

[JUNGE] wissenschaft

JungforscherInnen publizieren
online | *peer reviewed* | original



Biologie &
Medizin

In der Falle

Untersuchungen zur Elektrophysiologie der
Venusfliegenfalle

Es wurde eine Messmethode entwickelt, um störungsfrei Aktionspotentiale und deren Ausbreitungsgeschwindigkeit an der Venusfliegenfalle zu messen. Es wurde nachgewiesen, dass sich motorische Verschlusszellen auch auf den Fangblättern der Pflanze befinden. Es ist erstmalig gelungen, die Fangblätter der Pflanze durch ein extern angelegtes analoges Aktionspotential zum Schließen zu bringen.

DIE JUNGFORSCHER



Christoph Schütze (2002)

Sarah Schnöge (2001)

Fabian Obermair (2002)

Hölty-Gymnasium-Celle

Eingang der Arbeit:

12.7.2018

Arbeit angenommen:

11.2.2019



In der Falle

Untersuchungen zur Elektrophysiologie der Venusfliegenfalle

1. Einleitung und Motivation

Bei Tieren und Menschen ermöglichen andauernde elektrische Ströme in den Nervenzellen Bewegungen, Sehen, Hören und viele andere wichtige Funktionen und Reaktionen. Pflanzen dagegen stehen immer an der gleichen Stelle, bewegen sich kaum und wachsen langsam vor sich hin. Da liegt der Verdacht nahe, dass sie keine schnellen Stromstöße generieren. Weit gefehlt, denn auch Pflanzen setzen auf schnelle elektrische Signale. Bereits im Jahr 1873 entdeckte der britische Physiologe Sir John Scott Burdon-Sanderson, dass die Venusfliegenfalle ihre Fangblätter mithilfe von elektrischen Signalen, sogenannten Aktionspotentialen, steuert [7].

Die Venusfliegenfalle ist eine fleischfressende Pflanze, die bei Reizung ihrer haarfeinen Sinnesborsten ein Aktionspotential erzeugt, das sich mit hoher Geschwindigkeit über das gesamte Blatt ausbreitet. Mithilfe noch weitgehend

unbekannter physiologischer Prozesse klappen ihre Fangblätter von einer konvexen in eine konkave Form schlagartig zusammen, um Insekten, Ameisen oder Spinnen zu fangen.

Berichte aus den letzten Jahren, die der Pflanze sogar ein Gehirn oder tierische Nerven zusprachen, gehören allerdings ins Reich der Legenden.

Nach einer Literaturrecherche [1] fanden wir heraus, dass schon allein das Messen von Aktionspotentialen an der Pflanze nicht einfach ist [2],[3]. Auf der anderen Seite fallen die elektrischen Vorgänge bei der Venusfliegenfalle besonders deutlich aus. Wir steckten uns das Ziel, die Aktionspotentiale nicht nur zu messen, sondern in eine digitale Form zu wandeln, um sie genauer zu analysieren. Weitere Ziele waren, die Falle durch Anlegen eines digitalen Spannungsimpulses sowie eines künst-

lich erzeugten analogen Aktionspotentials, die mithilfe eines *Mikrocontrollers* erzeugt wurden, dazu zu bringen, die Fangblätter zu schließen.

Weitere Aspekte waren für uns, die Schließgeschwindigkeit der Fangblätter zu messen, herauszufinden wie sich die Aktionspotentiale über die Blätter ausbreiten und wo sich die motorischen Verschlusszellen der Pflanze befinden.

2. Grundlagen

2.1 Aufbau einer Pflanzenzelle

Pflanzenzellen sind durchschnittlich 50 bis 100 μm groß und bilden oft feste Verbände von dicht an dicht liegenden Zellen. Aufgrund der Auflösungsgrenzen des Lichtmikroskops kann man meist nur den Zellkern, das *Zytoplasma* und, als hauchdünne Linie, die Zellmembran sehen. Hinzu kommen noch die meist groß ausgebildete *Vakuole* und eine hauchdünne Zellwand. Der Zellkern steuert die Lebensfunktion der Zelle und gibt die Erbinformation weiter. In das Zellplasma sind die Organellen eingebettet und es regelt die Aufrechterhaltung des Zellinnendru-

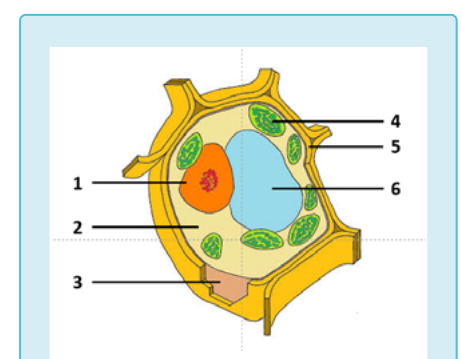


Abb. 1: Die lichtmikroskopisch erkennbaren Bestandteile einer pflanzlichen Zelle.
1 Zellkern,
2 Zellplasma (Zytoplasma),
3 Zellmembran,
4 Chloroplast,
5 Zellwand (aus Zellulose),
6 Zellsaft-Vakuole [4]

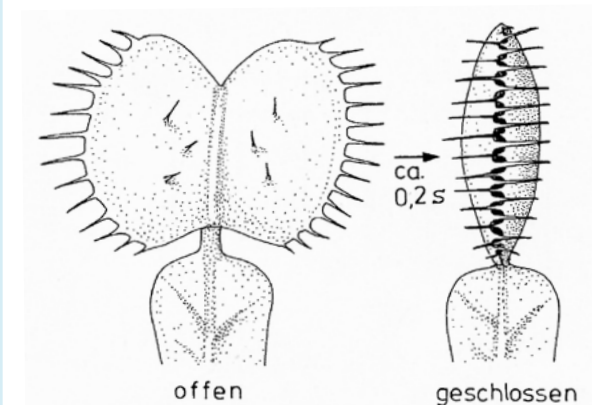


Abb. 2: Anordnung der Sinnesborsten bei der Venusfliegenfalle [6]

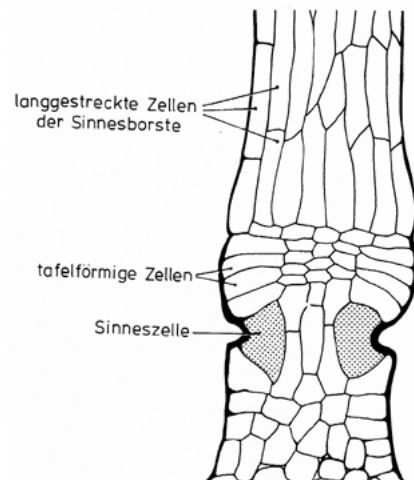


Abb. 3: Anordnung der Sinneszellen an der Basis der Sinnesborsten [6]

ckes. Die Zellmembran bestimmt den Stoffaustausch zwischen der Zelle und der Außenwelt, indem sie Schranken für den Durchtritt von Stoffen bildet [4]. Sehr kleine Moleküle, wie z. B. Wasser, können diese Membran immer durchdringen, größere Moleküle wie z. B. Ionen jedoch nicht. Damit dies dennoch gelingt, gibt es besondere Transportvorgänge durch die Membran. Regelt wird dieser Vorgang von Membranproteinen, die nur ganz bestimmte Moleküle oder Ionen passieren lassen [5].

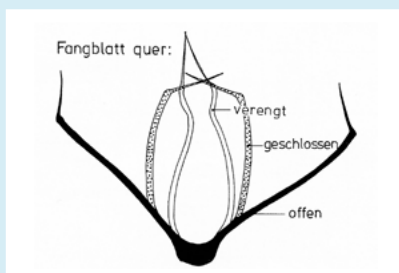
Das Chloroplast ist an der Fotosynthese maßgeblich beteiligt und die Zellwand dient der Festigung der Zelle. Die mit Zellsaft gefüllte Vakuole ist die größte Zellorganelle und sorgt für den sogenannten Turgordruck, mit der es der Zelle möglich wird, Wasser aus der Um-

gebung aufzusaugen. Darüber hinaus werden Vakuolen von der Pflanze auch als Speichermedium genutzt, etwa um Giftstoffe vom Rest der Zelle zu isolieren oder nützliche Stoffe zu speichern. [Abb. 1](#) zeigt die wichtigsten Bestandteile einer Pflanzenzelle.

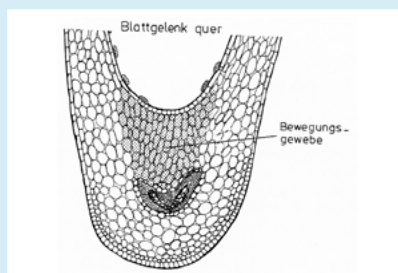
In dem Pflanzengewebe sind die einzelnen Zellen durch Plasmodesmen, die in die Zellmembran eingebettet sind, miteinander verbunden. Plasmodesmen gelten als Kontaktstelle zwischen unterschiedlichen Pflanzenzellen, sodass ein interzellulärer Stoffaustausch möglich wird. Die Bewegung, die die Fangblätter der Venusfliegenfalle zusammenklappen lässt, erfolgt aufgrund von Ionenpumpenmechanismen und erregungsbedingten Durchlässigkeitsänderungen der Zellmembran [6].

2.2 Die Venusfliegenfalle

Die Venusfliegenfalle (lat.: *Dionaea muscipula*) gehört zur Familie der Sonnentaugewächse. Sie stammt aus den Mooren der sandigen Kiefernwaldgebiete von Carolina, USA [7]. Die Fangblätter dieser Pflanze sind ein sehr schnell reagierender Fangapparat für kleine Insekten. Die beiden Blatthälften sind in Höhe der Mittelrippe durch ein Gelenk verbunden, das äußerst schnelle Bewegungen ausführen kann. Für die Reizaufnahme sind sehr feine Sinnesborsten auf der Blattoberseite verantwortlich. Auf jedem Fangblatt sitzen drei solcher Borsten. Eine Berührung der Sinnesborste verursacht durch die Hebelwirkung eine Verformung großer plasmareicher Zellen. Dadurch werden diese Sinneszellen depolarisiert und ein Aktionspotential ausgelöst. Ein einziges Aktionspotential löst dabei keinen Faltenschluss aus. Erst wenn innerhalb der nächsten 20 Sekunden eine zweite Reizung an einer der Sinnesborsten erfolgt, wird im motorischen Gewebe die Schließbewegung ausgelöst. Das Aufaddieren der Einzelreize hängt von der Frequenz der Reize und der Zeit dazwischen ab und geschieht nicht in den Sinneszellen, sondern im motorischen Gewebe selbst. Die Information muss also von den Sinneszellen an das motorische Gewebe weitergegeben und dort gespeichert.



a)



b)

Abb. 4: Darstellung des Bewegungsgewebes [6]

chert werden [6]. [Abb. 2](#) zeigt die Anordnung der Sinnesborsten auf den Blattoberseiten.

[Abb. 3](#) zeigt die langgestreckten Zellen der Sinnesborsten und die Anordnung der Sinneszellen hinter einer deutlichen Einkerbung in der Nähe der Blattoberfläche.

Der Bewegungsmechanismus der Venusfliegenfalle wird durch die Turgordruckänderung des Bewegungsgewebes ausgelöst. Bei Erregung verlieren die Zellen sehr schnell ihren Turgordruck [8]. Dadurch können sich die Zellen der Blattunterseite stark ausdehnen. [Abb. 4](#) soll diesen Vorgang verdeutlichen.

2.3 Aktionspotentiale bei Pflanzen und deren Messmethoden

In allen lebenden Organismen lassen sich elektrische Ströme und elektrische Spannungsunterschiede (Potentialdifferenzen) nachweisen. Hierfür sind fast immer positiv oder negativ geladene Ionen als Ladungsträger verantwortlich. Sie haben im Vergleich zu Elektronen eine deutlich größere Masse und auch eine deutlich größere Ausdehnung. Die Beweglichkeit von Ionen in einer wässrigen Lösung ist deshalb um

den Faktor 10 000 geringer als die Beweglichkeit von Elektronen in Metallen. Entsprechend haben Elektrolyte einen deutlich höheren Widerstand als metallische Leiter. Elektrische Potentiale und elektrische Ströme können vor allem an den Zellmembranen gemessen werden, die das Zellinnere vom Zelläußeren trennen [6].

Das negative Ruhepotential der Zellmembran einer Pflanzenzelle hat einen ungefähren Wert von 80 mV, wobei das Zellinnere gegenüber dem -äußeren negativ geladen ist. Es wird durch einen ständigen Transport von K^+ - und Cl^- -Ionen von außen nach innen konstant gehalten. Wird eine Zelle jedoch hinreichend gereizt, führt dies zu einer Depolarisierung und einer damit verbundenen Durchlässigkeitsänderung der Zellmembran. Bei einer Pflanzenzelle nimmt der Transportwiderstand der Zellmembran für K^+ - und Cl^- -Ionen ab, so dass die Cl^- -Ionen nach außen fließen. Dadurch wird das Zellinnere positiv [6]. Der Transportwiderstand für Cl^- -Ionen ist in [Abb. 5](#) durch die unterschiedliche Dicke der Zellmembran (Plasmalemma) dargestellt.

Durch den nachfolgenden K^+ -Ionen-Ausstrom geht das Aktionspotential zu-

rück. Schließlich erreicht die Zellmembran ihre ursprüngliche Durchlässigkeit und durch den andauernden K^+ - und Cl^- -Ionen-Transport wird der Gleichgewichtszustand des Ruhepotentials wiederhergestellt. Der vorübergehende Verlust von Kaliumchlorid führt zu einer Änderung der Gesamtkonzentration (osmotischer Wert). Veränderungen im osmotischen Druck können zu sogenannten Turgorbewegungen führen, wie sie auch bei der Venusfliegenfalle vorliegen. Die vorübergehende lokale Depolarisierung der Zellmembran breitet sich dabei über die gesamte Blattoberfläche wellenförmig aus [6].

Zellen und Gewebe sind nur schwache Stromquellen, die man beim Messen nur wenig belasten darf. Außerdem ist das bioelektrische Nutzsignal von 50 Hz Störsignalen aus dem Versorgungsnetz überlagert. Daher sollte der Eingangswiderstand des Messverstärkers sehr hoch (mind. 10^7 Ohm) und das Nutzsignal möglichst vollständig von Störsignalen befreit sein. In der elektrophysiologischen Messtechnik verwendet man daher einen sogenannten Differenzverstärker. Dieser ist so aufgebaut, dass gleichgroße Eingangssignale, die gleichzeitig auf dem positiven und negativen Eingang auftreten, subtrahiert werden. Treffen die Signale zu unterschiedlichen Zeiten an den beiden Eingängen ein, wird deren Differenz jedoch verstärkt. Da elektromagnetische Störsignale aus dem Versorgungsnetz sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, treffen diese gleichzeitig an den Eingängen des Differenzverstärkers ein und werden daher nicht verstärkt. Die elektrischen Signale in Organismen breiten sich jedoch nur sehr langsam aus und kommen daher mit einer Zeitdifferenz an den Eingängen des Differenzverstärkers an. Das Nutzsignal wird verstärkt [9].

Bei den Messmethoden (auch häufig als Ableitverfahren bezeichnet) unterscheidet man zwischen der „differenziellen Messung“ und der „unipolaren Messung“. Bei der differenziellen Messung

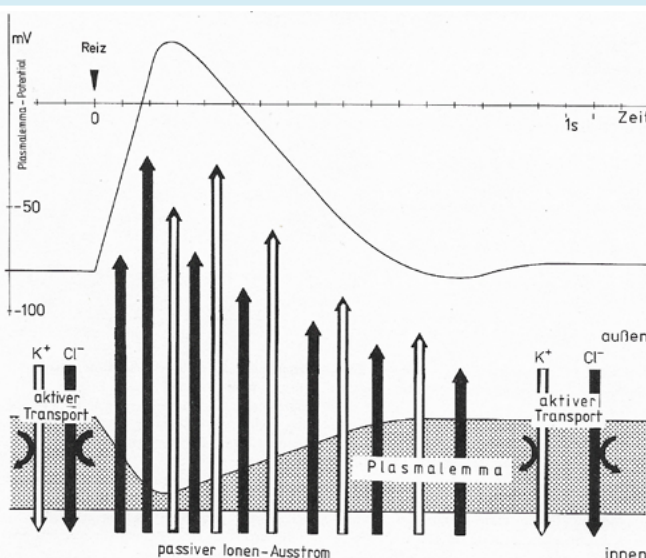


Abb. 5: Aktionspotential einer Pflanze [6]



entsteht aus zwei unipolaren Eingangssignalen ein bipolares Ausgangssignal. Bei der unipolaren Messung wird die Elektrode des negativen Eingangs mit dem Bezugspunkt (Masse) verbunden. Dadurch bleibt das Eingangssignal in seiner Form erhalten [6]. Bei unseren Versuchsaufbauten haben wir beide Messmethoden verwendet.

3. Ablauf der Versuche

Zur Messung der Aktionspotentiale war es nötig, einen möglichst guten elektrischen Kontakt zu den Fangblättern der Pflanze zu realisieren. Eine oft verwendete Messmethode sind Messelektroden aus dünnen Glasröhrchen, die mit einem Elektrolyten gefüllt sind. Hier wird zum Beispiel eine Kaliumchlorid-, Kaliumnitratlösung oder auch eine Natriumchloridlösung verwendet. Das Glasröhrchen der Messelektrode ist am Ende zu einer extrem feinen Spitze ausgezogen, deren Durchmesser bei wenigen Mikrometern liegt. Der Durchmesser unserer Glasröhrchenspitze war jedoch viel zu groß. Der elektrische Widerstand des verwendeten Elektrolyten war ebenfalls viel zu hoch und führte zu starken Einstreuungen von Störsignalen (50 Hz). Genaue Angaben hierzu sind in Kapitel 4.1 zu finden.

Dann versuchten wir, unter Verwendung von EKG-Klebeelektroden und ei-

nes EKG-Sensors die Aktionspotentiale zu messen. Durch den relativ schlechten Kontakt zur Blattoberfläche waren auch hier die Messsignale sehr stöbehaftet. Auch eine Abschirmung des Messaufbaus durch ein Metallgehäuse aus Mu-Metall brachte nicht den gewünschten Erfolg.

Daher haben wir nach dünnen Metallelektroden gesucht und sind auf Minutiennadeln aus Edelstahl gestoßen. Diese haben einen sehr kleinen Durchmesser und sind so niederohmig, dass Störsignale nur begrenzt einstreuen können.

Um die Edelstahlnadeln möglichst genau in das Blatt einstecken zu können, bauten wir ein Positioniersystem. Das System besteht aus einem LEGO-EV3-Steuerungscomputer und zwei Linear-

Messelektrode in vertikaler und horizontaler Richtung im Mikrometerbereich bewegt werden.

Unter Verwendung der Minutiennadeln und des EKG-Sensors konnten wir erstmalig brauchbare Aktionspotentiale messen. Nach einigen Wochen stellte sich jedoch heraus, dass der EKG-Sensor oftmals übersteuert war und daher zum Schwingen neigte.

Deshalb ersetzten wir den EKG-Sensor durch einen Differenzverstärker und ein digitales Speicheroszilloskop der Fa. Tektronix. Mit diesem Messsystem erhielten wir hervorragende Messdaten und konnten gleichzeitig die Messdaten in Echtzeit betrachten.

Nachdem wir nun ein Messsystem gefunden hatten, entwickelten wir einen

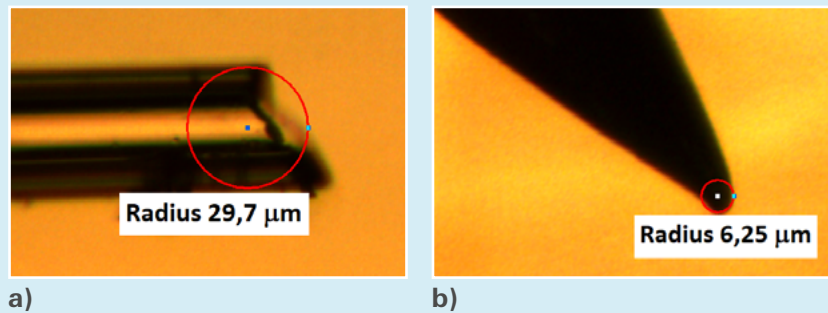


Abb. 6: Spitze der Glaskapillarelektrode (a) und Spitze der Minutiennadel (b)



Abb. 7: EKG-Klebeelektroden und deren Anschluss an den EKG-Sensor

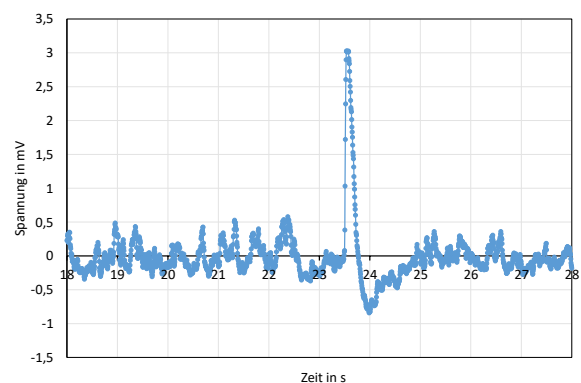


Abb. 8: Das mit EKG-Klebeelektroden gemessene Aktionspotential weist erhebliche Störsignale auf.

Impulsgenerator, der uns einstellbare digitale Impulse lieferte, die wir zum fremdgesteuerten Schließen der Fallenblätter benutzten. Hiermit fanden wir die Impulshöhe und Impulsdauer heraus, die zum Schließen der Fangblätter nötig ist.

Nun konnten wir uns unserem Hauptziel, dem Schließen der Falle, mit einem künstlich erzeugten Aktionspotential, zuwenden. Hierzu filterten wir die gemessenen Originaldaten zunächst digital, um Reststörungen zu beseitigen. Dann stellten wir, mithilfe eines selbst entwickelten Digital-Analog-Wandlers, aus diesem Signal wieder ein Analogsignal her. Dieses konnte in seiner Amplitude noch verändert werden.

Anschließend maßen wir noch die Schließgeschwindigkeit der Venusfliegenfalle. Hierzu verwendeten wir eine Hochgeschwindigkeitskamera, die mit 240 Bildern pro Sekunde arbeitet.

Bei einer Diskussion mit Fachleuten [3] wurde die Vermutung geäußert, dass sich auch auf den Fangblättern motorische Verschlusszellen befinden. Um dies nachzuweisen, untersuchten wir die Ausbreitung von Aktionspotentialen über beide Fangblätter genauer. Abschließend bestimmten wir aus den Messdaten noch einige Blattparameter, wie die Blattkapazität und den Blattwiderstand.

4. Aufbau der Versuche

4.1 Messung des Aktionspotentials

Zu Beginn mussten geeignete Messelektroden gefunden werden. Dazu zogen wir Glaskapillaren über einem Bunsenbrenner aus und füllten diese anschließend mit einem Elektrolyten, um eine leitfähige Verbindung herzustellen. Als Alternative standen Minutiennadeln zur Verfügung. Untersuchungen unter dem Mikroskop ergaben, dass die Glaskapillaren einen Spitzendurchmesser von $60\text{ }\mu\text{m}$, die Edelstahl-nadeln dagegen nur von $12\text{ }\mu\text{m}$ hatten (siehe Abb. 6).

Da wir zu diesem Zeitpunkt noch nicht wussten, ob wir das Aktionspotential intrazellulär oder interzellulär messen würden, entschieden wir uns für die Verwendung von Minutiennadeln. Außerdem war der Widerstand des Elektrolyten mit $100\text{ k}\Omega$ viel zu hoch.

Zunächst begannen wir mit der Messung unter Verwendung eines EKG-Sensors, EKG-Klebeelektroden und eines Labquest2-Messdatenanalysegeräts. Abb. 7 zeigt die Befestigung der Klebeelektroden an einem Pflanzenblatt.

Die Methode führte zwar schnell zur gewünschten Messung eines Aktionspotentials, jedoch gab es, aufgrund

des nur mäßigen Kontaktes zum Blatt, erhebliche eingestreute Störsignale. Abb. 8 zeigt das gemessene Aktionspotential.

Da die gemessenen Potentiale mit 3 mV recht klein waren, die Klebeelektroden nur sehr schwer zu befestigen waren und das Eigengewicht der Sensorklemmen die Fallenblätter stark nach unten zogen, entschlossen wir uns, in Zukunft nur noch Minutiennadeln zu verwenden.

Um die Minutiennadeln zielgenau in das Blatt einstecken zu können, benötigten wir ein präzises Positioniersystem. Dazu entwickelten wir eine Konstruktion bestehend aus einem LEGO-EV3-Steuerungscomputer, einem hochgenauen Linearmotor, an dem die Messelektroden befestigt waren, und einem weniger genauen Linearmotor zur Höhenverstellung. Mit vier Tastern konnten nun die Messelektroden in X- und Y-Richtung frei bewegt werden (Abb. 9).

Die gemessenen Aktionspotentiale unter Verwendung der Minutiennadeln waren nun deutlich weniger störbehaftet (siehe Abb. 10).

Nur selten gelang es uns, ein Signal zu messen, wie es in Abb. 10 zu sehen ist. Bei fast allen Messungen traten wilde Schwingungen im Messsignal auf. Wir

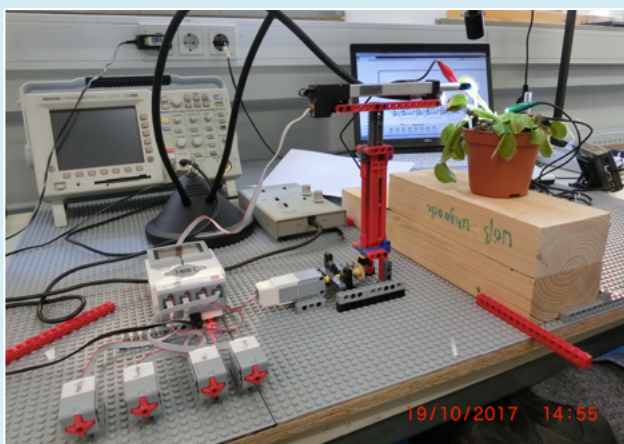


Abb. 9: Gesamtaufbau bestehend aus Positioniersystem, EKG-Sensor und Labquest2-Messdatenanalysegerät

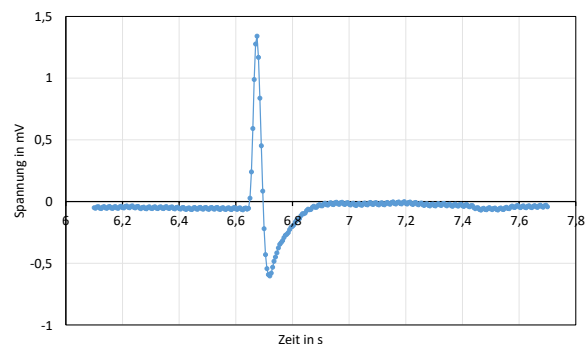


Abb. 10: Gemessenes Aktionspotential unter Verwendung von Minutiennadeln

fanden heraus, dass dies an der zu großen Eingangsspannung des EKG-Sensors lag. Sie durfte, laut Datenblatt, maximal 4 mV betragen.

Daher änderten wir unseren Messaufbau und setzten statt des EKG-Sensors von nun an einen Differenzverstärker der Fa. Tektronix und einen digitalen Speicheroszilloskopen der gleichen Firma ein. Nun erhielten wir störungsfreie Signale mit Amplituden von 50 mV und höher (siehe Abb. 11).

Es fällt auf, dass das Aktionspotential negativ ist. Dies ist verständlich, da wir mit unserer Messmethode nicht innerhalb einer Zelle, sondern lediglich ein Oberflächenpotential messen. Wie in Kapitel 2.3 bereits beschrieben, strömen zuerst negative Cl^- -Ionen aus der Sinneszelle aus. Ihnen folgen dann die positiv geladenen K^+ -Ionen, bis ein Aus-

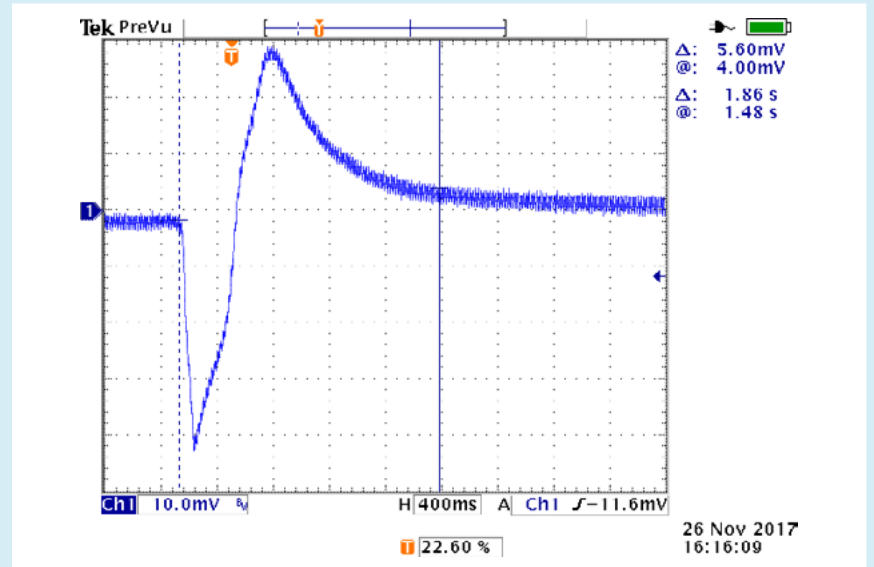


Abb. 11: Gemessenes Aktionspotential unter Verwendung von Minutiennadeln, eines Differenzverstärkers und eines digitalen Speicheroszilloskopen

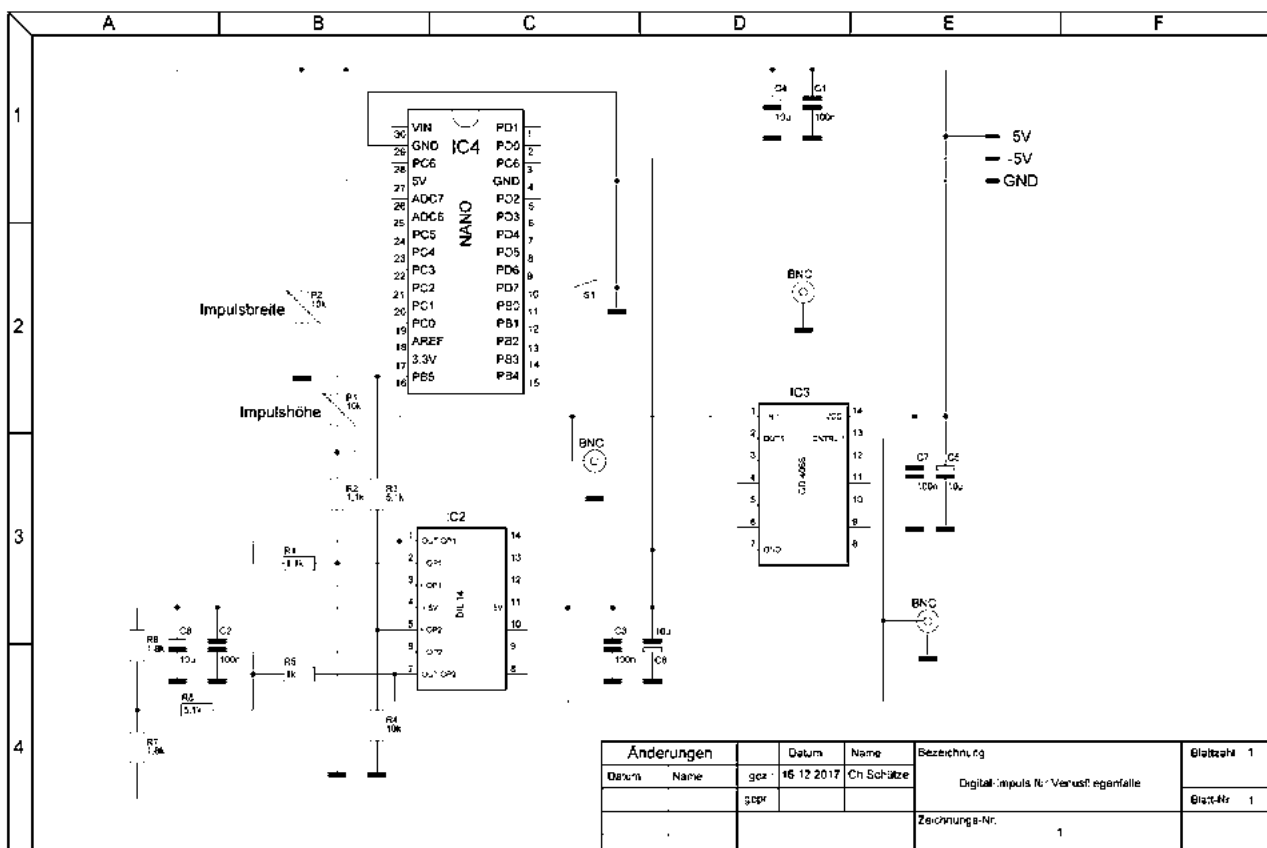
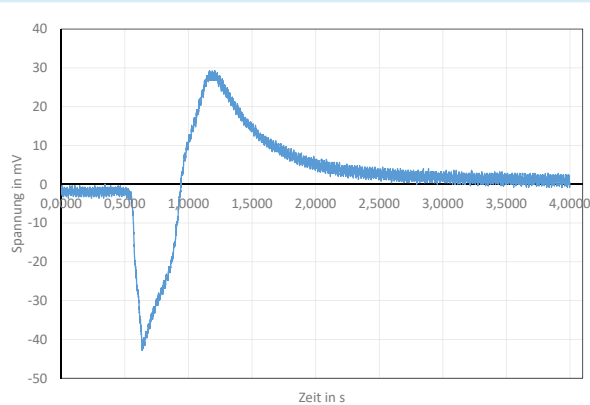


Abb. 12: Schaltbild für die digitale Impulserzeugung

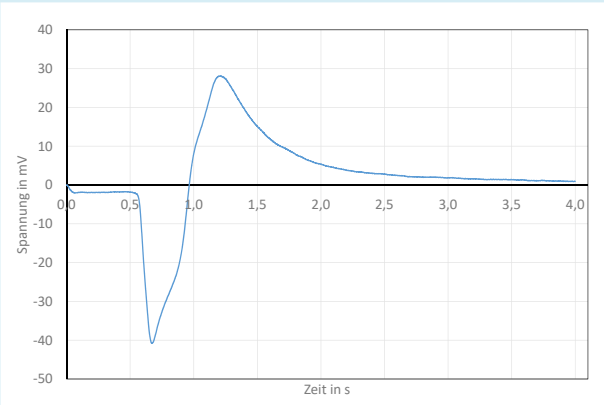
gleich stattgefunden hat. Der Grund, warum der EKG-Sensor die falsche Po-

larität misst, liegt an der internen Verdrahtung des Sensors. Hier wurden der

positive und der negative Eingang vertauscht, damit sich im zugehörigen Gra-



a)



b)

Abb. 13: Aktionspotential der Venusfliegenfalle, a) gemessen
b) nach Filterung mit einem Tiefpass ($f = 16 \text{ Hz}$)

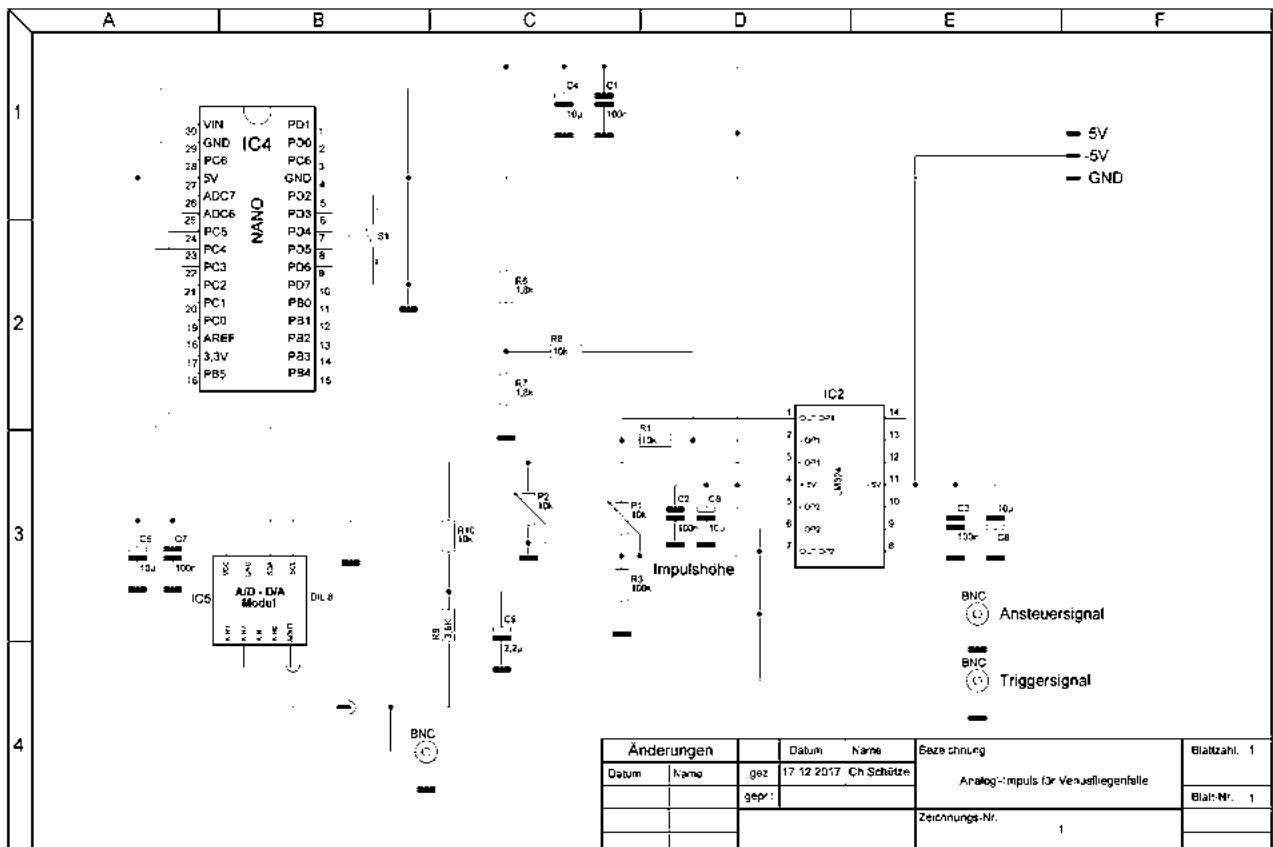


Abb. 14: Schaltbild für die analoge Aktionspotential-Erzeugung



phen ein bekanntes EKG-Signal ergibt.

Ein weiterer Vorteil unserer neuen Messmethode lag in deren Echtzeitmessung. Wir konnten nun beim Einstechen in das Fangblatt einen kleinen kurzzeitigen Spannungssprung beobachten, der uns die Gewissheit gab, dass die Messelektrode Kontakt zum Fangblatt hatte.

4.2 Schließen der Fallenblätter durch ein externes digitales Signal

Bei diesem Versuchsaufbau erzeugten wir mithilfe eines Mikrocontrollers und einer nachfolgenden elektronischen Schaltung einen digitalen Impuls, der sich in seiner Amplitude und seiner Zeitdauer mithilfe von Schieberegler verändert ließ. Ziel dieses Aufbaus war es, herauszufinden, wie lang und wie groß ein Aktionspotential sein muss, damit die Fangblätter der Venusfliegenfalle sich schließen.

Um weiterhin herauszufinden, ob nur der angelegte Impuls die Falle schließt, oder ob dieser eventuell andere Aktionspotentiale in der Pflanze auslöst, haben wir auch dazu eine geeignete Schaltung entwickelt. Nur während der Zeitdauer des erzeugten Impulses wird dieser auf das Pflanzenblatt geschaltet. Davor und danach schaltet sich die Impulsquelle ab, und es wird gemessen, ob noch andere elektrische Vorgänge in der Pflanze stattfinden. Die

Umschaltung zwischen Impulszuführung und Messung liegt im Zeitbereich von ca. 100 ns. Mit einem Taster kann der gewünschte, vorher eingestellte Impuls ausgelöst werden. Abb. 12 zeigt das Schaltbild der entwickelten Schaltung.

Beim Platinenlayout wurde viel Wert auf eine ausreichende Masseführung und die elektromagnetische Abschirmung der Anschlussignale gelegt. Das verhindert das Einkoppeln von Störsignalen erheblich.

Als Mikrocontroller verwendeten wir einen Arduino-Nano. Dieser bestimmt die Zeitdauer des digitalen Impulses. Aus Platzgründen ist der Programmcode hier nicht aufgeführt. Für die Umsetzung des digitalen Impulses auf die gewünschte Höhe haben wir zwei Operationsverstärker verwendet. Die schnelle Umschaltung zwischen Impulsanschaltung und Messung am Pflanzenblatt erledigt ein Analogschalter. Alle Zuleitungen zur Pflanze sind durch an der Masse angeschlossene abgeschirmte Leitungen realisiert.

4.3 Schließen der Fallenblätter durch ein original analoges Aktionspotential

In diesem Versuchsaufbau wollten wir untersuchen, ob ein vorher an der Pflanze gemessenes Aktionspotential

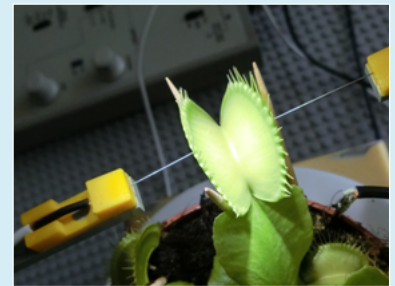


Abb. 15: Messung des Aktionspotentials auf beiden Fangblattseiten

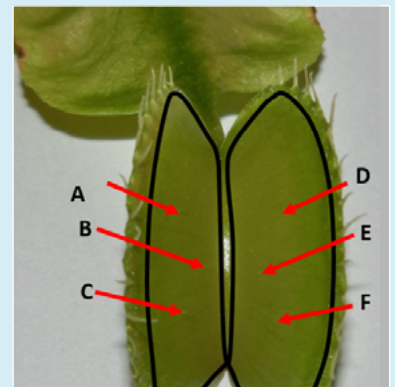


Abb. 16: Lage der einkreisenden Leitbündel

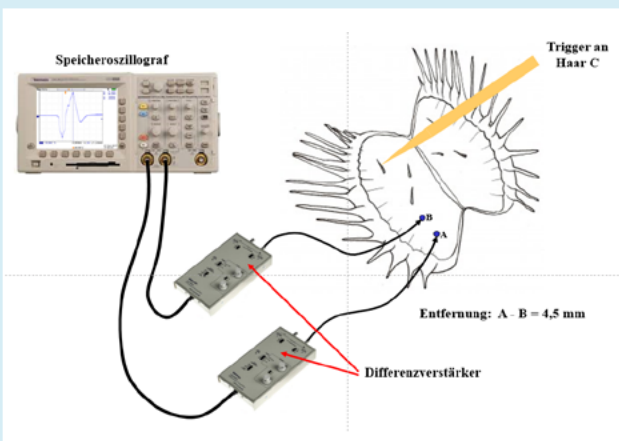


Abb. 17: Messaufbau zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit

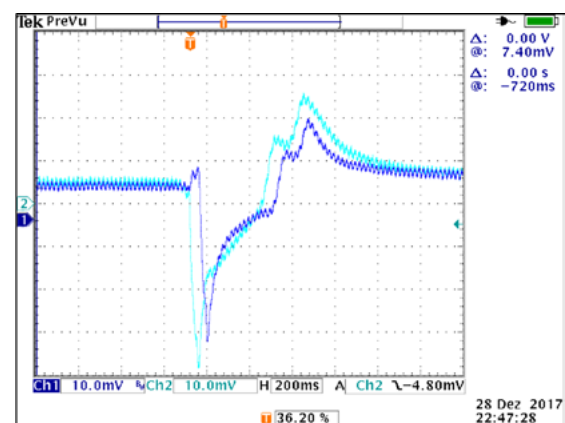


Abb. 18: Aufgenommene Aktionspotentiale, Punkt A (hellblaues Signal), Punkt B (blaues Signal)

als künstlich erzeugte Kopie die Fangblätter zum Schließen bringt.

Zunächst lasen wir ein gemessenes Aktionspotential, ähnlich dem von [Abb. 11](#), als digitale Information aus dem Speicheroszillografen aus und importierten es in das Datenanalyseprogramm „Logger-Pro“. Diese Information war genau 10000 Datenworte lang, was 4 s Aufnahmezeit entspricht. Mithilfe von Logger-Pro filterten wir die gemessenen Daten mit einem Tiefpass, um so noch 50 Hz Reststörungen zu beseitigen. Die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters wurde auf 16 Hz festgesetzt. [Abb. 13](#) zeigt das gemessene Aktionspotential vor und nach der Filterung.

Um Platz im Speicher des verwendeten Mikrocontrollers einzusparen, importierten wir die gefilterten Daten anschließend in Excel, bildeten über jeweils 5 Datenworte den Mittelwert und verwerteten nur jeden zehnten Wert weiter. So blieben von den ursprünglich 10000 Datenworten nur noch 200 Datenworte übrig. Abschließend haben wir mithilfe von Excel die Werte der 200 Datenworte auf einen Bereich von 0 bis 255 umgerechnet.

Auch für diesen Versuchsaufbau entwickelten wir eine geeignete Schaltung ([Abb. 14](#)). Sie besteht wieder aus einem Mikrocontroller vom Typ Arduino-Nano, der bei Betätigung eines an ihm angeschlossenen Tasters, die 200 Datenworte aus der Excelberechnung nacheinander an einen Digital-Analog-Wandler ausgibt. Am Ausgang des D/A-Wandlers befinden sich zwei Verstärkerstufen, mit denen sich die gewünschte Aktionspotentialamplitude einstellen lässt. Auch bei diesem Platinenlayout haben wir viel Wert auf eine ausreichende Masseführung und die elektromagnetische Abschirmung der Anschlussignale gelegt, da dies das Einkoppeln von Störsignalen erheblich vermindert. Alle Zuleitungen zur Pflanze sind durch abgeschirmte Leitungen realisiert, die an der Masse angeschlossen sind.

4.4 Untersuchung der Ausbreitung eines Aktionspotentials auf den Fangblättern

Mit diesem Versuchsaufbau wollten wir herausfinden, ob es „motorische Verschlusszellen“ auf den Fangblättern selbst gibt. Wenn dem so wäre, muss bei Berührung der Sinnesborsten auf der einen Fangblattseite, der anderen Fangblattseite die Schließinformation (also das Aktionspotential) mitgeteilt werden. Um herauszufinden, ob das Aktionspotential die andere Fangblattseite erreicht, ist es nötig, auf beiden Fangblattseiten gleichzeitig die elektrischen Signale zu messen. Daher bauten wir ein zweites Positioniersystem auf, das nahezu identisch zu unserem ersten System ist. [Abb. 15](#) zeigt die Messung an beiden Fangblattseiten unter Verwendung von zwei Positioniersystemen.

Um herauszufinden, ob sich die beiden Fangblätter zu unterschiedlichen Zeiten schließen, haben wir den Vorgang mit einer Hochgeschwindigkeitskamera mit 480 Bildern pro Sekunde (2,08 ms pro Bild) dokumentiert.

Auf den Fangblättern der Venusfliegenfalle existiert zusätzlich zu den vielen senkrecht verlaufenden Leitbündeln (Phloem) auch ein, das Fangblatt einkreisende, Leitbündel [10], [3]. Es wird vermutet, dass die Leitbündel für die Weiterleitung der Aktionspotentiale verantwortlich sind. In [Abb. 16](#) ist der Verlauf der kreisförmigen Leitbündel zu sehen. Die Punkte A bis F sollen den Ort der Sinneshärchen markieren. Als Messpunkte haben wir bei allen Messungen auf beiden Seiten die Fangblattmitte gewählt, also etwas oberhalb der Punkte B und E in [Abb. 16](#).

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Messung von Aktionspotentialen

Nachdem wir nun eine zuverlässige Messmethode zur Messung von Aktionspotentialen an der Venusfliegenfalle gefunden

hatten, bestimmten wir die Geschwindigkeit, mit der sich das Signal über der Blattoberfläche ausbreitet. Wie schon beschrieben liegt der Entstehungsort des Aktionspotentials in den Sinneszellen der Sinneshärchen. Von dort aus breitet es sich ringförmig über die ganze Blattoberfläche aus. Um die Geschwindigkeit zu bestimmen, maßen wir deshalb an zwei 4,5 mm voneinander entfernten Punkten die Potentiale. Da wir inzwischen herausgefunden hatten, dass eine unipolare Messung besser deutbare Signale liefert als eine differenzielle Messung, verwendeten wir einen zweiten Differenzverstärker und benutzten jeweils als Bezugspotential (Masse) die Pflanzenerde. [Abb. 17](#) zeigt den Messaufbau.

[Abb. 18](#) zeigt beispielhaft die gemessenen Zeitdifferenzen zwischen den Punkten A und B. Diese Messung wurde mehrere Male wiederholt und an verschiedenen Pflanzenblättern durchgeführt. Es ergaben sich Zeitdifferenzen zwischen 38 ms und 56 ms. Daraus lassen sich Ausbreitungsgeschwindigkeiten eines Aktionspotentials zwischen 8 cm/s und 12 cm/s berechnen.

Nun stellte sich die Frage, wie schnell das Schließen der Falle erfolgt, wenn das Aktionspotential das Bewegungsgewebe erreicht hat. Um dieses zu ermitteln, haben wir den Schließvorgang mit einer High-Speed-Kamera aufgenommen. Wir verwendeten dazu eine Hero5 von der Fa. GoPro im Aufnahmemodus von 240 Bildern pro Sekunde. Um zunächst zu ermitteln, wieviel Zeit vergeht, bis die Fangblätter anfangen, sich zu schließen, platzierten wir sowohl die Pflanze als auch das Sichtfeld des Speicheroszillographen in das Kamerabild. Dann haben wir mit einem Glasröhrchen die Sinneshaare eines Fangblattes gereizt. Da die Kamera alle 4 ms ein neues Bild liefert, ergab sich folgender Ablauf:

Nach 2978 ms erschien das erste Aktionspotential, auf das die Pflanze aber nicht reagierte. Erst das zweite Aktionspotential, dass nach 4208 ms ausgelöst wurde, brachte die Pflanze zum Reagieren.

Da unser Messpunkt für das Aktionspotential dichter am Sinneshaar als das Bewegungsgewebe lag, vergingen weitere 38 ms bis die Fangblätter anfangen, sich zu bewegen. Dies würde, mit der weiter oben berechneten Ausbreitungsgeschwindigkeit der Aktionspotentiale, einer Strecke von 4,1 mm entsprechen, was tatsächlich der Längendifferenz zwischen Messpunkt und Bewegungsgewebe entspricht.

Zur Ermittlung der Schließgeschwindigkeit der Fangblätter selbst, führten wir mit einer zweiten Filmaufnahme (240 Bilder/s) eine Videoanalyse mit dem Programm Logger-Pro durch. Dazu fügten wir in die Aufnahme einen Längenmaßstab ein (Geodreieck). Das Ergebnis zeigt [Abb. 19](#).

Die maximale Schließgeschwindigkeit liegt bei ca. 10 mm/s. Bereits nach etwa einer Sekunde sind die Fangblätter zu 80 % geschlossen. Danach schließt die Falle deutlich langsamer, was sehr wahrscheinlich daran liegt, dass der Turgordruck in den Bewegungszellen deutlich abgesunken ist.

5.2 Ergebnisse zum Schließen der Fallenblätter durch ein externes digitales Signal

Bei unserem zweiten Versuchsaufbau wurden Messungen an einer Venusfliegenfalle durchgeführt, um die Höhe und Dauer eines von extern angelegten Impulses zur Schließung der Falle zu ermitteln. Der externe Impuls wurde unipolar angelegt. Die Masseelektrode wurde in den Pflanzenboden gesteckt. Die Injektionselektrode wurde mittig in die Unterseite eines Blattes eingestochen. Die erzeugten Impulse konnten in einem weiten Bereich, sowohl in der Höhe der Spannung, als auch in der zeitlichen Ausdehnung, durch zwei Schieberegler verändert werden.

Aus Voruntersuchungen wussten wir, dass der Spannungspegel zur Schließung der Falle zwischen 1 und 2 Volt liegt. Über das zeitliche Verhalten gab es jedoch noch keine Information. Da-

her starteten wir mit einer Impulsdauer von 270 ms und senkten sie in mehreren Schritten auf 11 ms ab (siehe [Tab. 1](#)).

Bei einer Impulsdauer von 270 ms schließt die Falle ab einer Spannung von 1,25 V, aber nur wenn zwei Impul-

se in kurzem Abstand folgen (ca. 1 bis 2 Sekunden). Ab 1,5 Volt reicht schon ein Impuls, um die Falle zu schließen.

Beträgt die Impulsdauer 100 ms schließt die Falle ab einer Spannung von 1 Volt, aber nur wenn zwei Impulse in kur-

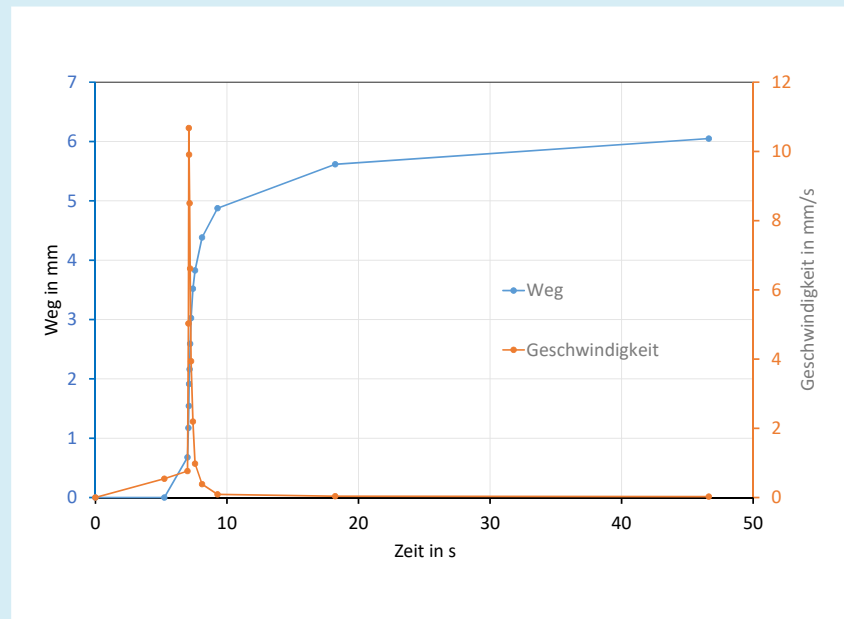


Abb. 19: Ergebnis der Videoanalyse zur Bestimmung der Fallenschließzeit

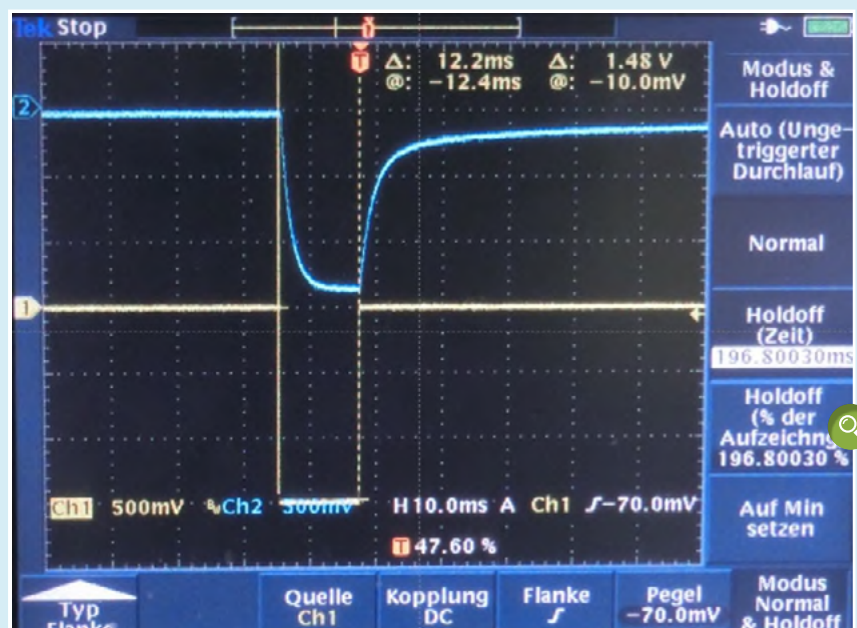


Abb. 20: Deutliche Verformung der negativen Flanke des Ansteuersignals

Tab. 1: Versuchsreihe zum extern erregten Fallenschluss mit digitalem Signal

Impulsdauer in ms	Impulshöhe in V	Impulsanzahl	Fallenschluss
270	1	1	nein
270	1	2	nein
270	1,25	2	ja
270	1,5	1	ja
100	1	1	nein
100	1	2	ja
100	1,25	1	nein
100	1,25	2	ja
50	1	1	nein
50	1	2	nein
50	1,25	1	nein
50	1,25	2	ja
11	1	1	nein
11	1	2	nein
11	1,25	1	nein
11	1,25	2	nein
11	1,5	1	nein
11	1,5	2	nein
11	2	1	nein
30	1,25	1	nein
30	1,25	2	nein
50	1,25	1	nein
50	1,25	2	ja

zem Abstand folgen (ca. 1–2 Sekunden). Auch bei 1,25 Volt werden zwei Impulse benötigt, um die Falle zu schließen.

Bei einer sehr kleinen Impulsdauer von nur 50 ms werden zwei Impulse von 1,25 Volt benötigt, um die Falle zu schließen.

Sehr kurze Impulse (11 ms) führen un-

abhängig von der Amplitude nicht dazu, dass die Falle sich schließt. Zur Kontrolle wurde die Impulsdauer wieder vergrößert, was bei 50 ms wieder zur Schließung der Falle geführt hat. Bei diesen kurzen Impulsen ist auch deutlich die Impulsverformung durch die Blattkapazität zu erkennen (Abb. 20).

Nach $T = 1,5$ ms hat der blaue Impuls in

Abb. 20 ungefähr 70 % seiner Größe erreicht. Es gilt:

$$T = R \cdot C$$

Mit dem Einschaltwiderstand des schnellen Analogschalters $R = 10 \Omega$ ergibt sich eine elektrische Blattkapazität von $C = 150 \mu\text{F}$.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zum Schließen der Fangblätter eine Mindestdauer des Ansteuersignals von 50 ms nötig ist. Weiterhin ist eine Mindestspannung von 1,25 Volt nötig, die zweimal in kurzem Abstand hintereinander erfolgen muss. Es ist aber keinesfalls so, dass die Pflanze zählen kann. Bei einer höheren Impulsspannung, ab ca. 1,5 Volt, schließt die Falle schon nach einem Impuls.

Eine sehr wichtige Erkenntnis aus diesem Versuchsaufbau ist, dass es keine sonstigen elektrischen Signale in der Pflanze gibt, die das Auslösen der Fangblätter steuern. Bei unserem ständigen „Mithorchen“ an der Einstichelektrode, waren vor und nach unserem Ansteuerimpuls keine anderen Signale zu messen.

5.3 Ergebnisse zum Schließen der Fallenblätter durch ein original analoges Aktionspotential

Auch in unserem dritten Versuchsaufbau sollten Messungen an einer Venusfliegenfalle durchgeführt werden, um die Spannungshöhe eines von extern angelegten originalen Aktionspotentials zur Schließung der Falle zu ermitteln. Das von einem Mikrokontroller erzeugte Aktionspotential wurde unipolar angelegt. Die Masseelektrode wurde in den Pflanzenboden gesteckt. Die Injektionselektrode wurde mittig in die Unterseite eines Blattes eingestochen. Das erzeugte Aktionspotential konnte in einem weiten Bereich in seiner Spannungshöhe durch einen Schieberegler verändert werden.

Die Form und Dauer (ca. 300 ms) des Aktionspotentials entspricht der in [Abb. 13 b](#).

[Tab. 2](#) zeigt, ob das Anlegen eines externen Aktionspotentials mit variierenden Größen zum Fallenschluss führt. Dabei wurde der externe Impuls einmalig oder zweimalig im Abstand von 2 bis 3 Sekunden appliziert. Die Ergebnisse decken sich im Wesentlichen mit den Messungen aus [Tab. 1](#). Es gibt bei diesen Messungen zwar Fallenblätter, die schon bei 1 Volt und einem einmaligen Aktionspotential auslösen, aber wir glauben nicht, dass dies mit der Signalform zusammenhängt. Es liegt vielleicht eher an der etwas längeren Impulsbreite. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass wir nach jeder erfolgreichen Schließung ein neues Fangblattpaar verwenden mussten.

5.4 Ergebnisse zur Ausbreitung von Aktionspotentialen auf den Fangblättern

Unsere Messungen ergaben, dass das durch Berührung eines Sinneshärchens auf der einen Seite erzeugte Aktionspotential auf der anderen Seite mit nahezu gleicher Amplitude zu messen war. [Tab. 3](#) zeigt die gemessenen Zeitdifferenzen zwischen den Berührungspunkten und den Messpunkten in der Mitte der gegenüberliegenden Fangblätter.

Im Mittel erreicht ein Aktionspotential,

je nach berührtem Sinneshärchen, nach einer Zeitdifferenz von ca. 40 ms die andere Fangblattseite.

Bei der Videountersuchung, mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera mit 480 Bildern pro Sekunde (2,08 ms pro Bild), reizten wir zunächst auf der linken Fangblattseite das am dichtesten zur Fangblattspitze platzierte Sinneshärchen (Punkt F in [Abb. 16](#)). Bei der Videoanaly-

se mit dem Programm Logger-Pro ist auf dem Hochgeschwindigkeitsvideo bei der Reizung am linken Blatt eindeutig zu erkennen, dass das linke Fangblatt schneller schließt, als das rechte ([siehe Abb. 21](#)).

Bei der Reizung am rechten Blatt schloss sich das rechte Fangblatt schneller, als das linke. Die dem Video entnommenen Einzelaufnahmen hierzu, sind in [Abb. 22](#) zu sehen.

Tab. 2: Versuchsreihe zum extern erregten Fallenschluss mit analogem Aktionspotential

Aktionspotential in V	Fallenschluss nach einmaligem Impuls	Fallenschluss nach Doppelimpuls
0,5	nein	nein
0,6	nein	nein
0,7	nein	nein
0,8	nein	nein
0,9	nein	nein
1	nein	nein
1,25	nein	ja
1,1	nein	ja
1	ja	-
1	nein	ja
1	ja	-
1	nein	ja

Tab. 3: Zeitdifferenzen zwischen den Berührungspunkten und den Messpunkten in der Mitte der gegenüberliegenden Fangblätter (zur Lage der Punkte [siehe Abb. 16](#))

	Berührung des Sinneshärchens am Ort					
	A	B	C	D	E	F
Verzögerung zur Mitte der Fangblattseite (D,E,F) in ms	76	52	44			
Verzögerung zur Mitte der Fangblattseite (A,B,C) in ms				86		24

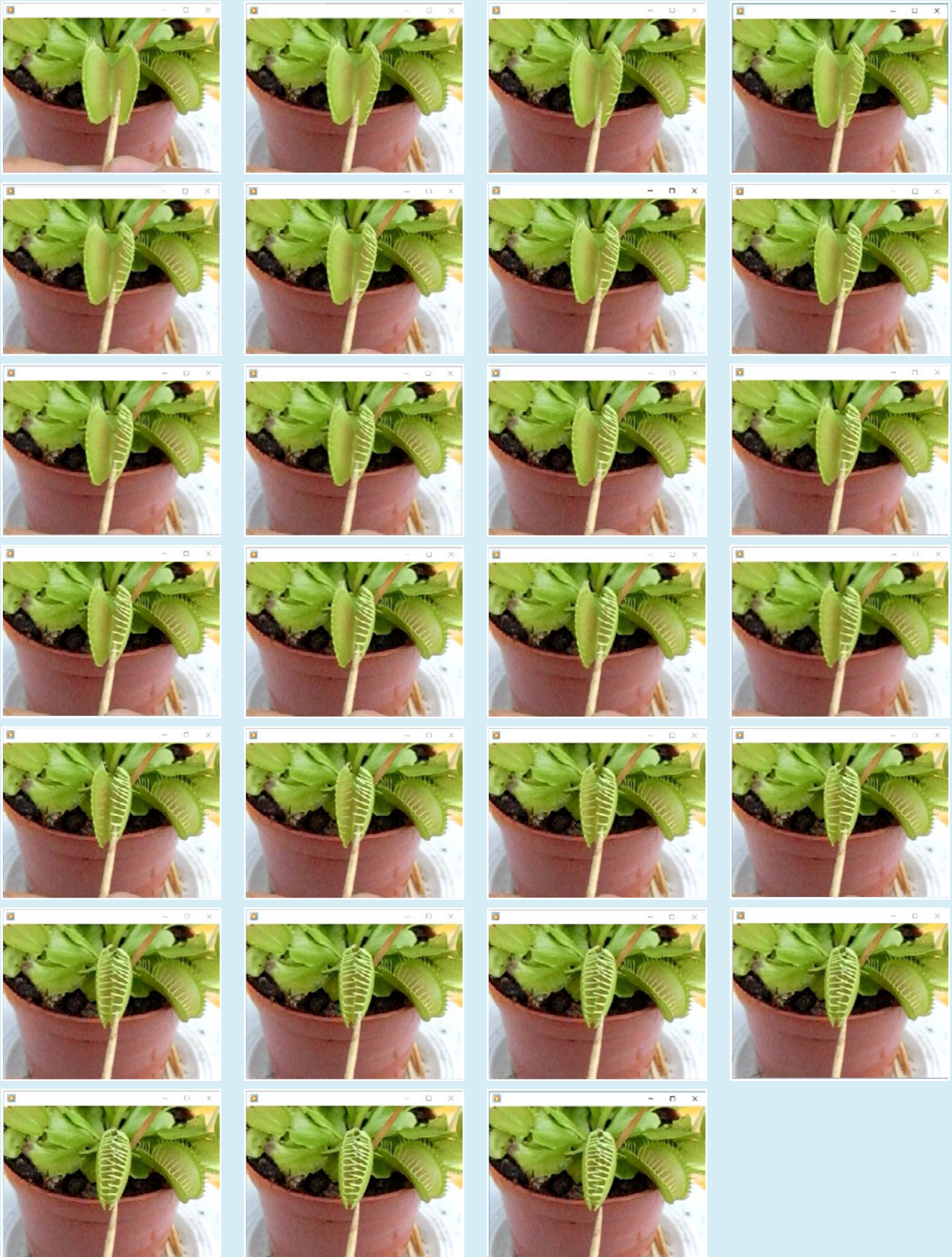


Abb. 21: Schließbewegung der Fangblätter bei Reizung des linken Fangblattes.
Der zeitliche Abstand zwischen den Einzelbildern beträgt 10 ms

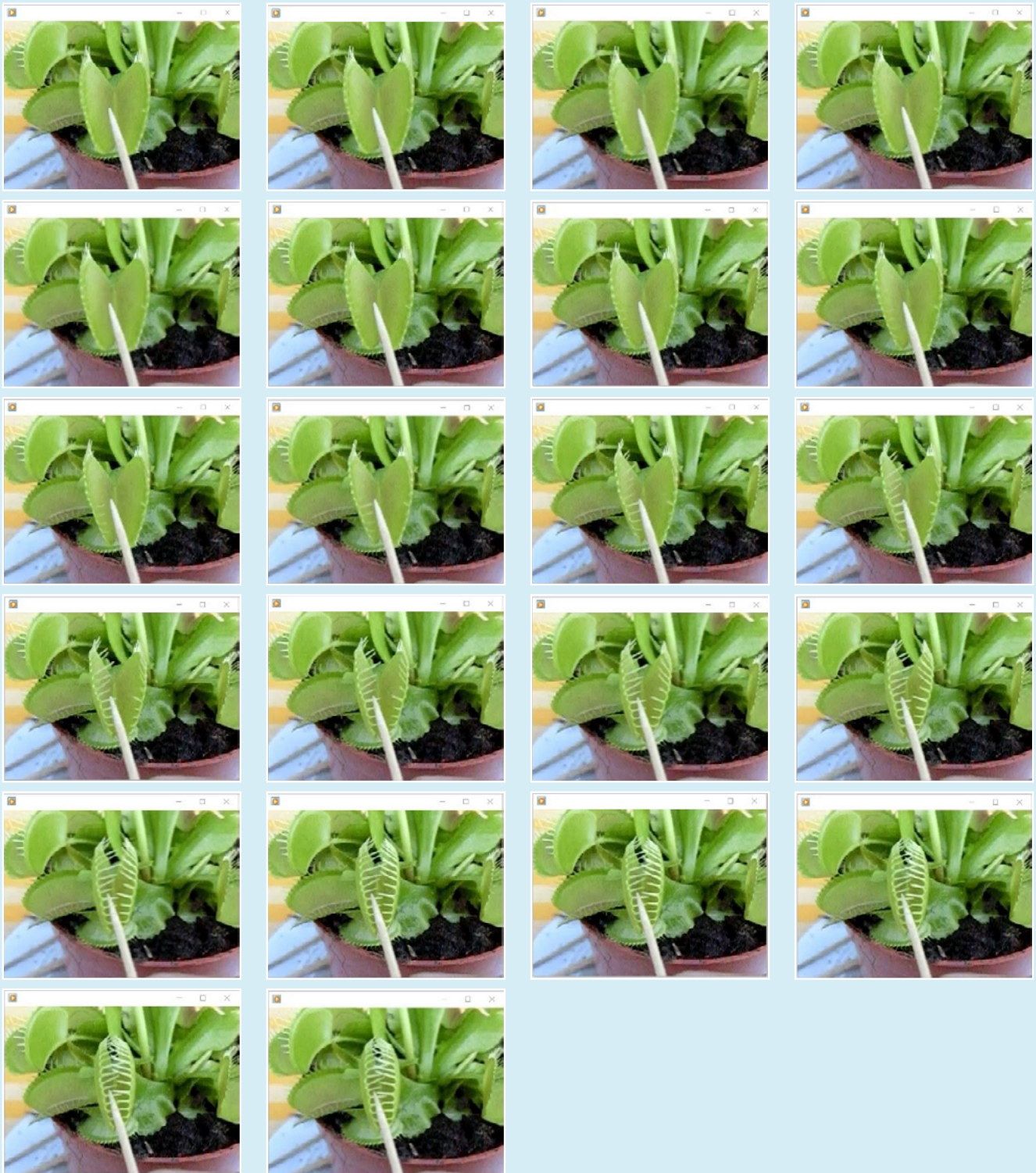


Abb. 22: Schließbewegung der Fangblätter bei Reizung des rechten Fangblattes.
Der zeitliche Abstand zwischen den Einzelbildern beträgt 10 ms.

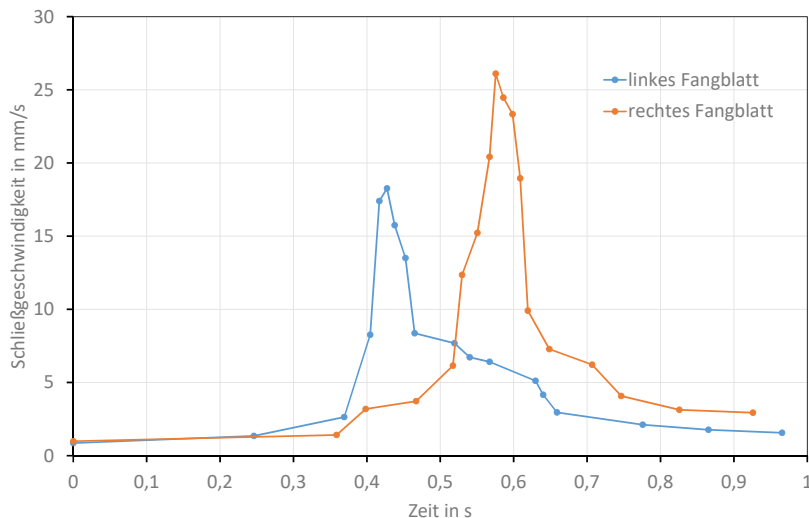


Abb. 23: Videoanalyse bei Reizung des linken Fangblattes



Die Videoanalyse zeigt für die Schließbewegung eine zeitliche Differenz von ca. 120 ms zwischen dem linken und dem rechten Fangblatt. Dieser Wert stimmt gut mit der gemessenen Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Aktionspotentials von 107 mm/s überein. Die Mitten der beiden Fangblätter waren ca. 12 mm voneinander entfernt. Zusammen mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit ergibt sich eine zeitliche Differenz von 112 ms. Auch die ermittelten Verzögerungszeiten stimmen größenordnungsmäßig mit der Videoanalyse überein.

Die Differenz in der Schließgeschwindigkeit der beiden Fangblätter ist durch das nicht schnell genug entfernte Holzstäbchen beim Reizen des Sinneshärchens, zu erklären. Abb. 23 zeigt das Ergebnis der Videoanalyse.

Unsere Untersuchung hat damit eindeutig gezeigt, dass sich motorische Verschlusszellen auch auf den Fangblättern befinden.

6. Zusammenfassung

Es ist uns gelungen, mit geeigneten Messelektroden eine verlässliche und reproduzierbare Aktionspotentialmessung an den Fangblättern der Venus-

fliegenfalle nach einer Sinnesreizung durchzuführen. Es wurde eine differenzielle und eine unipolare Messmethode genutzt. Die 50 Hz Störsignale waren bei der differenziellen Messung zwar geringer, aber das Einstechen der hierbei benötigten zwei Messelektroden war sehr schwierig. Angesichts der vielen durchzuführenden Messungen wurde letztlich die unipolare Messmethode verwendet, die sich auch als bessere Methode bewährt hat.

Bei der Geschwindigkeitsmessung des Aktionspotentials wurden dennoch beide Messmethoden angewendet. Für das bei der differenziellen Messung entstehende bipolare Messsignal wurde mithilfe einer Excel-Simulation eine Methode entwickelt, um wieder zwei unipolare Signale zu berechnen. Aus Platzgründen ist diese Methode in dieser Arbeit nicht weiter beschrieben.

Die meisten Messreihen wurden von uns nur zwei- oder dreimal durchgeführt. Um Messfehler auszuschließen, wäre es besser gewesen, diese öfter zu wiederholen. Es standen jedoch nur vier (am Ende des Projektes fünfzehn) Pflanzen zur Verfügung und die Fangblätter benötigten ein bis zwei Tage, um sich wieder zu öffnen.

Mit den Ergebnissen aus den einzelnen Versuchsaufbauten kann der gesamte Vorgang des Schließens der Fangblätter der Venusfliegenfalle erklärt werden. Das Entstehen des Aktionspotentials in der Sinneszelle, die benötigte Zeit bis zum Erreichen des Bewegungsgewebes und die Schließzeit der Fangblätter passen sehr gut zueinander. Durch die gleichzeitige Messung während der Impulsansteuerung konnte ausgeschlossen werden, dass zusätzliche elektrische Signale an dem Schließvorgang beteiligt sind. Es konnte nachgewiesen werden, dass es „motorische Verschlusszellen“ auf beiden Fangblättern gibt.

Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist, dass es möglich ist, die Fangblätter mit nur einem Aktionspotential zu schließen. Umso erstaunlicher ist es, dass die Pflanze die Höhe seines selbst erzeugten Aktionspotentials so gewählt hat, dass zwei Signale im maximalen Abstand von 20 Sekunden nötig sind. Dies ist sinnvoll, damit Fehlauflösungen vermieden werden.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Dr. Volker Bunke und Herbert Schütze vom Hölty-Gymnasium-Celle, für deren unermüdliche fachliche und technische Unterstützung. Ein weiterer Dank gilt Prof. Dr. Rainer Hedrich und Dr. Sönke Scherzer vom Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik der Universität Würzburg, für die sehr hilfreiche Diskussion zur Pflanzenphysiologie der Venusfliegenfalle und Anregungen zur Versuchsdurchführung. Ein besonderer Dank gilt unserer Schule, dem Hölty-Gymnasium-Celle, das uns mit den benötigten Materialien, Messgeräten und Programmierumgebungen ausgestattet hat.

Quellenverzeichnis

- [1] <http://www.r-j.de/literatur/karlsson1.pdf>
(letzter Aufruf 18.4.2018)
- [2] <https://www.swr.de/blog/diedurchblicker/2015/08/17/die-venusfliegenfalle/>
(letzter Aufruf 18.4.2018)
- [3] <http://www.bot1.biozentrum.uni-wuerzburg.de/startseite/> (letzter Aufruf 18.4.2018)
- [4] <http://www.rainer-weiher.de/bio/LM.htm>
(letzter Aufruf 18.4.2018)
- [5] Prof. Dr. Horst Bayrhuber, Prof. Dr. Ulrich Kull,
Linder Biologie 21. Auflage, Schroedel Verlag 1998
- [6] Karl Kuhn, Wilfried Probst, Biologisches
Grundpraktikum Band 2, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag 1980
- [7] <https://de.wikipedia.org/wiki/Venusfliegenfalle> (letzter Aufruf 18.4.2018)
- [8] https://www.uni-ulm.de/fileadmin/migrated/content_uploads/Bewegungsphysiologie03.pdf (letzter Aufruf 18.4.2018)
- [9] http://www.wikiwand.com/de/Symmetrische_Signalübertragung
(letzter Aufruf 18.4.2018)
- [10] <https://www.pflanzenforschung.de/de/journal/journalbeitraege/pflanzen-unter-strom-pflanzen-besitzen-expressrouten-fu-10585>
(letzter Aufruf 18.4.2018)

Publiziere auch Du hier!

Forschungsarbeiten von
Schüler/Inne/n und Student/Inn/en

In der Jungen Wissenschaft werden Forschungsarbeiten von SchülerInnen, die selbstständig, z.B. in einer Schule oder einem Schülerforschungszentrum, durchgeführt wurden, veröffentlicht. Die Arbeiten können auf Deutsch oder Englisch geschrieben sein.

Wer kann einreichen?

SchülerInnen, AbiturientInnen und Studierende ohne Abschluss, die nicht älter als 23 Jahre sind.

Was musst Du beim Einreichen beachten?

Lies die [Richtlinien für Beiträge](#). Sie enthalten Hinweise, wie Deine Arbeit aufgebaut sein soll, wie lang sie sein darf, wie die Bilder einzureichen sind und welche weiteren Informationen wir benötigen. Solltest Du Fragen haben, dann wende Dich gern schon vor dem Einreichen an die Chefredakteurin Sabine Walter.

Lade die [Erstveröffentlichungserklärung](#) herunter, drucke und fülle sie aus und unterschreibe sie.

Dann sende Deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung per Post an:

Chefredaktion Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter
Paul-Ducros-Straße 7
30952 Ronnenberg
Tel: 05109 / 561508
Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de

Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter, der die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird Euch, den AutorInnen zugesandt und Du erhältst gegebenenfalls die Möglichkeit, Hinweise des Fachgutachters einzuarbeiten.

Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z.B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie **Jugend forscht** die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und als Open-Access-Beitrag veröffentlicht.

Was ist Dein Benefit?

Deine Forschungsarbeit ist nun in einer Gutachterzeitschrift (Peer-Review-Journal) veröffentlicht worden, d.h. Du kannst die Veröffentlichung in Deine wissenschaftliche Literaturliste aufnehmen. Deine Arbeit erhält als Open-Access-Veröffentlichung einen DOI (Data Object Identifier) und kann von entsprechenden Suchmaschinen (z.B. BASE) gefunden werden.

Die Junge Wissenschaft wird zusätzlich in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet, d.h. Deine Arbeit kann von Experten gefunden und sogar zitiert werden. Die Junge Wissenschaft wird Dich durch den Gesamtprozess des Erstellens einer wissenschaftlichen Arbeit begleiten – als gute Vorbereitung auf das, was Du im Studium benötigst.

Richtlinien für Beiträge

Für die meisten Autor/Inn/en ist dies die erste wissenschaftliche Veröffentlichung. Die Einhaltung der folgenden Richtlinien hilft allen – den Autor/innen/en und dem Redaktionsteam

Die Junge Wissenschaft veröffentlicht Originalbeiträge junger AutorInnen bis zum Alter von 23 Jahren.

- Die Beiträge können auf Deutsch oder Englisch verfasst sein und sollten nicht länger als 15 Seiten mit je 35 Zeilen sein. Hierbei sind Bilder, Grafiken und Tabellen mitgezählt. Anhänge werden nicht veröffentlicht. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis zählen nicht mit.
- Formulieren Sie eine eingängige Überschrift, um bei der Leserschaft Interesse für Ihre Arbeit zu wecken, sowie eine wissenschaftliche Überschrift.
- Formulieren Sie eine kurze, leicht verständliche Zusammenfassung (maximal 400 Zeichen).
- Die Beiträge sollen in der üblichen Form gegliedert sein, d. h. Einleitung, Erläuterungen zur Durchführung der Arbeit sowie evtl. Überwindung von Schwierigkeiten, Ergebnisse, Schlussfolgerungen, Diskussion, Liste der zitierten Literatur. In der Einleitung sollte die Idee zu der Arbeit beschrieben und die Aufgabenstellung definiert werden. Außerdem sollte sie eine kurze Darstellung schon bekannter, ähnlicher Lösungsversuche enthalten (Stand der Literatur). Am Schluss des Beitrages kann ein Dank an Förderer der Arbeit, z. B. Lehrer und Sponsoren, mit vollständigem Namen angefügt werden. Für die Leser kann ein Glossar mit den wichtigsten Fachausdrücken hilfreich sein.
- Bitte reichen Sie alle Bilder, Grafiken und Tabellen nummeriert und zusätzlich als eigene Dateien ein. Bitte geben Sie bei nicht selbst erstellten Bildern, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. die genauen und korrekten Quellenangaben an (siehe auch [Erstveröffentlichungserklärung](#)). Senden Sie Ihre Bilder als Originaldateien oder mit einer Auflösung von mindestens 300 dpi bei einer Größe von 10 · 15 cm! Bei Grafiken, die mit Excel erstellt wurden, reichen Sie bitte ebenfalls die Originaldatei mit ein.
- Vermeiden Sie aufwendige und lange Zahlentabellen.
- Formelzeichen nach DIN, ggf. IUPAC oder IUPAP verwenden. Gleichungen sind stets als Größengleichungen zu schreiben.
- Die Literaturliste steht am Ende der Arbeit. Alle Stellen erhalten eine Nummer und werden in eckigen Klammern zitiert (Beispiel: Wie in [12] dargestellt ...). Fußnoten sieht das Layout nicht vor.
- Reichen Sie Ihren Beitrag sowohl in ausgedruckter Form als auch als PDF

ein. Für die weitere Bearbeitung und die Umsetzung in das Layout der Jungen Wissenschaft ist ein Word-Dokument mit möglichst wenig Formatierung erforderlich. (Sollte dies Schwierigkeiten bereiten, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, damit wir gemeinsam eine Lösung finden können.)

- Senden Sie mit dem Beitrag die [Erstveröffentlichungserklärung](#) ein. Diese beinhaltet im Wesentlichen, dass der Beitrag von dem/der angegebenen AutorIn stammt, keine Rechte Dritter verletzt werden und noch nicht an anderer Stelle veröffentlicht wurde (außer im Zusammenhang mit **Jugend forscht** oder einem vergleichbaren Wettbewerb). Ebenfalls ist zu versichern, dass alle von Ihnen verwendeten Bilder, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. von Ihnen veröffentlicht werden dürfen, also keine Rechte Dritter durch die Verwendung und Veröffentlichung verletzt werden. Entsprechendes [Formular](#) ist von der Homepage www.junge-wissenschaft.ptb.de herunterzuladen, auszudrucken, auszufüllen und dem gedruckten Beitrag unterschrieben beizulegen.
- Schließlich sind die genauen Anschriften der AutorInnen mit Telefonnummer und E-Mail-Adresse sowie Geburtsdaten und Fotografien (Auflösung 300 dpi bei einer Bildgröße von mindestens 10 · 15 cm) erforderlich.
- Neulingen im Publizieren werden als Vorbilder andere Publikationen, z. B. hier in der Jungen Wissenschaft, empfohlen.

Impressum

[JUNGE]
wissenschaft



Junge Wissenschaft

c/o Physikalisch-Technische
Bundesanstalt (PTB)
www.junge-wissenschaft.ptb.de

Redaktion

Dr. Sabine Walter, Chefredaktion
Junge Wissenschaft
Paul-Ducros-Str. 7
30952 Ronnenberg
E-Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de
Tel.: 05109 / 561 508

Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,
Pressesprecher der PTB
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
E-Mail: jens.simon@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 3006
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)

Design & Satz

Sabine Siems
Agentur „proviele werbung“
E-Mail: info@proviele-werbung.de
Tel.: 05307 / 939 3350

