellwandmaterial synthetisieren, da das Wachstum aufrecht erhalten werden muss. Dies wird ebenfalls durch Auxin stimuliert (Campbell und Reece 2009, S. 1118–1120).

Bei manchen Pflanzenarten (z.B. bei Sonnenblumen *Helianthus* oder Bohnen *Phaseolus*) spielt Auxin jedoch eine untergeordnete Rolle. Die Steuerung der Krümmung dieser Pflanzenarten übernehmen *Gibberelline* (Nultsch 1991, S. 502–503).

2.3.4 Funktion der Gibberelline im Gravitropismus

Gibberelline sind, wie Auxin, Pflanzenhormone und besitzen mehrere Funktionen. Sie stimulieren die Sprossstreckung, beeinflussen Pollenentwicklung und sind für Pollenschlauch- und Fruchtwachstum sowie Samenentwicklung und Keimung verantwortlich. Außerdem bestimmen sie das Geschlecht in eingeschlechtigen Blüten und regulieren den Übergang von Jugendphasen zu Adultphasen.

Bei der Zellstreckung wirken Gibberelline mit Auxin zusammen. Gibberelline aktivieren Enzyme, die die Zellwand auflockern und Expansinen den Eintritt in die Zellwand erleichtern (Campbell und Reece 2009, S. 1122–1123).

Gravitropismus ist ein lebenswichtiges Resultat eines komplexen und zum Teil noch unerforschten Zusammenspiels von biologischen Akteuren (Lüttge, Kluge und Bauer 1994, S. 531). Dennoch lässt sich die gesamte Kaskade mit einfachen Mitteln einleiten und kontrollieren, was zum experimentellen Teil der vorliegenden Arbeit führt.

3 Experimenteller Nachweis von Gravitropismus bei *Lepidium sativum*

Der experimentelle Teil der vorliegenden Arbeit befasst sich mit dem Nachweis von Gravitropismus bei Kresse (*Lepidium sativum*) mit Einsatz eines dafür selbst konstruierten Klinostats.

3.1 Methoden

3.1.1 Pflanzen, Materialien und Geräte

Lepidium sativum (Kresse)

Für das Experiment wurde *Lepidium sativum* (Kresse) ausgewählt. Sie ist eine schnellwüchsige Pflanze und kann auf jedem lockeren, durchlässigen Gartenboden wachsen. Es wurden Samen der Firma Kiepenkerl eingesetzt.

Für die Anzucht wurden Anzucht-Quelltabs der Firma Windhager benutzt, die dafür sorgen, dass die Feuchtigkeit besser aufgenommen wird. Samen können dadurch schneller keimen und Wurzeln sich besser ausbilden, wodurch das Wachstum der Pflanze gefördert wird (Windhager HandelsgesmbH 2018).

Klinostat

Ein Klinostat ist ein Gerät, mit dem man Schwerkraft mittels Kreisbewegung simulieren kann. Ein Objekt auf einer sich drehenden Scheibe erfährt eine Schwerkrafteinwirkung in Form von Zentripetalkraft, wobei die Drehgeschwindigkeit die Stärke dieser Kraft bestimmt. Diesen Effekt macht man sich zunutze, um Schwerkraft in einer unnatürlichen Richtung für eine Pflanze zu simulieren.

Für den Versuch wurde ein Klinostat selbstständig entwickelt und konstruiert. Abbildung 3.1 zeigt die Klinostatkonstruktion schematisch und erläutert den Aufbau, während Abbildung 3.2 den fertigen Versuchsaufbau demonstriert.

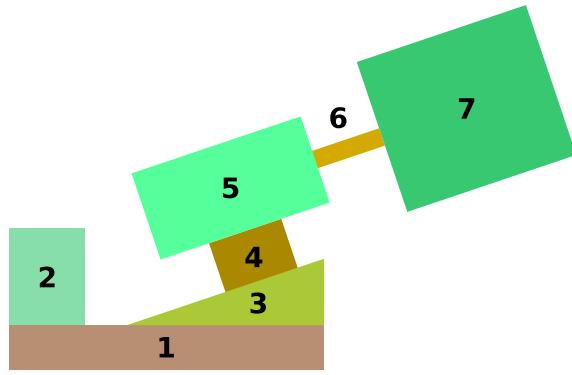


Abbildung 3.1: Schematische Konstruktion des selbst gebauten Klinostats. 1—Befestigungsplatte (Holz, Dicke: 2cm), 2—Netzteil (Modell: MW1000GS, Eingang: 230V 50Hz 28W, Ausgang: 3-6-9-12V, 1000mA 12VA(max)), 3—Holzkeil, um die Drehachse des Motors um ca. 15° senkrecht zur Ebene anzuheben, 4—Motorbefestigung, 5—Elektrogetriebemotor MFA/Como Drills 919D SERIES, single ratio gearbox 3000:1 (Untersetzung 3000:1), 4.5 - 15V DC, 6—Elektromotorwelle, 7—leere Blechdose mit Öffnung (wird mit einer Muffe an die Elektromotorwelle befestigt)s.

Weitere Materialien

Für die Anzucht wurden vier gleich große Anzuchtbehälter (zylindrische Form, ca. 6 cm hoch und 6 cm im Durchmesser) eingesetzt. Aus einem Stoffstück wurde ein Säckchen gemacht, um es mit Erde zu füllen und dann auf die Blechdose des Klinostats zu befestigen. Außerdem wurde eine alte Plastiktüte, ein Messzyylinder aus Plastik (in mL) und Gegenstände für Stützung der Behälter (z.B. Holzklotz) verwendet.

Für die Aufnahme des Experiments wurde eine Kamera (Canon PowerShot G9X II) verwendet.

3.1.2 Versuchsbeschreibung

Vorbereitung

Am ersten Tag (28.05.2018) wurde das Experiment vorbereitet. Als Versuchsort wurde der Fußboden vor dem Fenster ausgewählt, wo eine Plastiktüte ausgebreitet wurde, um Schmutz auf dem Boden zu vermeiden. Die vier Behälter wurden mit Anzuchterde gefüllt (2/3 der Becher) und mit jeweils 20 Samen bestückt. Das Säckchen wurde ebenfalls mit Anzuchterde gefüllt und mit drei Samen versehen; das Säckchen wird später an das Klinostat angebracht.



Abbildung 3.2: Vorbereitung des Experiments und vollständig aufgebautes Klinostat.

Durchführung

Nach der Einpflanzen wurden die Pflanzen täglich mit Wasser versorgt (jeweils 20 mL), Bedingungen wie Licht und Wärme wurden konstant gehalten. Veränderungen der Pflanzen wurden beobachtet und notiert.

Als erstes Ziel musste erreicht werden, dass die Pflanzen stabil wachsen.

Beim ersten Experiment mit dem Klinostat wurde das Säckchen an die Blechdose befestigt. Danach wurde das Klinostat gestartet, dass eine Umdrehung pro Minute vollführte. Zwei Tage später wurde der zweite Versuch gestartet, wo drei Behälter in verschiedenen Positionen gelegt wurden: 1. vertikal zu Boden, 2. Kopfüber, 3. gewinkelt.



Abbildung 3.3: Alle Positionen der Behälter

3.2 Ergebnisse

Nach sieben Tagen zeigten die Versuche folgende Ergebnisse:

2. Tag (29.05.2018): Die Samen sind gekeimt.

3. Tag (30.05.2018): Sprossen sind ca. 2cm gewachsen (keine Blätter). Zu diesem Zeitpunkt sind die Sprösslinge nicht geeignet, da die Haftung nicht ausreicht.

4. Tag (31.05.2018): Sprösslinge haben Blätter gebildet und sind geeignet für das Experiment, da ihre Haft nun stabil ist. Der Versuch mit dem Klinostat wird um 12.45 Uhr gestartet (Abbildung 3.4) und um 15.45 gestoppt, da die Sprösslinge gravitrop reagiert

haben, wie in der Abbildung 3.5 zu sehen ist. Gleichzeitig werden auch die drei Behälter positioniert und beobachtet.



Abbildung 3.4: Sprossen im Originalzustand



Abbildung 3.5: Gebogene Sprossen

5. Tag (01.06.2018): Über Abend haben sich die Pflanzen wieder aufgerichtet wie in Abbildung 3.6 zu sehen ist, deshalb war es möglich einen zweiten Durchlauf zu machen, aber um 12:53 (des nächsten Tages) wurde das Klinostat kaputt gefunden. Pflanzen haben aber angefangen sich sichtbar zu biegen (gelaufene Zeit ca. 1 Stunde und 8 Minuten).

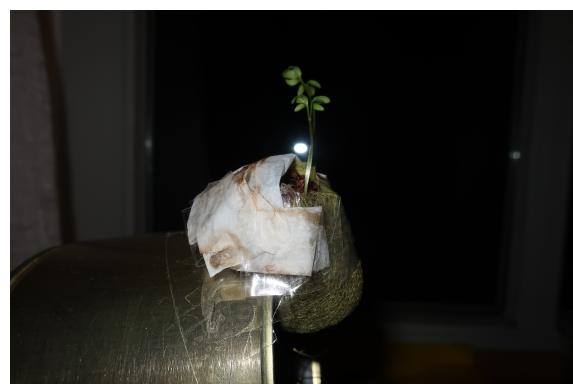


Abbildung 3.6: Wieder senkrecht wachsende Sprösslinge

6. Tag (02.06.2018): Klinostat wurde wieder repariert und nochmal gestartet. Sprossen

sind fast bis zu 3cm gewachsen.



Abbildung 3.7: Sprösslinge bis zu 3cm

7. Tag (03.06.2018): Sprossen sind über 3cm gewachsen, aber sie haben sich langsamer gekrümmmt ,wie in Abbildung 3.8 zu sehen ist, als im ersten Durchlauf.



Abbildung 3.8: Gravitrop reagierende Sprösslinge über zu 3cm. Kleinerer Spross gebogen, größerer Spross nur geneigt

Auch in den Behältern haben die Sprösslinge sich gravitrop verhalten. Hier wird zum Veranschaulichen der quer gelegte Behälter abgebildet. In Abbildung 3.9 befinden sich die Pflanzen im Originalzustand. Nach drei Tagen haben sie schon gravitrop reagiert und wachsen wieder senkrecht, wie in Abbildung 3.10 zu erkennen ist.



Abbildung 3.9: Sprösslinge am Anfang des Versuchs



Abbildung 3.10: Sprösslinge am Ende des Versuchs

3.3 Diskussion

Pflanzen reagieren gravitrop, wenn ihre Lage verändert wird, ob sie kopfüber stehen, quer liegen oder drehen. Das haben die Resultate des Experiments veranschaulicht. Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Stärke der Krümmung und der Länge der Sprossen vermuten. In den anfänglichen Beobachtungen, als die Pflanzen unter 3cm Länge besitzen, reichen wenige Stunden (1-3 Stunden), bis die Pflanzen gravitrop reagieren. Ab einer Länge von 3cm lässt sich eine geringere Stärke der Krümmung über 24 Stunden feststellen. In den Versuchen haben sich Pflanzen nicht komplett senkrecht gerichtet, sondern mehr zum Licht gewandt. Das liegt daran, dass Pflanzen sich immer zum Licht richten, um Photosynthese zu betreiben. Es kann angenommen werden, dass Pflanzen Gravitropismus und Phototropismus vereinen. Es ist nicht auszuschließen, dass das Klinostat die Krümmung durch seine Geschwindigkeit beeinflussen kann.

Ist auch der Versuch mit dem Klinostat, denn ein weiterer Faktor, der die Krümmung beeinflussen könnte, ist die Geschwindigkeit. In diesem Experiment haben sich die Sprösslinge einmal pro Minute gedreht. Ob sie sich schneller krümmen, wenn die Geschwindigkeit erniedrigt wird oder ob sie sich nicht krümmen, weil der Klinostat die Pflanzen zu schnell dreht, kann als weiterführende Idee ausgeführt werden.

4 Fazit und Ausblick

Die Versuche haben nachgewiesen, dass es Gravitropismus in Pflanzen tatsächlich gibt und dass mehrere Faktoren diesen Prozess beeinflussen können. Es ist aber deutlich erkennbar, dass der Prozess des Gravitropismus aus drei Schritten besteht: Zuerst erfolgt die Reizaufnahme, dann die Signalübermittlung und zuletzt die Krümmung. Zwischen diesen Schritten erfolgen Prozesse, die teilweise noch nicht ganz geklärt sind, aber uns helfen den Gravitropismus besser zu verstehen.

Diese Prozesse zu erforschen, die während der gravitropischen Reaktion erfolgen, ist eine der vielen Aufgaben mit der sich Naturwissenschaftler heute befassen, da die gravitropische Fähigkeit der Pflanzen, zum Beispiel im Bereich der Landwirtschaft erforscht werden(Chen, Rosen und Masson 1999, S. 343). Hier anzuführen sind: Markus Braun; Zygmunt Hejnowicz; Rujin Chen, Elizabeth Rosen und Patrick H. Masson.

5 Literatur

- Campbell, Neil A. und Jane B. Reece (2009). *Biologie*. 8., aktualisierte Aufl. München [u.a.]: Pearson Studium.
- Chen, Rujin, Elizabeth Rosen und Patrick H. Masson (1999). „Gravitropism in Higher Plants“. In: *Plant Physiology* 120.2, S. 343–350.
- Jacob, Friedrich, Eckehart J. Jäger und Erich Ohmann (1994). *Botanik*. 4., neu bearb. Aufl. Jena: Fischer.
- Lüttge, Ulrich, Manfred Kluge und Gabriela Bauer (1994). *Botanik*. 2. Aufl. Weinheim [u.a.]: VCH.
- Masson, Patrick H. u. a. (2002). „*Arabidopsis thaliana*: A Model for the Study of Root and Shoot Gravitropism“. In: *The Arabidopsis Book*, S. 1–23.
- Nultsch, Wilhelm (1991). *Allgemeine Botanik*. 9., neubearb. Aufl. Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Strasburger, Eduard und Peter Sitte, Hrsg. (1991). *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. 33. Aufl. Stuttgart [u.a.]: Fischer.
- Windhager HandelsgesmbH (2018). *Produktbeschreibung Anzucht-Quelltabs*. URL: <http://www.windhager.eu/de/garten/anzucht/toepfe-quelltabs/anzucht-quelltabs-49892/> (besucht am 04.11.2018).

6 Abbildungsverzeichnis

2.1	Grober Aufbau der Pflanze, links als Keimling, rechts als ausgewachsene Pflanze. Beschriftung: 1—Wurzelspitze, 2—Hauptwurzel mit Seitenwurzeln der ersten Ordnung, 3—Sprossachse, 4—Sprossspitze, 5—Koleoptil (Schutzorgan).	5
2.2	Gravitrop reagirende <i>Arabidopsis thaliana</i> (Masson u. a. 2002, S. 5). Teilabbildung A zeigt den Zustand am Anfang, Teilabbildung B zeigt den Zustand nach vollzogener gravitropischer Reaktion.	6
2.3	Statolithen (Chen, Rosen und Masson 1999, S. 345). Teilabbildung a zeigt eine Mikroskopaufnahme von Statolithen bei <i>A. thaliana</i> . Teilabbildungen b und c zeigen die gravitrope Wirkungsweise von Statolithen, die auf Umlagerung der Amyloplasten bei Veränderung des Schwerkraftvektors beruht.	7
2.4	Querlegen einer Wurzel der Kresse (<i>Lepidium sativum</i> . Es erfolgt eine Graviperzeption, in der die Entlastung des Drucks der Membran des ER zu erkennen ist (Lüttge, Kluge und Bauer 1994, S. 533).	8
2.5	Flanken wachsen ungleich nach der Signaltransduktion. Linkes Bild: Flanken gleich groß (blau); rechtes Bild: unterschiedliche Größe der Flanken (rot und orange).	9
3.1	Schematische Konstruktion des selbst gebauten Klinostats. 1—Befestigungsplatte (Holz, Dicke: 2cm), 2—Netzteil (Modell: MW1000GS, Eingang: 230V 50Hz 28W, Ausgang: 3-6-9-12V, 1000mA 12VA(max)), 3—Holzkeil, um die Drehachse des Motors um ca. 15° senkrecht zur Ebene anzuheben, 4—Motorbefestigung, 5—Elektrogetriebemotor MFA/Como Drills 919D SERIES, single ratio gearbox 3000:1 (Untersetzung 3000:1), 4.5 - 15V DC, 6—Elektromotorwelle, 7—leere Blechdose mit Öffnung (wird mit einer Muffe an die Elektromotorwelle befestigt)s.	13
3.2	Vorbereitung des Experiments und vollständig aufgebautes Klinostat.	14
3.3	Alle Positionen der Behälter	14
3.4	Sprossen im Originalzustand	15
3.5	Gebogene Sprossen	15
3.6	Wieder senkrecht wachsende Sprösslinge	15
3.7	Sprösslinge bis zu 3cm	16
3.8	Gravitrop reagierende Sprösslinge über zu 3cm. Kleinerer Spross gebogen, größerer Spross nur geneigt	16
3.9	Sprösslinge am Anfang des Versuchs	17
3.10	Sprösslinge am Ende des Versuchs	17

7 Schlusserklärung

Ich erkläre, dass ich die Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführte Quellen und Hilfsmitteln benutzt habe.

.....,

Ort

Datum

.....

Unterschrift des Schülers / der Schülerin